



**DÜZCE
ÜNİVERSİTESİ**

**BİLİM ve TEKNOLOJİ
DERGİSİ**

Düzce University
Journal of
Science & Technology

e-ISSN: 2148-2446

Cilt
Volume

10

Sayı
Issue

3

Temmuz/July
2022

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

Zafer AKBAŞ (Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü)

(D. Ü. Lisansüstü Eğitim Enstitüsü adına)

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

Editör

Editor

Uğur GÜVENÇ
Resul KARA
Pınar GÜLTEKİN
Ahmet DEMİR
Suat SARIDEMİR
Ümit AĞBULUT

Yardımcı Editörler

Assistant Editors

Ufuk ÇİFCİ
Vesile YALÇIN
Özlem ÖZKAN ÖNÜR
Ahmet AYTEĞİN
Nisa KAPLAN

Sorumlu Yazı İşleri Müdürü

Publishing Manager

Zafer AKBAŞ

Yayın Kurulu

Editorial Board

Ahmet Bora KIRKLIKÇI, Karamanoğlu Mehmet Bey
Üniversitesi, Türkiye
Ahmet DEMİR, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Ali ÇALHAN, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Ali Etem GÜREL, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Ahmet DEMİR, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Arif ÖZKAN, Kocaeli Üniversitesi, Türkiye
Aytaç AYDIN, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Türkiye
Emre ÇELİK, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Engin EROĞLU, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Fatih TAŞPINAR, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Fatih YILMAZ, Bayburt Üniversitesi, Türkiye

Fuat KARA, Düzce Üniversitesi, Türkiye
G. Alev ÖZKÖK, Hacettepe Üniversitesi, Türkiye
Hakan ARSLAN, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Harun BAYRAKDAR, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Hüseyin BUDAK, Düzce Üniversitesi, Türkiye
İrem DÜZDAR ARGUN, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Koray ŞARKAYA, Pamukkale Üniversitesi, Türkiye
Mecit AKSU, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Mehmet ŞİMŞEK, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Melike ERDOĞAN, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Mert YILDIRIM, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Metin TOZ, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi,
Türkiye
Mevlüt ERSOY, Süleyman Demirel Üniversitesi, Türkiye
Muhammet GÜL, Munzur Üniversitesi, Türkiye
Murat EYVAZ, Gebze Teknik Üniversitesi, Türkiye
Murat Kadir YEŞİLYURT, Bozok Üniversitesi, Türkiye
Mustafa KARAGÖZ, Karabük Üniversitesi, Türkiye
Mustafa DAYI, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Nuray Benli YILDIZ, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Nuri ŞEN, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Pınar GÜLTEKİN, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Resul KARA, 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
Serhat DUMAN, Bandırma Onyedli Eylül Üniversitesi,
Türkiye
Sinan TOKLU, Gazi Üniversitesi, Türkiye
Suat SARIDEMİR, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Şerife Gülsün KIRANKAYA, 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
Yusuf ALTUN, Düzce Üniversitesi, Türkiye

Ulusal Danışma Kurulu
National Advisory Board

Adem ACIR, Gazi Üniversitesi, Türkiye
Adem ÇİÇEK, Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Türkiye

Uluslararası Danışma Kurulu
International Advisory Board

Arif ÖZKAN, Kocaeli Üniversitesi, Türkiye
Devrim AKGÜN, Sakarya Üniversitesi, Türkiye
Elif UZ, Uludağ Üniversitesi, Türkiye
Ercan ÖZGAN, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Erol BURDURLU, Gazi Üniversitesi, Türkiye
Ethem TOKLU, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Fahri VATANSEVER, Uludağ Üniversitesi, Türkiye
Fatih TAŞPINAR, Düzce Üniversitesi, Türkiye
H.Hüseyin CİRİTCİOĞLU, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Hakan AKTAŞ, Süleyman Demirel Üniversitesi, Türkiye
Hakan ALTINÇEKİÇ, İstanbul Üniversitesi, Türkiye
Hakan HOCAOĞLU, Gebze Teknik Üniversitesi, Türkiye
İbrahim YÜCEDAĞ, Düzce Üniversitesi, Türkiye
İlyas UYGUR, Düzce Üniversitesi, Türkiye
İsmail TORÖZ, İstanbul Teknik Üniversitesi, Türkiye
İsmet YILDIZ, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Mehmet BUDAKÇI, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Memiş IŞIK, Karabük Üniversitesi, Türkiye
Meral KEKEÇOĞLU, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Muharrem GÖKÇEN, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Murat KALE, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Murat SİPAHİOĞLU, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Türkiye
Mustafa OKUTAN, Yıldız Teknik Üniversitesi, Türkiye
Raşit TURAN, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Türkiye
Salih TOSUN, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Selçuk ÖZMEN, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Seyhan FIRAT, Gazi Üniversitesi, Türkiye
Suat SARIDEMİR, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Şerife Gülsün KIRANKAYA, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Uğur GÜVENÇ, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Yasin KİŞİOĞLU, Kocaeli Üniversitesi, Türkiye
Yusuf AVCI, Bahçeşehir Üniversitesi, Türkiye
Zeki DEMİR, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Abdelilah SLAOUI, Universite de Strasbourg, France
Clay S. GLOSTER, North Carolina A&T University,
USA
Daniel BREAZ, University of Alba Lulia, Romania
Luis ROSEIRO, Coimbra Institute of Engineering,
Portugual
Marwan BIKDASH, North Carolina A & T State
University, USA
Sadık ARTUNÇ, Mississippi State University, USA
Salim HIZIROĞLU, Oklahoma State University, USA
Thomas C. CULBRETH, North Carolina State
University, USA

Cilt
Volume

10

Sayı
Issue

3

Temmuz /July
2022

Ürün Bilgisi

Product Information

Yayıncı

Publisher

Düzce Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Düzce University Institute of Graduate Programs

Sahibi

Owner

Zafer AKBAŞ (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

Zafer AKBAŞ

Web Sayfası

Web Page

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

Basım Tarihi

Date of Publication

Temmuz 2022

July 2022

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

Sürekli 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

- 1165-1176 Şeker Otu (*Stevia rebaudiana* Bertoni) Bitkisinde Kuraklık Stresinin Fizyolojik ve Biyokimyasal Etkileri
Physiological and Biochemical Effects of Drought Stress in *Stevia rebaudiana* Bertoni
Vesile YALÇIN, Hülya TORUN, Engin EROĞLU, Elmas Ülkühan USTA
- 1334-1343 Determination of the Antifungal Effect of Bacterial Metabolites of *Xenorhabdus szentirmaii* Against Some Phytopathogenic Fungi
Xenorhabdus szentirmaii Bakteri Metabolitlerinin Bazı Önemli Bitki Patojeni Funguslara Karşı Antifungal Etkilerinin Belirlenmesi
Nedim ALTIN, Barış GÜLCÜ
- 1462- 1468 *Marinerozelotes barbatus* (L. Koch, 1866)'un Sitogenetik Analizi
Cytogenetic Analysis of *Marinerozelotes barbatus* (L. Koch, 1866)
Hatice POYRAZ, Fahrettin Anıl SIRLIBAŞ, Şeyma CİVAN, Ümit KUMBIÇAK, Zübeyde KUMBIÇAK
- 1603-1614 Effects of Green Light Supplementation with Red and Blue Combinations of LED Light Spectrums On The Growth of *Chlamydomonas Reinhardtii* (Chlorophyta)
Mavi ve Kırmızı Işık Spektrumları İle Birlikte Yeşil Işık Katkısının *Chlamydomonas Reinhardtii* (Chlorophyta) Büyümesine Olan Etkileri
Murat TELLİ, Dina Nabil Mohammad ALJAMILI
- 1615-1630 Natürel Sızma Zeytinyağının Kısa ve Uzun Süreli Isıl İşlem Sırasındaki Stabilitesinin Riviera Zeytinyağı ile Karşılaştırmalı Olarak Değerlendirilmesi
Evaluation of Extra Virgin Olive Oil Stability during Short and Long Term Heat Treatment in Comparison with Riviera Olive Oil
Gülğün Çakmak Arslan

BİLGİSAYAR / YAZILIM/ BİLGİ GÜVENLİĞİ/BİLİŞİM SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ

Araştırma Makalesi/ Research Article

- 1107-1117 Apache Spark ile Makine Öğrenmesi Destekli Diyabet Rahatsızlığı Tahmini

Machine Learning Supported Diabetes Prediction with Apache Spark

Emre YILDIRIM, Ali ÇALHAN

1302-1312

Komşuluk Yaklaşımı ile Kablosuz Sensör Ağlarda Izgara Temelli Kümeleme Tasarımı ve Uygulaması

Grid Based Clustering Design and Implementation in Wireless Sensor Networks with Neighborhood Approach

Mesut UĞURLU, Abdullah ORMAN, Murat DENER

1359-1371

Öğrencilerin Dersteki Niteliklerinin Makine Öğrenmesi Teknikleri Kullanılarak Sınıflandırılması

Classification of Students' Course Qualifications Using Machine Learning Techniques

Ercüment GÜVENÇ, Murat SAKAL, Gürcan ÇETİN, Osman ÖZKARACA

1408-1422

HungerHash: A Distributed Network for Child-Hunger Relief Based on Hedera Hashgraph

Hunger Has: Hedera Hashgraph'a Dayalı Çocuk Açlığını Gidermek için Dağıtılmış Bir Ağ

Kübra KALKAN, Naser JAM

1433-1442

Farklı Vektörleştirme ve Ön işlem Yöntemleri ile Talep Sınıflandırma

Classification of Support Requests using Different Vectorization and Pre-Processing Methods

Yunus Emre IŞIK, Halil ARSLAN, İbrahim Ethem DADAŞ

1567-1577

GEGE: Predicting Gene Essentiality with Graph Embeddings

GEGE: Çizge Gömülümüleriyle Gen Esaslılığını Tahmin Etme

Halil İbrahim KURU, Yasin İlkagan TEPELİ, OZNUR TASTAN

ÇEVRE/ZİRAAT/JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ

Araştırma Makalesi/ Research Article

1241-1254

Türkiye ve Yakın Çevresinde Güneş Fotometreleri ile Elde Edilen Aerosol Optik Derinliği Verisinin Zamansal ve Mekansal Değişimi

Temporal and Spatial Variation of Aerosol Optical Depth Data from Sun Photometers in Turkey and its Surroundings

Elif TEZCAN, Selin KARSLIOĞLU, Gizem TUNA TUYGU, Tolga ELBİR

1398-1407

İklim Değişikliği, Düzce'de Çayır tırtılı (*Loxostege sticticalis* L.)'nın Birinci Nesil Kelebeklerinin Salgınına Neden Oldu

Climate change caused an epidemic of first generation butterflies of the Meadow moth (*Loxostege sticticalis* L.) in Duzce

Sevcan ÖZTEMİZ, İbrahim CİNER

ELEKTRİK/ELEKTRONİK / ELEKTRİK ELEKTRONİK/ ENERJİ MÜHENDİSLİĞİ

Araştırma Makalesi/ Research Article

- 1118-1135 Sliding Mode Control Based Supercapacitor Modeling for Dynamic Stability in DFIG Based Wind Turbines
ÇBAG Tabanlı Rüzgar Türbinlerinde Dinamik Kararlılık için Kayan Kipli Kontrol Tabanlı Süperkapasitör Modellemesi
M. Kenan DÖŞOĞLU, Uğur GÜVENÇ, Enes KAYMAZ
- 1489-1507 Optimization Oxygen and Hydrogen Input Velocities by Golden Section Method with 3D Multifluid Model in COMSOL for PEMFCs
PEMYH için COMSOL'da Üç Boyutlu Çoklu Akış Modeliyle Altın Oran Yöntemi ile Oksijen ve Hidrojen Giriş Hızlarının Optimizasyonu
Ezgi BAYRAKDAR ATEŞ, Ahmet EGE
- 1524-1542 Improvement and Analysis of Phase-Phase Failure of Double Feed Induction Generator Using Maximum Power Monitoring Method
Maksimum Güç İzleme Yöntemi Kullanılan Çift Beslemeli Asenkron Generatörün Faz-Faz Arızasının İyileştirilmesi ve Analizi
Mustafa DURSUN

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ/ENDÜSTRİYEL TASARIM MÜHENDİSLİĞİ

Derleme Makalesi/ Review Article

- 1543-1566 Sağlık Hizmetlerinde Performans Değerlendirmede Kullanılan Araç ve Yöntemler
Tools and Methods Used in Performance Measurement in Healthcare
Elif DELİCE, Melis KARADAYI, Hakan TOZAN

KİMYA / FİZİK / MATEMATİK / İSTATİSTİK

Araştırma Makalesi/ Research Article

- 1091-1106 Enerji Verimli Binaların Isıtma ve Soğutma Yüklerinin Düzenli Modeller ile Tahmin Edilmesi
Estimating Heating and Cooling Loads of Energy Efficient Buildings with Tidy Models
Burak DİLBER, A. Fırat ÖZDEMİR
- 1255-1262 On Certain Power Horadam Sequences
Belirli Horadam Kuvvet Dizileri Üzerine
Çağla CELEMOĞLU, Selime Beyza ÖZCEVİK, Şenol EREN

- 1263-1286 Moleküler Baskılanmış/Altın Nanoparçacık-Peptit Nanotüp ile Fonksiyonelleştirilmiş Tek kullanımlık Biyoçip ile IL-6 Tayini
Detection of IL-6 with a Functionalized with Gold Nanoparticle-Peptide Nanotube Molecularly Imprinted Single-used Biochip
Yeşim Tuğçe YAMAN, Serdar ABACI
- 1476- 1488 EDTA ile Modifiye Edilmiş *Prunus Dulcis L.* Kabukları Kullanılarak Bakır İyonlarının Sulu Çözeltilerden Zenginleştirilmesi ve FAAS ile Tayini
Preconcentration of Copper Ions from Aqueous Solution using EDTA Modified *Prunus Dulcis L.* Peels and Determination by FAAS
Rukiye SAYGILI CANLIDİNC

MAKİNE / MEKATRONİK / MALZEME / ENDÜSTRİ / İMALAT MÜHENDİSLİĞİ

Araştırma Makalesi/ Research Article

- 1151-1164 Model Öngörülü Kontrol ile DA Motor Konum Kontrolü
DC Motor Position Control with Model Predictive Control
Tuğçe YAREN, Selçuk KIZIR
- 1186-1200 Sıcak Yırtılmanın Alüminyum Alaşımlarının Metal Kalitesine Etkisinin İncelenmesi ve Alaşımların Titreşim Karakteristiğinin Belirlenmesi
Investigation of the Effect of Hot Tearing on the Metal Quality of Aluminum Alloys and Determination of the Vibration Characteristics of Alloys
Engin TAN, Derya DIŞPINAR, Ali Tekin GÜNER, Gökmen ATLIHAN
- 1218-1228 WC-Co-TiC Sermetlerinin Elektrik Akımı Destekli Sinterleme Yöntemi ile Üretimi ve Elektrokimyasal Özelliklerinin İncelenmesi
Production of WC-Co-TiC Cermets by Electric Current Assisted Sintering Method and Investigation of Electrochemical Properties
Nuri ERGİN, Caner KOCABAŞ, Özkan ÖZDEMİR, Necati KOÇAK, Mehmet UYSAL
- 1229-1240 Altı Silindirli Bir Dizel Motorun Turbo Şaft Hızının Motor Performansına Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi
Experimental Investigation of the Effect of Turbo Shaft Speed on Engine Performance of a Six Cylinder Diesel Engine
Suat SARIDEMİR, Musab GÖKTAŞ
- 1344-1358 Effects of TiN/CrN, CrAlN, and TiN Coatings on the Performance of AISI M2 Tool Steel

TiN/CrN, CrAlN ve TiN Kaplamaların AISI M2 Takım Çeliğinin Performansına Etkileri

Cemile KAYIŞ, Ege Anıl DİLER, Hatice SANDALLI, Fuat Can AĞARER

1372-1382

Biyobozunur Mg-Ag Alaşımlarının Mikroyapı, Mekanik ve Korozyon Özelliklerine Zn ve Nd Elementlerinin Etkisi

Effect of Zn and Nd Elements on Microstructure, Mechanical and Corrosion Properties of Biodegradable Mg-Ag Alloys

Levent ELEN

1383-1397

Hidrofobik Yüzeylerin Türbülanslı Boru Akımlarında Sürtünme Kayıplarına Etkisinin Deneysel İncelenmesi

Experimental Investigation of the Effect of Hydrophobic Surfaces On Friction Losses in Turbulent Pipe Flows

Mustafa PEHLİVAN, Mustafa ÖZBEY

1423-1432

Farklı Basınç Oranlarında Ham Pelet Haline Dönüştürülen Al-15Cu Alaşımının Mikro Yapı ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi

Investigation of Microstructure and Mechanical Properties of Al-15Cu Alloy Converted to Green Compact with Different Pressure Ratios

Uğur AVCI, Mustafa DOĞAN

1578-1588

Comparison Analysis of Machine Learning Algorithms for Steel Plate Fault Detection

Çelik Levha Arıza Tespiti için Makine Öğrenimi Algoritmalarının Karşılaştırmalı Analizi

Beyda TAŞAR

1589-1602

Strawberry Ripeness Assessment Via Camouflage-Based Data Augmentation for Automated Strawberry Picking Robot

Otonom Çilek Toplama Robotu İçin Kamufraj Tabanlı Veri Artırma Yoluyla Çilek Olgunluğu Değerlendirmesi

Ferhat SADAK

MİMARLIK / PEYZAJ MİMARLIĞI / ŞEHİR VE BÖLGE PLANLAMA

Araştırma Makalesi/ Research Article

1136-1150

Kentsel Yenileme Kapsamında Kentsel Peyzajın “Habitus” Kavramı Üzerinden Değerlendirilmesi

Evaluation of Urban Landscape on the Concept of “Habitus” As Part of Urban Renewal

Başak YURTSEVEN, Dicle OĞUZ

- 1177-1185 COVID-19 Pandemi Dönemi Online Eğitim Alan Peyzaj Mimarlığı Bölümü Öğrencilerinin Bilişsel Yetenek Düzeylerinin Araştırılması: MAKÜ Peyzaj Mimarlığı Bölümü Örneği
Investigation of Cognitive Ability Levels of Landscape Architecture Department Students Taking Online Education during the COVID-19 Pandemic Period: The Case of Landscape Architecture Department at Mehmet Akif Ersoy University, Turkey
Hatice YILDIRIM, Latif Gürkan KAYA
- 1201-1217 Computational Approaches in 21st Century Architectural Design: Defining Digital Representation Methods
21. Yüzyıl Mimari Tasarımında Hesaplamalı Yaklaşımlar: Sayısal Temsil Yöntemlerinin Tanımlanması
Emre KURUÇAY, İlker KARADAĞ
- 1443-1461 Komşuluk Planlamasında Eko Verimlilik Ajandaları: Örnekler Üzerinden Bir Değerlendirme
Eco Efficiency Agendas In Neighbourhood Planning; An Evaluation From Examples
K.pınar KIRKIK AYDEMİR, Ahmet KURNAZ, Gamze KAZANCI

Derleme Makalesi/ Review Article

- 1313-1333 Akıllı İç Mekân Mobilyalarının Sınıflandırılması
Classification of Smart Indoor Furniture
Alptekin TORUN

ORMAN MÜHENDİSLİĞİ

Araştırma Makalesi/ Research Article

- 1079-1090 Opinions of Forest Industrial Engineering and Vocational School of Forestry Students on Online Computer Aided Design Learning
Orman Endüstri Mühendisliği ve Orman Meslek Yüksekokulu Öğrencilerinin Çevrimiçi Bilgisayar Destekli Tasarım Öğrenimi Hakkındaki Görüşleri
Zübeyde BÜLBÜL, Sedanur ŞEKER, E. Seda ERDİNLER
- 1287-1301 Orman suçlarının mekânsal ve sosyoekonomik analizi: Yığılca ilçesi örneği
Spatial and socioeconomic analysis of forest crimes: A case study of Yığılca district
Abdurrahman Recep SEZGİN, Yaşar Selman GÜLTEKİN
- 1469-1475 Türkiye Yongalevha Endüstrisinin Üretim Problemleri Ve Çözüm Önerilerinin İncelenmesi

Investigation of Production Problems and Solutions in Turkish
Particleboard Industry
Aytaş AYDIN, Gökay NEMLİ

ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ

Araştırma Makalesi/ Research Article

1508-1523 Güve-Alev Optimizasyon Algoritması Kullanarak Pleurotus cornucopiae var. citrinopileatus Mantarı Ekstraksiyon Koşullarının Optimizasyonu
Optimizing Pleurotus cornucopiae var. citrinopileatus Mushroom Extraction Conditions Using Moth-Flame Optimization Algorithm
Ayşenur GÜRGEN



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Opinions of Forest Industrial Engineering and Vocational School of Forestry Students on Online Computer Aided Design Learning

 Sedanur ŞEKER ^a,  Zübeyde BÜLBÜL ^b,  E. Seda ERDİNLER ^{a,*}

^a Orman Endüstrisi Mühendisliği Bölümü, Orman Fakültesi, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, İstanbul, TÜRKİYE

^b Mobilya ve Dekorasyon Programı, Ormancılık Meslek Yüksek Okulu, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, İstanbul, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: seda@iuc.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.985281

ABSTRACT

This study aims examining the opinions of the students of Vocational School of Forestry and Forest Industry Engineering Department of Istanbul University-Cerrahpaşa, about their computer aided design education, general development and future. The survey form was applied during the fall semester of the academic year 2020-2021 in the online. Surveys from 60 students were taken into assessment with first year and second year students for both departments. The survey form had questions about demographic characteristics of the students, their opinions on their education and their professional future. During the analysis, first the variables were coded, a database was created and assessed with MS Excel software. As the result; demographic characteristics of the students, opinions of Forest Industry Engineering Department students on Forest Industry Engineering Department and Vocational School of Forestry Students on their departments, opinions of the students about computer aided design programs were evaluated. In addition, the sectors in which the students want to work in after graduating are evaluated and interpreted.

Keywords: Distance education, computer aided design, Professional future, AutoCAD.

Orman Endüstri Mühendisliği ve Orman Meslek Yüksekokulu Öğrencilerinin Çevrimiçi Bilgisayar Destekli Tasarım Öğrenimi Hakkındaki Görüşleri

ÖZ

Bu çalışmada İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Ormancılık Meslek Yüksekokulu (VSF), Mobilya ve Dekorasyon ve Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği (FIE) Bölümü öğrencilerinin bilgisayar destekli çizim eğitimleri, genel gelişimleri ve gelecekleri hakkındaki görüşleri araştırılmıştır. Anket formu 2020-2021 akademik yılının güz döneminde online olarak uygulanmıştır. Her iki bölümün birinci ve ikinci sınıf öğrencileri ile 60 öğrenciden anketler değerlendirmeye alınmıştır. Anket formunda öğrencilerin demografik özellikleri, eğitimleri ve mesleki gelecekleri ile ilgili görüşleri hakkında sorular yer almıştır. Analiz sırasında önce değişkenler kodlanmış, bir veri tabanı oluşturulmuş ve MS Excel yazılımı ile değerlendirilmiştir. Sonuç olarak; öğrencilerin demografik özellikleri, Orman Endüstrisi Mühendisliği Bölümü öğrencilerinin Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü ve Ormancılık Meslek Yüksekokulu Öğrencilerinin Bölümlerine ilişkin görüşleri, öğrencilerin bilgisayar destekli tasarım programlarına ilişkin görüşleri değerlendirilmiştir. Ayrıca öğrencilerin mezuniyet sonrası çalışmak istedikleri sektörler değerlendirilerek yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Uzaktan eğitim, bilgisayar destekli tasarım, iş hayatı, AutoCad

I. INTRODUCTION

The rapid development of technological information and communication creates many teaching and learning opportunities. Technological learning environments bring different lesson plans than classical education [1]. Recently, online applications used for education and training purposes have emerged. The most used sample programs are zoom, skype, discord, teamlink, google hangouts, adobe connect etc. According to a study conducted by Belcheir and Cucek [2] on 254 students having distance education from Boise State University, students' ideas about distance education were examined and the participants showed that distance education's most positive aspect, is its independence from time and place; while the most negative aspect is that it takes more time than classical education and that there are more learning errors. In addition, it has been determined that the participants are generally satisfied with distance education.

Erdoğan et al. [3] examined the attitudes of open high school, open education faculty and some university students in Istanbul towards distance education. According to the findings, in order to obtain sufficient and effective results in the distance education systems designed by universities, the demographic characteristics of the target audience, their interests and attitudes towards distance education should be well determined and the system should be designed in accordance with the needs of the student.

Furthermore, it would be prudent to state that technological developments also affect the structure and functions of educational institutions. Many social systems such as industry, economy and communication expect educational institutions to train individuals who can utilize technology. This expectation includes not only teaching the use of technology but also applying it in teaching activities [4].

One of the most important features of the dynamic century we live in is the changes that occur in the field of technology during the transition from an industrial society to an information society. These areas of use make themselves felt in the field of education, and as technology develops, the methods used for education change rapidly. Today, since traditional teaching methods are thought to be inadequate, computer technology and software have been used in education, and for this purpose, traditional technology education has been switched. [5].

The first commercial CAD programs developed in the 1970s and provided functions for 2D-drawings and data archival. The transition from 2D drawings to 3D models started in the early 80s, but commercially successful 3D-CAD programs were first introduced about 5 years later. The introduction of 3D surface and solid models resulted in an evolution of design methods from static, two-dimensional drawings in several views and sections to dynamic, three-dimensional virtual geometric product models. Besides a detailed and near-real-life representation of product geometry, these models included a variety of additional information and characteristics [6].

Therefore, the use of computers in an educational environment, even for different purposes, is often referred to as computer-assisted education. Due to the rapid increase in the number of university students, insufficient time, increase in the amount of information, the complexity of the content, insufficient number of academicians, and the importance of individual abilities and differences, the requirements for using computers in education are increasing [7]. The three-dimensional nature of the world increases the 3D requirements of computer drawings. Nowadays, three-dimensional models attract more attention and make visualization closer to reality [8].

Creating a three-dimensional CAD model is the starting point for visualization, and the database containing the model can be realized as two-dimensional presentations such as plan, section, view, perspective [9]. Computer aided visualization and modeling programs used today have significant advantages over traditional techniques (sketch, perspective, model, etc.) [10]. These computer-based

programs contribute to both the design process and the evaluation of the spatial relationships that reflect the ideas of the designer [11].

In addition to the state-of-the-art CAD systems provide functionalities for knowledge-based engineering to support the integration of template models, automated computation routines and even programs into CAD models. These possibilities offer a good basis for shortening development time and increasing product quality at the same time [12]. To that end Goldermens and Hoogenboom [13] defined the visualization as follows: “the transformation of a spatial object into two or three dimensional models that can be perceived by the human mind”.

The fact that visualization contributes to the designer at every stage of the design causes the products to come out as close to the desired results. Visualization software, on the other hand, is preferred more because of its advantages such as fast, low cost, easy storage, revision, zero error rate and easy production [14].

Future CAD platforms will provide enhanced object-oriented programming with integrated functions and operations for the efficient creation of problem-specific solutions. Design processes will increasingly change from purely geometry creation to integrated development cycles including efficient layout and simulation. This will be enabled not only by use of integrated standard simulation packages, but also by specialized CAD automatisms, which support design engineers in their work without overloading them with management of confusing software packages. In addition, future CAD systems will be able to learn from previous development to support the engineers with optimization processes in the background. In this way, the engineers will be supplied with suggestions for their actual design problem, which are based on knowledge delivered by automated algorithms and data bases. In this way, future CAD programs will be able to provide an enhancement of state-of-the-art knowledge based engineering [6], [15],[16].

In addition to ongoing Erdinler et al. [17] examined the opinions of the students of Forest Industrial Engineering Department of Istanbul University, pertaining to their education and future. The survey form was conducted during in 2016 with 102 students. The survey form had questions concerning demographic characteristics of the students, their opinions on their education and their professional future. Accordingly, Erdinler et al. [17] determined that the satisfaction degree of one third of the students was 60% and more. Furthermore, Erdinler et al. [17] revealed that 53.9% of the students were satisfied with their department while 44.1% of the students stated that they consider themselves as sufficient for working in the private sector; and the areas they preferred to work after graduation were project-design, marketing, production planning, R&D, quality control and procurement.

In a similar study conducted out by Sevim Korkut et al [18], 89.8% of the students stated that the materials, tools, equipments, and machinery provided by the department is insufficient for university education, while 71.4% indicated that computer facilities are also not sufficient.

Furthermore in their study, Bülbül et al., [19] assessed the opinions of the graduates from the associate degree program on Furniture and Decoration of the Vocational School of Department of Material and Material Processing Technologies studies through a survey on the education they received. The study was comparing the opinions of the students and their thoughts on the education they receive with the actual problems of the sector. Considering student satisfaction, it has been determined that 77% of the students are satisfied with their program, while 23% of them are not. The majority of the students enrolled in the program (82%) is consisted of Industrial Vocational High School graduates. After Industrial Vocational High School, it's been determined that the second highest student group is the graduates of general high school (6,6%). In addition, according to the study conducted by Keskin et al. [20] in National Vocation Schools Student Symposium 2010; while generally the students from vocational high schools are expected to enroll to the vocational schools, it was also observed that students mainly studied in general high school and not enrolled to any four-year teaching faculty were enrolled in the vocational school. The study reveals that this rate is significantly high with 73%.

II. MATERIAL & METHODS

The content of the study is designed as follows;

- Use of computer aided design programs.
- Survey study conducted between 1st and 2nd year students of the Istanbul University-Cerrahpasa Vocational School of Forestry Furniture and Decoration Program.
- Survey study conducted for 1st and 2nd year students of the Istanbul University-Cerrahpasa, Forest Faculty, Forest Industry Engineering Program.
- Interpretation and comparison of the survey results of the students of both departments

To that end, the study consists of four stages namely: literature review, survey study, evaluation of questionnaires and reporting of the results.

In this study, it is aimed to reveal the satisfaction levels of the students of the Forest Industry Engineering Department of Istanbul University-Cerrahpasa Faculty of Forestry and Istanbul University-Cerrahpasa Vocational School of Furniture and Decoration Program related to their departments. The study was conducted at the end of November during fall 2020-2021. The AutoCAD course is available in the 2nd year of Industrial Engineering students and in the 1st and 2nd year for the vocational school students. The total number of 2nd year students registered in AutoCAD course in Forest Industry Engineering Program was 36. Survey results were obtained from 30 of these students. In addition, the number of registered students in the 1st and 2nd year AutoCAD course in the Vocational School of Forestry Furniture and Decoration Program was 30. Survey results were obtained from all of them. The survey used in the study consisted of 31 questions.

III. THE RESEARCH FINDINGS

The survey form was prepared by using the existing studies in the literature, and the survey form covered questions related to some demographic characteristics of the students, their opinions on the education they receive and their professional future, the problems they encounter related to the department and their recommendations on the solutions. Questionnaires were prepared and sent to students by e-mail. The questionnaire was applied to the students who actively participated in the lessons. The universe of study consisted of total 60 students in the Forest Industry Engineering and Furniture and Decoration Program. Microsoft Office Excel program was used to evaluate the results in the study.

A. DEMOGRAPHIC CHARACTERISTICS OF THE STUDENTS

Data related to the class of the students participating to the survey is provided in Table 1.

Table 1. Participating students.

Class	Frequency	Percentage
1	41	68.33
2	19	31.6
Total	60	100

50% of the students participating in the study are male students, and 50% are female students (Table 2).

Table 2. Genders of the students

Gender	Frequency	Percentage
Male	30	50
Female	30	50
Total	60	100

The age range of the students varies between 18 and 25 and the average age is set as 22.

Types of high schools where the students of Forest Industrial Engineering and Furniture and Decoration Program are coming from are provided in Table 3.

Table 3. Types of high schools where the students have graduated from

Types of High Schools	Frequency	Percentage
General High School	7	11.66
Anatolian High School	31	51.66
Anatolian Teacher High School	0	0
Industrial Vocational High School	3	5
Religious Vocational High School	6	10
Science High School	0	0
Technical High School	3	5
Anatolian Technical High Schools	6	10
Health Vocational High School	1	1.6
Other	3	5
Total	60	100

51.66% of the students enrolled in the program consisted of Anatolian High School graduates. This is followed by the students who graduated from General High School (11.66%). On the option other (31.6%), the students stated that they have graduated from Anatolian Teacher High School, Industrial Vocational High School, Religious Vocational High School, Science High School, Technical High School Anatolian Technical High Schools, Health Vocational High School.

To that end, 20% of the students graduated from technical high school while 50% of them have taken the computer-aided design program course in technical high school. Students who attended the program in high school stated that the infrastructure was created for the university.

Considering the of the students' English language ability, it has been determined that 5% are very good, 28.3% are good, 41.6% are mid, 18.3% are poor, 6.6% are very poor.

Students were asked to express their math level with a value between 1-5. The average value of the 60 students who answered was 3.1. regarding the question "Does the level of mathematics have an effect on the design program?", 60% of the students said "Yes", 40% said "No".

B. STUDENTS OPINIONS ON THEIR DEPARTMENT OF EDUCATION

To begin with, 55% of the students stated that they were satisfied with online education. 51.6% of the students, on the other hand, indicated that they were not stated that satisfied with the online courses on the design program (AutoCAD). Furthermore, 66.6% of the students stated that the computer facilities of the program were sufficient for design courses while 56.6% of the students stated that class hours and practice sufficient in the course within the design program. Nevertheless, 76.6% stated that homework and projects in the course within the design program help to combine your imagination with design. The majority (90%) of the students stated that the student and educator's dialogue effective in learning the design program. Although 46.6% of the students are not stated that need any other resources other than the resources and practical demonstrations used in the course. 55% of the students stated that they did not need to take a design course other than the one taught in their program. Students who answered this question as "no" stated that they would like to learn additional programs such as 3d max, sketch up, photoshop, top solid, etc. (Table 4).

Table 4. Opinions of Students on Their Department

Opinions	Yes		No	
	Frequency	Percentage	Frequency	Percentage
Are you satisfied with online education?	33	55	27	45
Are you satisfied with the online courses on the design program?	29	48.33	31	51.66
Do you think the computer facilities of your program are sufficient for design courses?	40	66.6	20	33.3
Do you think class hours and practice are sufficient in the course within the design program?	34	56.66	26	43.33
Do you think homework and projects in the course within the design program are helpful to combine your imagination with design?	46	76.6	14	23.3
Do you think the student and educator's dialogue effective in learning the design program?	54	90	6	10
Do you need any other resources other than the resources and practical demonstrations used in the course?	28	46.6	32	53.33
Do you need to take a design course other than the one you take in your program?	27	45	33	55
Do you think design programs can be learned enough in online education?	27	45	33	55

Table 5. Students' thoughts about their program in the field of design.

Opinions	Enough		Not enough	
	Frequency	Percentage	Frequency	Percentage
What do you think about the adequacy of the professional trips and observations organized by your program?	30	50	30	50
What do you think about the adequacy of the design, technical drawing, etc. course type and content given in your program for the private sector?	42	70	18	30

As seen above, 50% of the students stated the adequacy of the professional trips and observations organized by their program as good enough, while 50% of them disagreed. Furthermore, ‘What do you think about the adequacy of the design, technical drawing, etc. course type and content given in your program for the private sector?’ was asked to the participants. Accordingly, 70% of the students stated enough but 30% are not (Table 5). Students who think they are not proficient stated that they will complete the deficiencies with additional courses, more practice, internship, research, etc.

Table 6. Students comparing their department with a department in another university

Opinions		Frequency	Percentage	Frequency	Percentage
		FIE	FIE	VSF	VSF
Are you aware of the education provided by your departments of other universities?	Yes	7	23.3	5	16.6
	No	23	76.6	25	83.3
If your answer is Yes, can you please compare your department in terms of education quality with the departments of other universities?	Good	3	42.85	2	40
	Average	2	28.57	1	20
	Bad	2	28.57	2	40

In terms of the question about the awareness of the education provided in Table 6, 23.3% of the forest industrial engineering department students answered “Yes” while 76.6% answered “No” to the question. In addition to that, 23.3% of the students who answered this question as “yes” indicated that the quality of education in their departments was average, 42.85% said “good” and 28.57% “bad” (Table 6).

Furthermore, to the same question about awareness of the education, 16.6% of the forest industrial engineering department students answered “Yes” and 83.3% answered “No” to the question. 16.6% of the students who answered this question as “Yes” stated that the quality of education in their departments as follows: 40 % “average”, 40% “good” and 20% “bad” (Table 6).

Finally, with respect to the opinions of the students related to the compliance of the education in the department to the private sector, 58.3% of the students stated that the program is behind the private sector, 15% stated that the program is at par with the private sector, and 28.7% stated that the program is ahead of the private sector.

C. OPINIONS OF THE STUDENTS ABOUT COMPUTER AIDED DESIGN PROGRAMS

To the question ‘Do you keep track of newly released computer hardware, software and programs?’ 21.6% of the students answered “Yes”, 41.6% of the students stated sometimes and 81.6% answered “No”.

Table 7. Opinions of the Students About Computer Aided Design Programs

Opinions	Yes		No	
	Frequency	Percentage	Frequency	Percentage
Do you think the language of the design programs in English or another foreign language limit your design skills?	16	26.6	44	73.3
Do you have any information about the machine-design relationship?	17	28.3	43	71.6
Do you think it is important to know before beginner level in design program use?	55	91.6	5	8.3
Do you think the installation, procurement and software updates of design programs easily available?	37	61.6	23	38.3

As seen in table 7, 73.3% of the students stated the language of the design programs in English or another foreign language does not limit their design skills. In modern production techniques, machines work integrated with design programs. Nevertheless, 71.6% of the students also indicated that they do not have any information about the machine-design relationship. Furthermore, to the question of ‘Do you think it is important to be familiar with the software before beginner level in design programs?’ 91.6% of the students answered “Yes” and 8.3% answered “No”.

Ease of access is important to users for the use of common computer programs. For the related question, 61.6% of the students stated that the software provides easy access, while 38.3% of the students stated that it was not easy to access (Table 7). The students who stated that the programs were easy to find stated that they were generally able to find them on the internet.

D. SECTORS THAT THE STUDENTS WANT TO WORK IN AFTER GRADUATING

The sectors that the students want to work in after graduating related to the forest industry engineering program they are currently studying are provided in Table 8.

When the sectors which the students want to work after graduating are examined, it is observed that 46.6% wants to work in furniture, 6.6% in particleboard, 20% in public, 6.6% in timber, 3.3% in fiberboard, and 10% in door-window sector. In addition to this, 6.6% of the students stated that they want to work in plywood, wooden structure, parquet, composite, recycling, academician, business, and other non-department sectors.

Table 8. Sectors that the Forest Industrial Engineering Program students want to work in after graduating

Sector	Frequency	Percentage
Furniture	14	46.6
Particleboard	2	6.6
Public	6	20
Paper	0	0
Timber	2	6.6
Fiberboard	1	3.3
Door, window	3	10
Others	2	6.6

The sectors that the vocational students would like to work after graduating related to the program that they are currently studying are provided in Table 9.

When the sectors which the students want to work after graduating are examined, it is observed that 53.3% want to work in furniture, 13.3% in public and 13.3% in door-window sector. In addition to this, 20% of the students stated that they want to work in plywood, wooden structure, parquet, composite, recycling, academician, business, and other non-department sectors.

Table 9. Sectors which Vocational School of Forestry, Furniture and Decoration Program students want to work in after graduating

Sector	Frequency	Percentage
Furniture	16	53.3
Particleboard	0	0
Public	4	13.3
Paper	0	0
Timber	0	0
Fiberboard	0	0
Door, window	4	13.3
Others	6	20

The sectors that the students want to work in after graduating related to the forest industry engineering program and Vocational School of Forestry, Furniture and Decoration Program they are studying are provided in Figure 1.

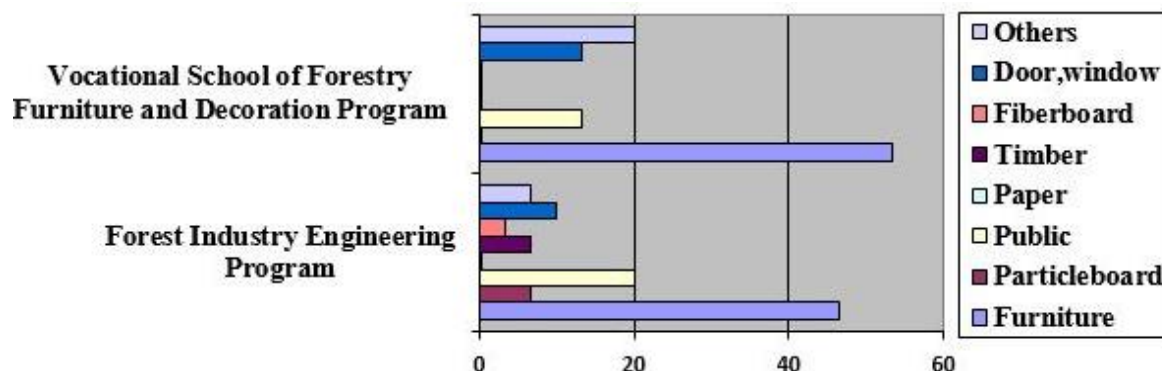


Figure 1. The Students Want to Work in After Graduating.

E. FIELDS THAT THE STUDENTS WANT TO WORK IN AFTER GRADUATING

When the fields which the Forest Industry Engineering Program students want to work after graduating are examined, it is determined that 26.6% of the students want to work in production planning, 16.6% in production, 16.6% in marketing, 20% in the project-design field. In addition to this, 10.8% of the students stated that they also want to work in fields such as civil service, banking, police officer etc (Table 10).

Table 10. Fields to work in after graduating from Forest Industry Engineering Program students

Work Area	Frequency	Percentage
Production Planning	8	26.6
Production	5	16.6
Marketing	5	16.6
Project-Design	6	20
Other	4	13.3

When the fields which the Forestry Vocational School of Forestry, Furniture and Decoration Program students want to work after graduating are examined, it is determined that 26.6% of the students want to work in production planning, 20% in production, 13.3% in marketing, 26.6% in project-design field. In addition to this, 13.3% of the students stated that they also want to work in fields such as civil service, banking, police officer etc. (Table 11).

Table 11. Fields to work in after graduating from Vocational School of Forestry, Furniture and Decoration Program students

Work Area	Frequency	Percentage
Production Planning	8	26.6
Production	6	20
Marketing	4	13.3
Project-Design	8	26.6
Other	4	13.3

The fields which the students would like to work after graduating related to the Forest Industry Engineering Program and Vocational School of Forestry, are provided in Figure 2.

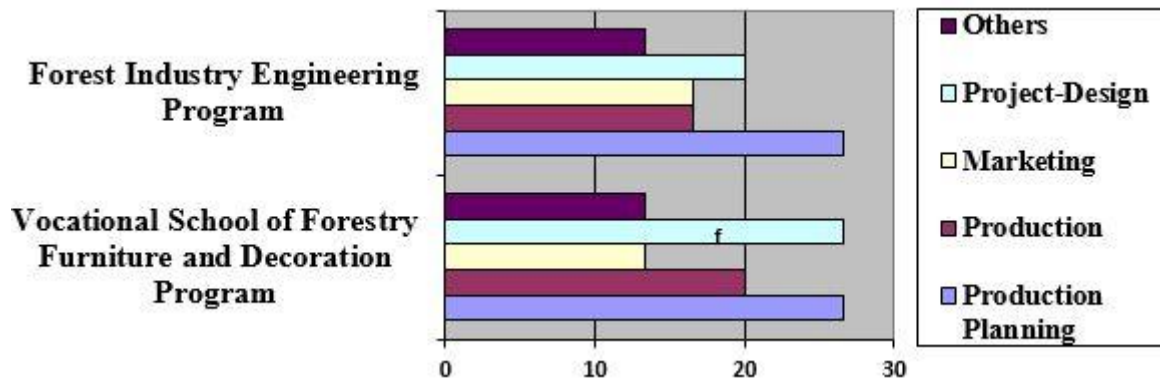


Figure 2. Fields which the Students Want to Work In After Graduating

Finally, to the question of 'Do you consider yourself qualified to work in the private sector?' was addressed to the participants and accordingly, 40% Vocational School of Forestry, Furniture and Decoration Program students answered "Yes" while 60% answered negative. Furthermore, 40% of Forest Industry Engineering Program students answered "Yes", 60% answered "No" to the same question. Thus, it is observed that while 40% of the total 60 students were ready to work in the private sector, 60% of them stated that they were not.

IV. CONCLUSION & DISCUSSION

The study was applied as a questionnaire to 60 students studying at Istanbul University-Cerrahpasa Forest Industry Engineering Program and Vocational School Furniture And Decoration Program. Students' general views of the computer-aided design course about distance education, their general development and their future were investigated. Survey questions are examined under 5 main headings.

Due to the current pandemic, distance education has been started quickly. This situation has made most students anxious for some practical lessons. Contrary to the fact that distance education is available anytime and anywhere, it has become a problem for students due to some technological materials (computer, camera, microphone, etc.) that they cannot provide, reducing their interest in the lesson. For lessons that require both an advanced computer and a program such as AutoCAD, distance education may be weak in learning. On the other hand, distance education videos of these courses could be purchased before the pandemic. In this case, it has been observed that students are psychologically stuck as they have to switch to distance education quickly due to the pandemic. In the study conducted to evaluate this situation through the eyes of the students, the effect of distance education on students whether to learn or not CAD design programs was investigated using a questionnaire method. It has been interpreted by the lecturers.

- 55% of the students stated that they are satisfied with online education. 51.6% of the students stated that they are not satisfied with the online courses on the design program. 66.6% of the students stated the computer facilities of their program as sufficient for design courses for both programs. Accordingly, findings from Demuyakor, J. [21] show that the implementation of online learning programs is a very good idea, as the majority of the sampled students support the initiative.
- 56.6% of the students stated that class hours and practice are sufficient in the course within the design program, while 76.6% stated that homework and projects in the course within the design program help to combine your imagination with design. The majority (90%) of the students stated that the student and educator's dialogue effective in learning the design program. Although 46.6% of the students are not stated that need any other resources other than the

resources and practical demonstrations used in the course. 55% of the students are not stated that need to take a design course other than the one you take in their program. Students want to learn the design programs they want to learn from outside; they exemplified programs such as 3d max, sketch up, photoshop, top solid, etc.

- 50% of the students stated that the adequacy of the professional trips and observations organized by their program is sufficient, while 50% are dissatisfied. Furthermore, the question ‘What do you think about the adequacy of the design, technical drawing, etc. course type and content given in your program for the private sector?’ was asked to the participants and. 70% of the students stated as enough. Students who think they are not proficient stated that they will complete the deficiencies with additional courses, more practice, internship, research, etc. In a similar study carried out by Erdinler et al. (2016), majority (76.5%) of the students stated that they will experience a concern for finding a job after graduating [17].
- In modern production techniques, machines work integrated with design programs. Nevertheless 71.6% of the students are not any information about the machine-design relationship. ‘Do you think it is important to know before beginner level in design program use?’ 91.6% students answered Yes and 8.3% answered No to the question.
- When the fields which Vocational School of Forestry Furniture and Decoration Program students want to work after graduating are examined, it's been determined that 26.6% of the students want to work in production planning, 20% in production, 13.3% in marketing, 26.6% in project-design field. In addition to this, 13.3% of the students stated that they also want to work in fields such as civil service, banking, police officer etc. In a similar study carried out by Bülbül et al., majority (69.9%) of the students stated that they consider themselves as sufficient for working in the private sector after graduating.

V. REFERENCES

- [1] A. Valenta, D. Therriault, M. Dieter and R. Mrtek, “Identifying student attitudes and learning styles in distance education,” *JALN*, vol. 5, 2001.
- [2] M.C. Belcheir and M. Cucek, “Faculty perceptions of teaching distance education courses,” Boise State University, Boise, USA, ED-480925, 2002.
- [3] Y. Erdoğan, M.F. Erkoç ve M. Göktimur, “Farklı öğretim kurumlarındaki öğrencilerin uzaktan eğitime yönelik tutumları,” *15. Ulusal Eğitim Bilimleri Kongresi*, Muğla, 2006.
- [4] S. Farhad, “Development of a distance education assessment instrument,” *Educational Technology Research and Development*, Springer Boston, no. 39, pp. 65- 77, 1991.
- [5] A. Zor, “Görsel sanatlar dersinde bilgisayar kullanımının gerekliliği,” *A.Ü. Bayburt Eğitim Fakültesi Dergisi*, c. 1, s. 1, ss. 111-119, 2002.
- [6] M. Hirz, W. Dietrich, A. Gferrer and J. Lang, *Integrated Computer-Aided Design in Automotive Development: Development Processes, Geometric Fundamentals, Methods of Cad, Knowledge-Based Engineering Data Management*, Springer, 2013, pp. 241-254. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-11940-8>.
- [7] T. Yanpar, *Öğretim Teknolojileri ve Materyal Tasarımı*, 7. baskı, Ankara, Türkiye: Anı Yayıncılık, 2006.

- [8] Ö. Işık, B. Bayramoğlu and E.D. Öner, “Peyzaj Mimarlığında modelleme çalışmalarının kullanıcılar üzerinde etkisinin araştırılması,” *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, c. 13, s. 1, ss. 15-23, 2013.
- [9] C. Ünür, “Sanal gerçeklik destekli tasarım,” Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2000.
- [10] G. U. Harputlugil, “Mimari tasarım süreci içinde bina enerji simülasyon programı uygulamalarının yeri,” *Teknoloji Dergisi, Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Yayınları*, c. 10, s. 3, ss. 143-159, 2007.
- [11] S. Ervin And H. Hasbrouck, *Landscape Modelling Digital Techniques For Landscape Visualization*, USA: Mc Graw Hill Companies, 2001.
- [12] M. Salchner, S. Stadler, M. Hirz, J. Mayr and J. Ameye, “Multi-CAD approach for knowledge-based,” *Computer-Aided Design and Applications*, 2015. <http://dx.doi.org/10.1080/16864360.2015.1131540>
- [13] S. Goldermans and M. Hoogenboom, “GIS visualization the killer application,” *Geoinformatics*, pp. 35-49, 2001.
- [14] A. Uğur ve E. Özgür, “İnternet üzerinde üç boyut ve mimarlıkta web 3d,” IX. *Türkiye’ de İnternet Konferansı*, no. 3, ss. 1-8, 2003.
- [15] M. Bosch-Mauchand, F. Belkadi, B. Bricogne and B. Eynard, “Knowledge based assessment of enterprise performance: integration of product lifecycle management and value chain simulation approaches,” *International Journal of Computer Integrated Manufacturing (IJCIM)*, vol. 26, no. 5, pp. 453–473, 2013.
- [16] F. Belkadi, N. Dremont, A. Notin, N. Troussier and M. Messaadia, “A meta-modelling framework for knowledge consistency in collaborative design,” *Annual Reviews in Control*, vol. 36, no. 2, pp. 346–358, 2012.
- [17] E.S. Erdinler, Z. Bülbül, E. Öztürk, D.S. Korkut and K.H. Koç, “Opinions of forest industrial engineering department students on their education: Istanbul University example,” *Proceedings of The 7th MAC, Academic Conferences Association, International Conference*, pp. 304-318, 2016.
- [18] D.S. Korkut, T. Gedik and O. Uzun, “Opinions of forest industrial engineering department students on their education and professional future (Duzce University example),” *Duzce University Forestry Journal*, vol. 7, no. 1, pp. 46-55, 2011.
- [19] Z. Bülbül, E.S. Erdinler, M.Ö. Kuşcuoğlu and D.S. Korkut, “Opinions of Istanbul University faculty of forestry vocational school of forestry furniture and decoration program students on their education,” *Proceedings of the 7th mac academic conferences association, International Conference*, pp. 319-330, 2016.
- [20] N. Keskin, A. Koraltan and Ö. Öztürk, “Pamukkale University buldan vocational school student profile,” *National Vocational Schools Student Symposium*. Duzce, Turkey, 2010.
- [21] J. Demuyakor, “Coronavirus (COVID-19) and online learning in higher institutions of education: a survey of the perceptions of ghanaiian international students in China,” *Online Journal of Communication and Media Technologies*, vol. 10, no. 3, 2019.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Enerji Verimli Binaların Isıtma ve Soğutma Yüklerinin Düzenli Modeller ile Tahmin Edilmesi

 Burak DİLBER^{a,*},  A. Fırat ÖZDEMİR^a

^a İstatistik Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: burakdilber91@gmail.com

DOI: 10.29130/dubited.939933

ÖZ

Fosil yakıtların azalması ile birlikte enerji verimliliği kavramı gün geçtikçe önem kazanmaktadır. Enerjinin büyük bir bölümü binaların yapım ve kullanımında tüketildiğinden binalardaki enerji tasarrufunu sağlamak için ısıtma ve soğutma yüklerinin hesaplanması gerekir. Bu yükler enerji simülasyon yazılımları kullanılarak hesaplanmaktadır ancak bu süreç çok zaman alabilir ve kullanıcı deneyimi gerektirir. Makine öğrenmesi algoritmaları ısıtma ve soğutma yüklerinin tahminlenmesinde hızlı ve güvenilir bir alternatif haline gelmiştir. Bu çalışmada, binaların ısıtma ve soğutma yükleri Doğrusal Regresyon, K – En Yakın Komşuluk, Destek Vektör Makineleri, Karar Ağaçları, Rastgele Orman, Uç Gradyan Artırma ve Yapay Sinir Ağları kullanılarak tahminlenmiştir. Analizler R İstatistiksel Programlama Dili'nin güncel çalışma alanlarından olan düzenli modeller ("tidymodels") ile gerçekleştirilmiştir. Düzenli modeller "tidyverse" ilkeleri ile makine öğrenmesi uygulamaları yapmak için geliştirilmiş, hızlı ve pratik çözümler sunan paketler koleksiyonudur. Yapılan çalışma ile elde edilen sonuçlara göre tahmin doğruluğu açısından en başarılı algoritma Uç Gradyan Artırma Algoritması olmuştur. Binaların çeşitli özelliklerine ait değerler girilerek ısıtma ve soğutma yüklerini yüksek hassasiyet ile tahmin etmek ve hızlı sonuç almak için düzenli modelleme yaklaşımı ile Uç Gradyan Artırma Algoritması'nın kullanılması önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Enerji verimliliği, R, Düzenli modeller, Makine öğrenmesi, Uç gradyan artırma

Estimating Heating and Cooling Loads of Energy Efficient Buildings with Tidy Models

ABSTRACT

With the decrease in fossil fuels, the concept of energy efficiency gains importance day by day. Since most of the energy is consumed in the construction and use of buildings, heating and cooling loads must be calculated in order to save energy in buildings. These loads are calculated using energy simulation software, but this process can take a lot of time and requires user experience. Machine learning algorithms have become a fast and reliable alternative for predicting heating and cooling loads. In this study, heating and cooling loads of buildings are estimated using Linear Regression, K - Nearest Neighbors, Support Vector Machines, Decision Trees, Random Forest, Extreme Gradient Boosting and Artificial Neural Networks. Analyzes are carried out with tidy models ("tidymodels"), which is one of the current study areas of R Statistical Programming Language. Tidy models are a collection of packages that are developed for machine learning applications with the principles of "tidyverse", offering fast and practical solutions. According to the results obtained from the study, the most successful algorithm in terms of prediction success has been the Extreme Gradient Boosting Algorithm. With this model, the use of a fast-running method that can predict heating and cooling loads with high precision by entering values for various properties of buildings is proposed.

Keywords: Energy efficiency, R, Tidy models, Machine learning, Extreme gradient boosting

I. GİRİŞ

Küresel iklim değişikliği ve enerji güvenliği ile ilgili endişelerin artmasıyla birlikte “enerji verimliliği” kavramı gün geçtikçe önemini artırmaktadır. Enerji kaynaklarının önemli bir bölümünü oluşturan fosil yakıtların azalması ve bu yakıtların dağıtım sırasında ortaya çıkan çevresel sorunlar nedeniyle enerji verimliliğine daha fazla ihtiyaç duyulmaktadır. Fosil enerji kaynaklarının tükenmesi ile birlikte çevreye daha az zarar veren alternatif enerji kaynaklarının kullanılması ve enerji tüketimini en aza indirmek açısından enerji verimliliği uygulamaları bir çok ülkede teşvik edilmektedir.

Binaların yapım ve kullanımında çok enerji tüketilmektedir. Bu yüzden, tüm dünyada inşaat sektöründeki enerji tasarrufu potansiyeli çok yüksektir [1]. Günümüzde binalar için enerji verimliliği ısıtma ve soğutma yüklerinin azaltılmasıyla sağlanmaktadır. Enerji verimli bina tasarımı söz konusu olduğunda, konforlu iç hava koşullarını korumak için ısıtma ve soğutma yüklerinin hesaplanması gerekir [2]. Gerekli ısıtma ve soğutma yüklerini hesaplamak için mimarlar ve bina tasarımcıları, binanın ve çevrenin özellikleri, iklim ve kullanım amacı hakkında bilgilere ihtiyaç duymaktadırlar.

Bina enerji simülasyon araçları enerji verimli binaların tasarımını ve işletimini kolaylaştırmak ve bina enerji tüketimini tahmin etmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu araçlardan bulunan simülasyon sonuçlarının gerçek ölçümleri çoğu zaman doğru bir şekilde yansıtılabileceği gösterilmiştir. Ancak bu süreç çok zaman alabilir ve kullanıcı deneyimi gerektirir. Ayrıca yapılan tahminlerin doğruluğu farklı yazılımlar arasında değişiklik gösterebilmektedir [3]. Bu nedenle bir çok araştırmacı enerji verimli binalar için ısıtma ve soğutma yüklerini tahminlerken makine öğrenmesi araçlarından faydalanmaktadır. Çünkü, binalar için gerekli veri setleri mevcut olduğunda bu araçları kullanmak daha kolay ve hızlı çözümler sunmaktadır. Bu veri setleri yeterince eğitildikten sonra binaların bazı özellikleri değiştirilerek cevaplar elde etmek son derece hızlıdır.

Literatürde, binaların ısıtma ve soğutma yükünü tahmin etmek için bir çok çalışma mevcuttur. Tsanas ve Xifara, Ecotect simülasyon yazılımı ile elde edilen veri setini kullanarak Yeniden Ağırlıklandırılmış En Küçük Kareler ve Rastgele Orman Algoritmaları'nın performanslarını incelemiştir [2]. Chou ve Bui binaların enerji performansı için Destek Vektör Regresyonu, Yapay Sinir Ağları, Ki – Kare Otomatik Etkileşim Dedektörü, Genel Doğrusal Regresyon ve Topluluk Çıkarım Modeli dahil olmak üzere çeşitli veri madenciliği tekniklerini kullanarak ısıtma ve soğutma yüklerini tahmin etmişlerdir. Çalışmalarında SPSS Clementine programını kullanmış, ısıtma yükü için Destek Vektör Regresyonu, soğutma yükü için Destek Vektör Regresyon ve Yapay Sinir Ağlarının birlikte kullanıldığı Topluluk Çıkarım Modelini önermişlerdir [4]. Peker vd. regresyon tabanlı makine öğrenmesi algoritmalarını kullanarak yapıların ısıtma ve soğutma yüklerini tahminlemiştir. Çalışmalarında tahmin başarısı açısından en yakın sonucu Rastgele Orman Regresyonu Algoritması ile elde etmişler ve yaptıkları analiz için Orange veri madenciliği programını kullanmışlardır [5]. Gümüşçü vd. tarafından yapılan çalışmada binaların ısıtma ve soğutma yükü sınıfları K – En Yakın Komşuluk, Destek Vektör Makineleri ve Karar Ağaçları yöntemleri kullanılarak tahminlenmiştir [6]. Seyedzadeh vd. EnergyPlus ve Ecotect simülasyon yazılımları ile elde edilen iki farklı simüle edilmiş veri seti üzerinde çalışmışlardır. Python programlama dili ile yaptıkları çalışmada yapıların ısıtma ve soğutma yüklerinin tahmininde popüler makine öğrenimi modellerinin doğruluğunu araştırmış ve sonuçları karşılaştırmışlardır [7]. Roy vd. Derin Sinir Ağları, Gradyan Destekli Makine, Gauss Süreci Regresyonu ve Minimax Olasılık Makine Regresyonu Algoritmalarını kullanarak binaların ısıtma ve soğutma yüklerini tahminlemek için modeller önermişlerdir. Yaptıkları çalışmada R programlama dili ve MATLAB programını kullanmışlardır [8]. Moradzadeh vd. Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağları ve Destek Vektör Regresyon Algoritmalarını kullanarak binaların ısıtma ve soğutma yüklerini tahminlemiştir [9].

Literatürde yer alan uygulamalara bakıldığında makine öğrenmesi algoritmaları kullanılarak çeşitli çalışmalar yapıldığı görülmektedir. Bu çalışmada düzenli modeller ile enerji verimli binaların ısıtma ve soğutma yüklerini tahminlemek için makine öğrenmesi uygulaması yapılmıştır. Düzenli modeller R programlama dilinin güncel çalışma alanlarından biridir. Çalışmanın 2. bölümünde düzenli modeller

tanıtılmıştır. 3. Bölümde, yapılan makine öğrenmesi uygulaması R kodları ile açıklanmış ve son bölümde de elde edilen sonuçlar yorumlanarak öneriler yapılmıştır.

II. DÜZENLİ MODELLER

Veri manipülasyonu, hesaplama, grafik gösterimi gibi çeşitli uygulamalar için kullanılan R programlama dili yeni geliştirilen veri çözümlene yöntemlerine ait uygulamaların da hızlı bir biçimde yapılmasını sağlar [10]. Ayrıca R’de hazır paketler kullanılarak karmaşık yöntemlere ait işlemler tek satırlık bir kod ile çalıştırılabilir.

R’de yer alan bazı standart paketler ile veri bilimi alanında çalışmalar yapmak mümkündür. Ancak, bu paketlerde yer alan fonksiyonlardaki söz dizimi farklılıkları kod yazmayı zahmetli ve zaman alan bir süreç haline getirmiştir. Kodların okunabilirliğini arttırmak ve daha anlaşılır söz dizimi oluşturmak için Bache ve Wickham tarafından pipe (%>%) operatörü önerilmiştir. Bu operatör fonksiyonların birleşimi için kullanılan bir araçtır ve büyük problemleri küçük parçalara ayırarak çözmeyi kolaylaştırır [11].

Hadley Wickham vd. 2019 yılında yaptıkları çalışmada sözdizimi farklılıklarından kaynaklanan zorlukların aşılması için tidyverse paketler koleksiyonunu önermiştir [12]. Veri bilimi alanında çeşitli uygulamaları daha hızlı ve düzenli bir şekilde yapabilmek için bu paketler koleksiyonu kullanılabilir. Tidyverse istatistiksel modelleme için gerekli fonksiyonları içermez ancak veri bilimi için önemlidir. Tidyverse paketi ile birlikte R istatistiksel programlama diline bir “düzenlilik” kavramı getirilmiştir.

Tidyverse paketler koleksiyonundaki istatistiksel modelleme ve makine öğrenimi uygulamaları eksiğini gidermek için Max Kuhn ve Hadley Wickham tarafından tidymodels paketler koleksiyonu önerilmiştir. Tidymodels paketler koleksiyonunu kullanarak tidyverse ilkeleri ile modelleme ve makine öğrenimi uygulaması yapmak mümkündür [13]. Böylece, R’de düzenli modeller oluşturabilmek için kullanışlı ve daha pratik çözümler sunulmuştur. Tidymodels paketler koleksiyonunda yer alan paketlerdeki fonksiyonlar birbirleriyle etkileşimli bir şekilde çalışarak modeller oluşturmamıza olanak tanır.

Tidymodels paketler koleksiyonu bir veri bilimi projesi için gerekli olan veri ön işleme, yeniden örnekleme, modelleme ve performans ölçümleri gibi çeşitli aşamaları içeren paketlerden oluşmaktadır. Bu paketler sırasıyla aşağıda belirtilmiştir:

recipes: Veri ön işleme, veri manipülasyonu ve analizi gibi adımlardan oluşan pakettir. Adımlar için istatistiksel parametreler bir başlangıç veri setinden tahmin edilebilir ve daha sonra diğer veri setlerine uygulanabilir [14]. Veri dönüştürme, veri normalleştirme ve kayıp gözlem giderme gibi çeşitli veri ön işleme aşamaları bu pakette yer alan fonksiyonlar kullanılarak yapılabilir.

rsample: Farklı türlerdeki yeniden örnekleme nesnelere oluşturmak ve özetlemek için fonksiyonlar içeren pakettir [15]. Veri setini eğitim verisi ve test verisi olarak ayırmak ve çapraz doğrulama setleri oluşturmak için çeşitli yeniden örnekleme yöntemleri kullanılabilir.

broom: İstatistiksel nesnelere hakkında önemli bilgileri içerir. Bu paket, sonuçları raporlamayı, grafikler oluşturmayı ve aynı anda çok sayıda modelle tutarlı bir şekilde çalışmayı kolaylaştırır [16]. Bu pakette temel olarak kullanılan 3 fonksiyon bulunmaktadır. *tidy()*, regresyon katsayıları gibi model bileşenleri hakkında bilgileri özetler. *glance()*, Akaike Bilgi Kriteri ve Bayes Bilgi Kriteri gibi uyum iyiliği ölçümleri ile model hakkında bilgi verir. *augment()*, bir veri setinin tahminlenen değerleri ve etkin gözlemleri gibi her bir gözlem için bilgi verir.

parsnip: Farklı fonksiyonlar ve hesaplama motorları boyunca farklı argüman adlarını hatırlamak zorunda kalmadan modellerin belirlenmesine olanak sağlamak için bir arayüz sağlanmıştır [17]. Popüler makine öğrenmesi algoritmalarının kullanımı için fonksiyonlar içerir.

workflows: *recipes* paketi ile oluşturulan veri ön işleme aşamaları ve *parsnip* ile oluşturulan model birleştirilerek modelleme sürecini kolaylaştırır [18].

tune: Modellerdeki ön işleme yöntemlerinde ve işlem sonrası adımlarda hiperparametrelerin makul değerlerini bulmak için kullanılacak fonksiyonları içerir [19].

dials: Bir çok model için verilerden doğrudan tahmin edilemeyen parametreleri içerir. Bu pakette yer alan fonksiyonlar bu tür parametrelerin değerlerini oluşturmak, simüle etmek veya doğrulamak için kullanılabilir [20].

yardstick: Karmaşıklık matrisleri, sınıf olasılık eğrileri ve regresyon metrikleri gibi modelin bir veri setine ne kadar iyi uyduğunu ölçmek için düzenli fonksiyonlar sağlar [21].

Düzenli modeller ile makine öğrenme algoritmaları uygulanırken çeşitli motorlar kullanılmaktadır. Örneğin Doğrusal Regresyon için *lm()* fonksiyonu kullanılır. Düzenli modellerde bu fonksiyon kullanılacaksa motor olarak belirtilmesi gerekir. Doğrusal regresyon için düzenli modeller kullanılarak model oluşturulurken yazılacak kodlar

```
linear_reg() %>%  
  set_engine("lm")  
## Linear Regression Model Specification (regression)  
##  
## Computational engine: lm
```

şeklinde olabilir. Ayrıca; farklı paketleri kullanmak için *set_engine()* fonksiyonunda bu paketler belirtilmelidir. Doğrusal regresyon için kullanılacak motorlar; *glmnet*, *stan*, *spark* ve *keras* olarak söylenebilir.

Bazı makine öğrenmesi algoritmaları hem regresyon hem de sınıflandırma tabanlı olarak kullanılabilir. Bu algoritmalar kullanılarak modelleme yapılırken regresyon ya da sınıflandırma olarak belirtilmesi gerekir. Bunun için *set_mode()* fonksiyonu kullanılmaktadır. Örneğin; K – En Yakın Komşu Algoritması için *kknn* paketi kullanılarak modeller oluştururken yazılacak kodlar

```
nearest_neighbor() %>%  
  set_engine("kknn") %>%  
  set_mode("regression")  
## K-Nearest Neighbor Model Specification (regression)  
##  
## Computational engine: kknn
```

şeklinde olabilir. Sınıflandırma tabanlı çalışmalar için *set_mode()* fonksiyonunda *regression* yerine *classification* yazılmalıdır.

Diğer algoritmalar için düzenli modellerde kullanılacak çeşitli motorlar vardır. Artırılmış Ağaçlar için *xgboost*, *C5.0* ve *spark* motorları kullanılabilir. Uç Gradyan Artırma için bu motor *xgboost* olarak belirlenmelidir. Karar Ağaçları Algoritması için kullanılacak motorlar; *rpart*, *C5.0* ve *spark* olarak söylenebilir. Lojistik Regresyon için *glm*, *glmnet*, *stan*, *spark* ve *keras* motorları, Rastgele Orman Algoritması için *ranger*, *randomForest* ve *spark* motorları, Destek Vektör Makineleri için *kernlab* ve *liquidSVM* motorları ve Yapay Sinir Ağları için *nnet* ve *keras* motorları kullanılmaktadır.

Yapılan çalışmada düzenli modeller ile sekiz bağımsız değişken ve iki bağımlı değişkenden oluşan bir veri seti üzerinde binaların ısıtma ve soğutma yüklerini tahmin edebilen modeller oluşturulmuştur. Kullanılan yöntemler; Doğrusal Regresyon (DR), K – En Yakın Komşuluk (KEYK), Destek Vektör Makineleri (DVM), Karar Ağaçları (KA), Rastgele Orman (RO), Uç Gradyan Artırma (UGA) ve Yapay Sinir Ağları (YSA)'dır.

III. UYGULAMA

Bu uygulamada Athanasios Tsanas ve Angeliki Xifara isimli araştırmacıların sundukları veri seti kullanılmıştır [22]. 768 satır veri içeren bu veri seti 8 bağımsız değişken (X_1, \dots, X_8) ve 2 bağımlı değişkenden (Y_1, Y_2) oluşmaktadır. Her bir gözlem ayrı bir bina içindir. Gerçek değerli iki bağımlı değişkenin tahmin edilmesi amaçlanmaktadır. Veri setindeki değişkenler sırasıyla aşağıda listelenmiştir.

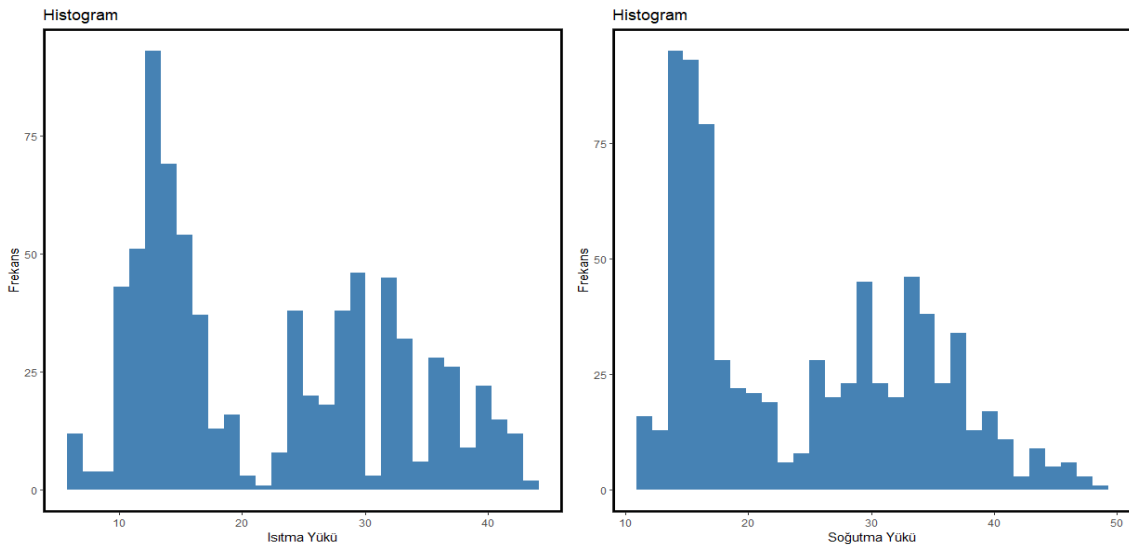
1. Nispi Yoğunluk (X_1)
2. Yüzey Alanı (X_2)
3. Duvar Alanı (X_3)
4. Çatı Alanı (X_4)
5. Toplam Yükseklik (X_5)
6. Yönlendirme (X_6)
7. Cam Alanı (X_7)
8. Cam Alanı Dağılımı (X_8)
9. Isıtma Yüğü (Y_1)
10. Soğutma Yüğü (Y_2)

Veri setinde yer alan değişkenlere ait tanımlayıcı istatistikler Tablo 1’de gösterilmektedir.

Tablo 1. Değişkenler için tanımlayıcı istatistikler

Değişkenler	Minimum	1. Çeyreklik	Median	Mean	3. Çeyreklik	Maksimum
X1	0.62	0.6825	0.75	0.7642	0.83	0.98
X2	514.5	606.4	673.8	671.7	741.1	808.5
X3	245	294	318.5	318.5	343	416.5
X4	110.2	140.9	183.8	176.6	220.5	220.5
X5	3.5	3.5	5.25	5.25	7	7
X6	2	2.75	3.5	3.5	4.25	5
X7	0	0.1	0.25	0.2344	0.4	0.4
X8	0	1.75	3	2.812	4	5
Y1	6.01	12.99	18.95	22.31	31.67	43.10
Y2	10.90	15.62	22.08	24.59	33.13	48.03

Bağımlı değişkenler için oluşturulan histogramlar şekil 1’de gösterilmektedir.



şekil 1. Bağımlı değişkenlere ait histogramlar

İlk olarak tidymodels paketler koleksiyonu yüklenmektedir. R programlama dilinde *install.packages()* fonksiyonu kullanılarak gerekli paket indirilmektedir. *library()* ile indirilen pakete ait fonksiyonlarla çalışabilmek için bir kütüphane oluşturulur. Böylece, tidymodels paketler koleksiyonuna ait tüm paketler ve fonksiyonları R programlama dilinde kullanılabilir.

```
##install.packages("tidymodels")  
library(tidymodels)
```

Veri setini R programlama diline aktarmak için *rio* paketinin içerisindeki *import* fonksiyonu kullanılmıştır. Bu fonksiyonun içerisinde veri setinin yolu belirtilmiştir.

```
##install.packages("rio")  
library(rio)  
ENB2012_data <- import(file = 'https://archive.ics.uci.edu/ml/machine-learning-  
databases/00242/ENB2012_data.xlsx')
```

Bir modelleme projesine başlamak için veri seti, eğitim seti ve test seti olmak üzere 2 bölüme ayrılmalıdır. Eğitim seti, parametreleri tahmin etmek, modelleri karşılaştırmak, modeller için hiperparametre ayarlaması yapmak gibi özellikler için kullanılır. Test seti ise projenin sonuna kadar yedekte tutulur ve model performansını ölçmek için kullanılır.

Verilerin bu bölümlerini oluşturmanın farklı yolları vardır. En yaygın yaklaşım, rastgele bir örnek kullanmaktır. Bu çalışmada verilerin %25'i test ve %75'i eğitim seti için ayrılmıştır.

Rassal örnekleme, rassal veriler ürettiğinden herkesin aynı sonucu bulması için *set.seed()* fonksiyonu kullanılmaktadır.

```
set.seed(123)
```

Veri setini yukarıda bahsedilen bölümlere ayırmak için *rsample* paketinde yer alan *initial_split()* fonksiyonu kullanılmaktadır. Bu fonksiyon verileri alır ve bölümlerin nasıl yapılacağına dair bilgileri kaydeder. *initial_split()* fonksiyonunun *prop* argümanı kullanılarak modelleme ve analiz için saklanacak verilerin oranı belirtilir. Bu uygulama da oran "0.75" olarak belirlenmiştir.

```
enb_split <- initial_split(ENB2012_data, prop = 0.75)  
enb_split  
## <Analysis/Assess/Total>  
## <576/192/768>
```

enb_split isminde tanımladığımız nesnenin çıktısına bakıldığında 768 örneklemin 576'sı analiz, 192'si ise değerlendirme yapacağımız set için ayrıldığı görülmektedir.

Elde edilen verileri çıkarmak için *rsample* paketinin içerisindeki *training()* ve *testing()* fonksiyonları kullanılmaktadır.

```
enb_train <- training(enb_split)  
enb_test <- testing(enb_split)
```

Eğitim seti ve test seti, *enb_train* ve *enb_test* isimli nesnelere tutulmaktadır.

Ayrıca modellemede hiperparametre ayarlaması yapmak için çapraz doğrulama setleri kullanılmıştır. Tidymodels paketinde çapraz doğrulama yapabilmek için *rsample* paketinin içerisinde yer alan *vfold_cv()* fonksiyonu kullanılmaktadır. Bu fonksiyonda yer alan *v* argümanı veri setinin bölümlerinin sayısını ifade eder ve bu uygulamada 10 olarak belirlenmiştir.

```
enb_cv <- vfold_cv(enb_train, v = 10)
```

Tidymodels paketler koleksiyonunda veri ön işleme aşamaları için *recipes* paketi kullanılmaktadır. Bu paket içerisinde yer alan *recipe()* fonksiyonunun ilk argümanı tilde (~) işareti içeren bir formüldür. Tilde (~) işaretinin solundaki değişken bağımlı (ısıtma yükü) ve sağındaki değişkenler ise bağımsız değişkenleri belirtmektedir. *data* argümanı kullanılarak veri seti bu fonksiyon ile ilişkilendirilir. Bu çalışmada bağımsız değişkenlerin değişim aralığını yaklaştırmak amacıyla karekök dönüşümü uygulanmıştır. Bu işlem, *step_sqrt()* ve *all_predictors()* fonksiyonları ile gerçekleştirilmiştir.

```
enb_recipe_hl <-  
  recipe(Y1 ~ X1 + X2 + X3 + X4 + X5 + X6 + X7 + X8, data = ENB2012_data) %>%  
  step_sqrt(all_predictors())  
enb_recipe_hl  
## Data Recipe  
##  
## Inputs:  
##  
##   role #variables  
## outcome      1  
## predictor     8  
##  
## Operations:  
##  
## Square root transformation on all_predictors()
```

Bu uygulamada 6 farklı regresyon tabanlı makine öğrenme algoritması kullanılmıştır. Bu algoritmalar; Doğrusal Regresyon, K – En Yakın Komşuluk, Destek Vektör Makineleri, Karar Ağaçları, Rastgele Orman, Uç Gradyan Artırma ve Yapay Sinir Ağları'dır.

Burada, binaların ısıtma yükü için Uç Gradyan Artırma Algoritması kullanılarak modellemenin nasıl yapıldığı anlatılacaktır.

Uç Gradyan Artırma Algoritması için *parsnip* paketinin içerisinde yer alan *boost_tree()* fonksiyonu kullanılmaktadır. Hesaplama motoru olarak *xgboost* kullanılmıştır ve bu işlem *xgboost* paketi çalıştırılarak gerçekleştirilmektedir. Ayrıca regresyon tabanlı uygulama olduğu için *set_mode()* fonksiyonu *regression* olarak belirtilmiştir.

Uç Gradyan Artırma Algoritması'nda *tree_depth*, *trees*, *mtry*, *min_n* ve *sample_size* parametreleri için hiperparametre ayarlaması yapılmıştır. Bu işlem *boost_tree()* fonksiyonunda parametrelerin *tune()* fonksiyonuna eşitlenmesi ile gerçekleştirilmiştir.

```
boost_model <-  
  boost_tree( tree_depth = tune(),  
             trees = tune(),  
             mtry = tune(),  
             min_n = tune(),  
             sample_size = tune()  
  ) %>%  
  set_engine("xgboost") %>%  
  set_mode("regression")
```

Oluşturulan model ve veri ön işleme aşamaları *workflows* paketinin *workflow()* fonksiyonu ile birleştirilir. Bu işlem *add_model()* ve *add_recipe()* fonksiyonları ile gerçekleştirilir. *workflow()* kullanılarak modeli eğitmek ve test etmek daha kolay hale gelir.


```

set.seed(123)
boost_wf <-
  workflow() %>%
  add_model(boost_model) %>%
  add_recipe(enb_recipe_hl)
boost_wf
## == Workflow =====
## Preprocessor: Recipe
## Model: boost_tree()
##
## -- Preprocessor -----
## 1 Recipe Step
##
## * step_sqrt()
##
## -- Model -----
## Boosted Tree Model Specification (regression)
##
## Main Arguments:
## mtry = tune()
## trees = tune()
## min_n = tune()
## tree_depth = tune()
## sample_size = tune()
##
## Computational engine: xgboost

```

Bir *workflow* oluşturulduktan sonra çapraz doğrulama setlerinin her biri için *tune* paketinin *tune_grid()* fonksiyonu ile hiperparametre ayarlaması yapılmıştır. *metric_set* fonksiyonu ile karşılaştırma yapılacak kriterler belirlenmiştir. Bu çalışmada kök ortalama kare hatası (RMSE), ortalama mutlak hata (MAE) ve R - Kare (R2) kriterleri kullanılmıştır. Bu kriterlere ait formüller sırasıyla Eş. 1, Eş. 2 ve Eş. 3'de verilmiştir;

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (1)$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |y_i - \hat{y}_i| \quad (2)$$

$$R2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2} \quad (3)$$

Burada, N veri setindeki örneklem sayısını göstermektedir. \hat{y}_i tahmin edilen değerleri, y_i veri setindeki bağımlı değişkenlerin gerçek değerlerini ve \bar{y}_i ise veri setindeki bağımlı değişkenlerin gerçek değerlerinin ortalamasını belirtmektedir. RMSE, bir makine öğrenmesi modelinin tahmin ettiği değerler ile gerçek değerleri arasındaki uzaklığın bulunmasında sıklıkla kullanılan, hatanın büyüklüğünü ölçen bir kriterdir. Hatalar, regresyon modelinin veri setindeki gerçek değerlerden ne kadar uzakta olduğunun bir ölçüsüdür. RMSE ise bu hataların ne kadar yayıldığına bir ölçüsüdür. RMSE, 0'dan sonsuza kadar değer alabilir. Bir makine öğrenmesi modelinin iyi performans göstermesi için RMSE değerinin 0'a yakın olması gerekir. MAE, gerçek değer ile tahmin edilen değer arasındaki ortalama mutlak mesafedir. MAE değeri kolay yorumlanabilir olduğu için regresyon ve zaman serileri problemlerinde sıklıkla kullanılmaktadır. MAE, 0'dan sonsuza kadar değer alabilir. Bir makine öğrenmesi modelinin iyi performans göstermesi için MAE değerinin 0'a yakın olması gerekir. R2,

hataların kareler toplamı ve veri setindeki bağımlı değişkende yer alan değerlerin ortalamaya uzaklığının kareler toplamından faydalanılarak hesaplanır. R2 denklemine de yer alan bu değerlerin oranı ne kadar küçük ise R2 o kadar yüksek olacaktır. Bir makine öğrenmesi modelinin iyi performans göstermesi için R2 değerinin 1'e yakın olması gerekir.

```
boost_results <-
  boost_wf %>%
  tune_grid(resamples = enb_cv,
            metrics = metric_set(rmse, rsq, mae)
  )
```

Hiperparametre ayarlaması için çapraz doğrulama setlerindeki sonuçlar *tune* paketinin içerisinde yer alan *collect_metrics()* fonksiyonu kullanılarak listelenmektedir.

```
boost_results %>%
  collect_metrics()
## # A tibble: 30 x 11
##   mtry trees min_n tree_depth sample_size .metric .estimator mean   n
##   <int> <int> <int>   <int>     <dbl> <chr> <chr>   <dbl> <int>
## 1     1     1  904     4       12  0.993 mae    standard  0.277  10
## 2     1     1  904     4       12  0.993 rmse  standard  0.417  10
## 3     1     1  904     4       12  0.993 rsq   standard  0.998  10
## 4     2     2 1570    31        5  0.533 mae    standard  0.837  10
## 5     2     2 1570    31        5  0.533 rmse  standard  1.39   10
## 6     2     2 1570    31        5  0.533 rsq   standard  0.981  10
## 7     3     3 1866    18        5  0.584 mae    standard  0.313  10
## 8     3     3 1866    18        5  0.584 rmse  standard  0.431  10
## 9     3     3 1866    18        5  0.584 rsq   standard  0.998  10
## 10    3    1350   36       13  0.254 mae    standard  1.04   10
## # ... with 20 more rows, and 2 more variables: std_err <dbl>, .config <chr>
```

Bu sonuçlar arasından en iyisini elde etmek için *select_best()* fonksiyonu kullanılmaktadır. *metric* argümanı ile kullanmak istediğimiz metrik belirlenir. Bu uygulama da *rmse* olarak tercih edilmiştir.

```
param_final <- boost_results %>%
  select_best(metric = "rmse")
param_final
## # A tibble: 1 x 6
##   mtry trees min_n tree_depth sample_size .config
##   <int> <int> <int>   <int>     <dbl> <chr>
## 1     1     1  904     4       12  0.993 Preprocessor1_Model01
```

Çıktıya göre 1. modele ait hiperparametre değerleri listelenmektedir. Uç Gradyan Artırma Algoritması için bu değerler kullanılarak tekrar *workflow()* oluşturulur. Bu işlem için *finalize_workflow()* fonksiyonu kullanılmıştır.

```
boost_wf <- boost_wf %>%
  finalize_workflow(param_final)
boost_wf
## == Workflow =====
## Preprocessor: Recipe
## Model: boost_tree()
##
## -- Preprocessor -----
```

```
## 1 Recipe Step
##
## * step_sqrt()
##
## -- Model -----
## Boosted Tree Model Specification (regression)
##
## Main Arguments:
## mtry = 1
## trees = 904
## min_n = 4
## tree_depth = 12
## sample_size = 0.993323943288997
##
## Computational engine: xgboost
```

Çıktıya bakıldığında önışleme aşaması için karekök dönüşümü uygulandığı ve Uç Gradyan Artırma Algoritması için hiperparametre değerlerinin listelendiği görülmektedir.

Bu değerler kullanılarak test verisi modellenmiştir. Bunun için *tune* paketinin içerisinde yer alan *last_fit* fonksiyonu kullanılmıştır.

```
boost_fit <- boost_wf %>%
  last_fit(enb_split)
```

Test verisi tahminlendikten sonra sonuçları görmek için *collect_predictions()* fonksiyonu kullanılmıştır.

```
test_performance <- boost_fit %>% collect_predictions()
test_performance
## # A tibble: 192 x 5
##   id      .pred .row  Y1 .config
##   <chr>   <dbl> <int> <dbl> <chr>
## 1 train/test split 21.0    5 20.8 Preprocessor1_Model1
## 2 train/test split 18.0   13 17.0 Preprocessor1_Model1
## 3 train/test split 18.1   14 17.4 Preprocessor1_Model1
## 4 train/test split 27.3   20 28.8 Preprocessor1_Model1
## 5 train/test split 24.6   23 24.8 Preprocessor1_Model1
## 6 train/test split  6.07  26  6.05 Preprocessor1_Model1
## 7 train/test split  6.71  34  6.79 Preprocessor1_Model1
## 8 train/test split  7.34  39  7.1  Preprocessor1_Model1
## 9 train/test split  7.53  40  7.1  Preprocessor1_Model1
## 10 train/test split 10.7   41 10.8 Preprocessor1_Model1
## # ... with 182 more rows
```

Çıktıya göre *.pred* sütunu ısıtma yüklerine ait tahminlenen değerleri ve *Y1* sütunu ise ısıtma yükleri için gerçek değerleri göstermektedir. *.row* sütunu ise bu değerlerin veri setindeki sırasını ifade etmektedir. *yardstick* paketinin *metric_set()* fonksiyonu ile metrikler belirlenmiştir. Burada kullanılan metrikler; kök ortalama kare hatası (RMSE), R - Kare (R2) ve ortalama mutlak hata (MAE) metrikleridir.

```
enb_metrics <- metric_set(rmse, rsq, mae)
```

enb_metrics isminde tanımladığımız nesne kullanılarak metriklerin değerleri listelenmektedir. *truth* argümanı ile gerçek değerler, *estimate* argümanı ile tahminlenen değerler belirtilmiştir.

```
enb_metrics(data = test_performance, truth = Y1, estimate = .pred)
```

```
## # A tibble: 3 x 3
##   .metric .estimator .estimate
##   <chr>   <chr>         <dbl>
## 1 rmse    standard      0.314
## 2 rsq     standard      0.999
## 3 mae     standard      0.202
```

Bu çıktıda *.estimate* sütunu kullanılan metriklere ait sonuçları listelemektedir. Eğitim seti Uç Gradyan Artırma Algoritması kullanılarak modellendiğinde, test seti için RMSE 0.314, R2 0.999 ve MAE 0.202 olarak elde edilmiştir. Analizlerin tümü soğutma yükü için de uygulanmış ve sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca, diğer yöntemler için de ısıtma ve soğutma yükleri tahminlenmiştir. Son bölümde bu tahminlere ait RMSE, R2 ve MAE değerleri tablolar halinde gösterilmiş ve sonuçlar yorumlanmıştır.

IV. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Tablo 2’de ısıtma yüküne ait elde edilen sonuçlar gösterilmektedir. En küçük RMSE ve MAE ve en büyük R2 değerlerine sahip Uç Gradyan Artırma Algoritması diğer yöntemlerden daha başarılıdır. K – En Yakın Komşuluk, Karar Ağaçları, Rastgele Orman ve Yapay Sinir Ağları yöntemleri de iyi sonuç vermekle beraber en kötü sonuçlar Doğrusal Regresyon ve Destek Vektör Makineleri Algoritmaları ile elde edilmiştir. Tablo 3’te soğutma yüküne ait elde edilen sonuçlar gösterilmektedir. Soğutma yükü için yöntemlerin tahminlemedeki başarılarının azaldığı görülmektedir. Ancak yine Uç Gradyan Artırma Algoritması diğer yöntemlerden daha güvenilir sonuçlar vermiştir. Uç Gradyan Artırma Algoritmasına en yakın başarı oranları K – En Yakın Komşuluk, Karar Ağaçları, Rastgele Orman ve Yapay Sinir Ağları yöntemleri ile elde edilmiştir. En kötü sonuçlar Doğrusal Regresyon ve Destek Vektör Makinesi Algoritmaları ile alınmıştır.

Tablo 2. Isıtma yükü tahmini için elde edilen sonuçlar

Yöntemler	RMSE	R2	MAE
Doğrusal Regresyon (DR)	2.640	0.924	1.980
K – En Yakın Komşuluk (KEYK)	0.728	0.994	0.569
Destek Vektör Makineleri (DVM)	2.490	0.934	1.740
Karar Ağaçları (KA)	0.548	0.997	0.379
Rastgele Orman (RO)	0.466	0.998	0.331
Uç Gradyan Artırma (UGA)	0.314	0.999	0.202
Yapay Sinir Ağları (YSA)	0.567	0.996	0.442

Tablo 3. Soğutma yükü tahmini için elde edilen sonuçlar

Yöntemler	RMSE	R2	MAE
Doğrusal Regresyon (DR)	3.100	0.884	2.230
K – En Yakın Komşuluk (KEYK)	1.480	0.973	0.972
Destek Vektör Makineleri (DVM)	3.040	0.888	2.110
Karar Ağaçları (KA)	1.490	0.973	0.968
Rastgele Orman (RO)	1.570	0.970	1.030
Uç Gradyan Artırma (UGA)	0.557	0.996	0.410
Yapay Sinir Ağları (YSA)	1.420	0.976	0.924

Test veri setinin ilk 10 gözlemi için ısıtma ve soğutma yüklerinin gerçek değerleri ve yöntemlere ait tahminlenen değerler Tablo 4 ve Tablo 5’te gösterilmektedir. Beklendiği gibi ısıtma ve soğutma yükleri için en iyi tahminler Uç Gradyan Artırma ile elde edilmiştir. Uç Gradyan Artırmaya en yakın sonuçları veren yöntemler ise Karar Ağaçları, K-En Yakın Komşuluk, Rastgele Orman ve Yapay Sinir Ağları’dır.

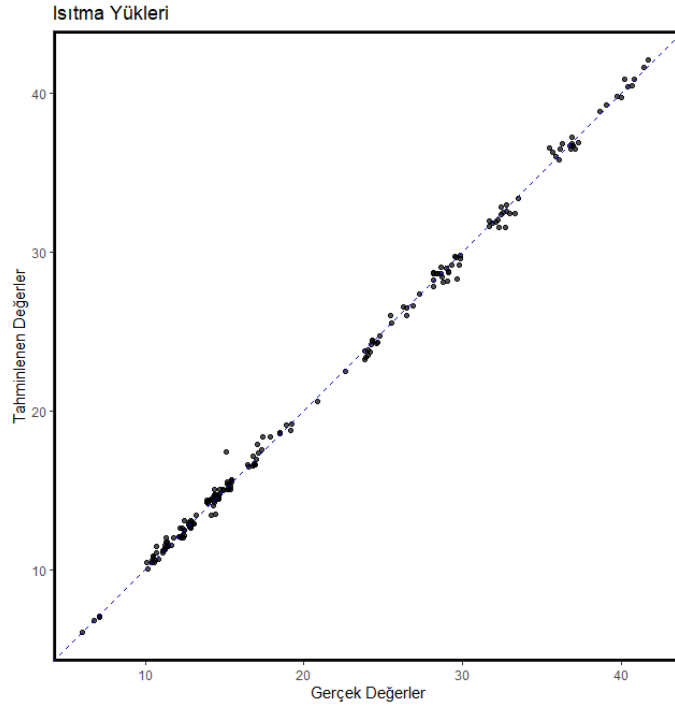
Tablo 4. Isıtma yükü için test veri setinin ilk 10 gözleminin gerçek değerleri ve tahminlenen değerler

Gerçek Değerler	DR	KEYK	DVM	KA	RO	UGA	YSA
20.8	22.5	21.4	19.9	18.0	20.1	21.0	20.9
17.0	23.5	19.3	19.2	18.0	17.6	18.0	16.9
17.4	23.5	19.4	18.9	18.0	17.6	18.1	16.7
28.8	24.7	27.9	19.6	26.8	27.8	27.3	29.5
24.8	28.4	25.0	23.6	26.8	25.8	24.6	23.9
6.05	2.71	6.17	7.69	6.53	6.14	6.07	5.95
6.79	4.98	6.79	7.98	6.53	6.88	6.71	7.07
7.10	6.37	7.94	8.67	6.53	7.32	7.34	7.77
7.10	6.36	7.93	9.20	6.53	7.32	7.53	7.82
10.8	7.34	9.84	9.94	9.42	10.1	10.7	11.0

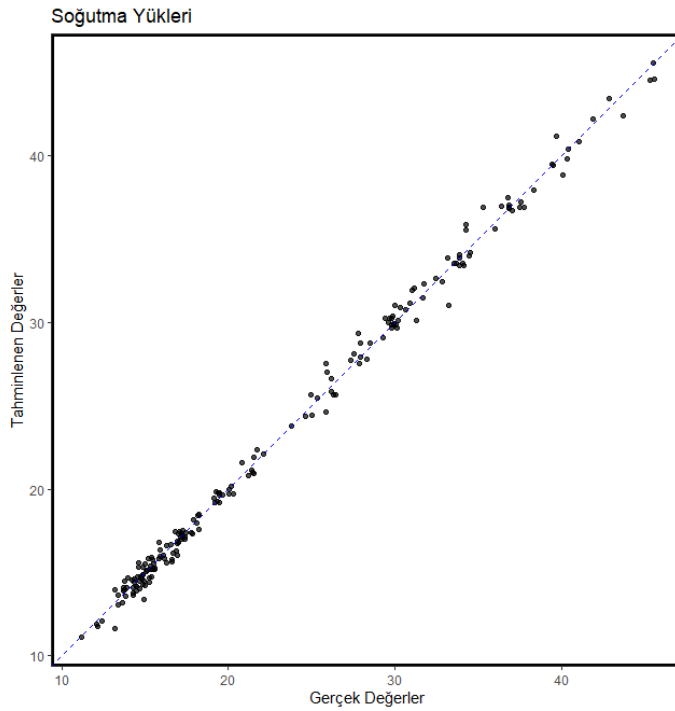
Tablo 5. Soğutma yükü için test veri setinin ilk 10 gözleminin gerçek değerleri ve tahminlenen değerler

Gerçek Değerler	DR	KEYK	DVM	KA	RO	UGA	YSA
28.3	26.8	27.2	24.9	24.0	26.6	28.2	28.0
23.8	28.0	26.3	24.4	24.0	24.8	24.4	23.8
21.5	28.1	24.2	24.5	24.0	24.4	21.7	20.4
39.4	29.3	32.8	25.3	37.8	35.9	37.5	34.4
29.8	31.7	30.0	28.2	33.3	31.3	30.8	28.6
11.2	8.48	11.2	12.4	11.6	11.4	11.0	12.0
12.0	10.3	11.8	13.1	11.6	11.9	12.0	12.1
12.4	11.5	13.1	13.7	11.6	12.6	12.1	12.1
12.1	11.6	13.1	14.2	11.6	12.6	12.4	12.1
16.8	12.0	15.4	14.5	18.8	17.0	16.9	18.0

Uç Gradyan Artırma Algoritması ile elde edilen sonuçlara göre test veri seti için ısıtma ve soğutma yüklerinin gerçek değerleri ve tahminlenen değerler arasındaki ilişki sırasıyla Şekil 2 ve Şekil 3'te gösterilmektedir. Bu şekillerde x eksenini gerçek değerleri ve y eksenini ise tahminlenen değerleri göstermektedir.



Şekil 2. Isıtma yükleri için gerçek değerler ve tahminlenen değerler arasındaki ilişki



Şekil 3. Soğutma yükleri için gerçek değerler ve tahminlenen değerler arasındaki ilişki

Bu çalışmada model değerlendirme amacıyla eğitim verilerine 10 katlı çapraz doğrulama uygulanmış ve test verileri tahmin edilerek yöntemler arasında performans karşılaştırması yapılmıştır. Buna ek olarak, tüm veri seti üzerinde 10 katlı çapraz doğrulama uygulanarak ikinci bir model değerlendirme çalışması daha gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu ek değerlendirmeye ait sonuçlar Tablo 6 ve Tablo 7’de gösterilmektedir. Bu sonuçlara göre de ısıtma ve soğutma yükleri için en iyi tahminler Uç Gradyan Artırma ile elde edilmiştir.

Tablo 6. İkinci model değerlendirme çalışmasında ısıtma yükü tahmini için elde edilen sonuçlar

Yöntemler	RMSE	R2	MAE
Doğrusal Regresyon (DR)	2.8279580	0.9199922	2.0844323
K – En Yakın Komşuluk (KEYK)	0.7579723	0.9943716	0.5443130
Destek Vektör Makineleri (DVM)	1.2402958	0.9847578	1.0156323
Karar Ağaçları (KA)	0.5824454	0.9964269	0.4027332
Rastgele Orman (RO)	0.5296280	0.9970863	0.3650237
Uç Gradyan Artırma (UGA)	0.3579582	0.9987080	0.2517534
Yapay Sinir Ağları (YSA)	0.5710616	0.9967602	0.4239747

Tablo 7. İkinci model değerlendirme çalışmasında soğutma yükü tahmini için elde edilen sonuçlar

Yöntemler	RMSE	R2	MAE
Doğrusal Regresyon (DR)	3.1958456	0.8863866	2.2969929
K – En Yakın Komşuluk (KEYK)	1.5746363	0.9725457	1.0309807
Destek Vektör Makineleri (DVM)	1.7081706	0.9685843	1.2424118
Karar Ağaçları (KA)	1.8523717	0.9617301	1.2550302
Rastgele Orman (RO)	1.7138051	0.9674601	1.1501710
Uç Gradyan Artırma (UGA)	0.6111269	0.9959043	0.4313350
Yapay Sinir Ağları (YSA)	1.3889763	0.9785829	0.9643851

Yapılan bu çalışma ile enerji verimli binaların ısıtma ve soğutma yükleri R İstatistiksel Programlama Dili'nin güncel çalışma alanlarından biri olan düzenli modeller ile tahminlenmiştir. R'de makine öğrenmesi için farklı paketler kullanılmaktadır. Bu paketlerdeki sözdizimleri de farklılık gösterdiği için kodları yazmak zahmetli ve zaman alan bir süreç olmaktadır. Düzenli modeller ile birlikte tüm makine öğrenmesi algoritmaları tek bir pakette birleştirilmiş ve büyük bir kullanım kolaylığı sağlanmıştır. R'de bu uygulamalar tidymodels paketi yüklenerek gerçekleştirilir. Bu çalışmada düzenli modeller tanıtılmış, popüler makine öğrenmesi algoritmaları ve yapay sinir ağları kullanılarak binaların ısıtma ve soğutma yükleri düzenli modeller ile tahminlenmiştir. RMSE, R2 ve MAE kriterleri kullanılarak alınan sonuçlara göre en başarılı algoritma Uç Gradyan Artırma olmuştur. Bu algoritmaya en yakın sonuçları veren yöntemler ise Karar Ağaçları, K-En Yakın Komşuluk, Rastgele Orman ve Yapay Sinir Ağları olarak görülmektedir. Doğrusal Regresyon ve Destek Vektör Makinesi Algoritmaları'nın ise ısıtma ve soğutma yüklerinin tahminlenmesinde başarısız olduğu gözlemlenmiştir. Uygulama bölümünün başında verilen açıklayıcı değişken değerleri bilindiğinde Uç Gradyan Artırma Algoritması ile herhangi bir binayı ısıtmak ya da soğutmak için gerekli yükler yüksek hassasiyet ile tahmin edilebilir. Kullanılan değişken listesine yenilerinin eklenmesi veya veri setinin değişmesi durumunda açıklanan adımlar tekrar edilip yeni duruma ilişkin tahminler kısa sürede elde edilebilir. Binalarda ısıtma ve soğutma yüklerinin tahmini için Uç Gradyan Artırma Algoritması'nın kullanılması önerilmektedir. Uygulamaya ait R kodları github üzerinden paylaşılmıştır (<https://github.com/burakdilber/Tidymodels-Article>).

V. KAYNAKLAR

- [1] Ö. Aydın, "Binalarda enerji verimliliği kapsamında yapılan projelerin değerlendirilmesi: Türkiye örneği," *Mimarlık ve Yaşam Dergisi*, c. 4, s. 1, ss. 55–68, 2019.
- [2] A. Tsanas, and A. Xifara, "Accurate quantitative estimation of energy performance of residential buildings using statistical machine learning tools," *Energy and Buildings*, vol. 49, pp. 560–567, 2012.
- [3] A. Yezioro, B. Dong, and F. Leite, "An applied artificial intelligence approach towards assessing building performance simulation tools," *Energy and Buildings*, vol. 40, pp. 612–620, 2008.

- [4] J. S. Chou, and D. K. Bui, “Modeling heating and cooling loads by artificial intelligence for energy-efficient building design,” *Energy and Buildings*, vol. 82, pp. 437–446, 2014.
- [5] M. Peker, O. Özkaraca ve B. Kesimal, “Enerji tasarruflu bina tasarımı için ısıtma ve soğutma yüklerini regresyon tabanlı makine öğrenmesi algoritmaları ile modelleme,” *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, c. 10, s. 4, ss. 443–449, 2017.
- [6] A. Gümüşçü, M. E. Tenekeci, N. Beşli, M. A. İlkan, E. Aslan ve S. Abamor, “Yapılarda ısıtma ve soğutma yükü sınıfların makine öğrenme yöntemleri ile belirlenmesi,” *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, c. 3, s. 2, ss. 60–66, 2018.
- [7] S. Seyedzadeh, F. P. Rahimian, P. Rastogi, and I. Glesk, “Tuning machine learning models for prediction of building energy loads,” *Sustainable Cities and Society*, vol. 47, pp. 1–18, 2019.
- [8] S. S. Roy, P. Samui, I. Nagtode, H. Jain, and V. Shivaramakrishnan, “Forecasting heating and cooling loads of buildings: A comparative performance analysis,” *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, vol. 11, pp. 1253–1264, 2020.
- [9] A. Moradzadeh, A. M. Saatloo, B. M. Ivatloo, and A. A. Moghaddam, “Performance evaluation of two machine learning techniques in heating and cooling loads forecasting of residential buildings,” *Applied Sciences*, vol. 10, no. 11, pp. 1–12, 2020.
- [10] A. F. Özdemir, E. Yıldıztepe ve M. Binar, “İstatistiksel yazılım geliştirme ortamı: R,” *Akademik Bilişim’10-XII. Akademik Bilişim Konferansı Bildirileri*, Muğla, Türkiye, 2010, ss. 293–297.
- [11] S. M. Bache, and H. Wickham. (2022, March 30). *magrittr: A forward-pipe operator for R* [Online]. Available: <https://cran.r-project.org/web/packages/magrittr/index.html>
- [12] H. Wickham, M. Averick, J. Bryan, W. Chang, L. D. McGowan, R. François, G. Grolemund, A. Hayes, L. Henry, J. Hester, M. Kuhn, T. L. Pedersen, E. Miller, S. M. Bache, K. Müller, J. Ooms, D. Robinson, D. P. Seidel, V. Spinu, K. Takahashi, D. Vaughan, C. Wilke, K. Woo, and H. Yutani, “Welcome to the tidyverse,” *The Journal of Open Source Software*, vol. 4, no. 43, pp. 1–6, 2019.
- [13] M. Kuhn, and H. Wickham. (2022, March 19). *tidymodels: Easily install and load the ‘tidymodels’ packages* [Online]. Available: <https://cran.r-project.org/web/packages/tidymodels/index.html>
- [14] M. Kuhn, and H. Wickham. (2022, February 18). *recipes: Preprocessing tools to create design matrices* [Online]. Available: <https://cran.r-project.org/web/packages/recipes/index.html>
- [15] J. Silge, F. Chow, M. Kuhn, and H. Wickham. (2021, November 8). *rsample: General resampling infrastructure* [Online]. Available: <https://cran.r-project.org/web/packages/rsample/index.html>
- [16] D. Robinson, A. Hayes, and S. Couch. (2022, January 28). *broom: Convert statistical objects into tidy tibbles* [Online]. Available: <https://cran.r-project.org/web/packages/broom/index.html>
- [17] M. Kuhn, and D. Vaughan. (2022, March 17). *parsnip: A common API to modeling and analysis functions* [Online]. Available: <https://cran.r-project.org/web/packages/parsnip/index.html>
- [18] D. Vaughan. (2022, March 18). *workflows: Modeling workflows* [Online]. Available: <https://cran.r-project.org/web/packages/workflows/index.html>
- [19] M. Kuhn. (2022, March 19). *tune: Tidy tuning tools* [Online]. Available: <https://cran.r-project.org/web/packages/tune/index.html>



- [20] M. Kuhn. (2022, April 6). *dials: Tools for creating tuning parameter values* [Online]. Available: <https://cran.r-project.org/web/packages/dials/index.html>
- [21] M. Kuhn, and D. Vaughan. (2021, November 22). *yardstick: Tidy characterizations of model performance* [Online]. Available: <https://cran.r-project.org/web/packages/yardstick/index.html>
- [22] A. Tsanas, and A. Xifara. (2012, November 30). *Energy efficiency data set* [Online]. Available: <https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/Energy+efficiency>



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Apache Spark ile Makine Öğrenmesi Destekli Diyabet Rahatsızlığı Tahmini

 Emre YILDIRIM ^{a,*},  Ali ÇALHAN ^b

^a *Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Osmaniye Meslek Yüksekokulu, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Osmaniye, TÜRKİYE*

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

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: emreyildirim@osmaniye.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.999048

ÖZ

Diyabet rahatsızlığı, insan vücudunun organlarını etkileyen kritik sağlık sorunlarından biridir. Bu nedenle, diyabet, 21. yüzyılda küresel bir sağlık sorunu olarak kabul edilmektedir. Bu rahatsızlığın sonucu olarak ortaya çıkan sorunlardan kaçınmak ve onları ağırlaşmadan önce tedavi etmek için diyabet rahatsızlığını tahmin edip işleyebilen bir sisteme ihtiyaç duyulmaktadır. Son yıllarda, sağlık alanında birçok rahatsızlığın erken teşhisi için çeşitli teknolojik araçlar ve uygulamalar kullanılmaktadır. Bu uygulamalardan birisi de veri madenciliği ve makine öğrenmesi teknikleri yardımıyla hastalığın erken teşhisi için analizlerin gerçekleştirilmesidir. Bu çalışmada, son zamanlarda büyük veri işlemede oldukça popüler olan Apache Spark teknolojisi ile diyabet rahatsızlığı analizleri gerçekleştirilmektedir. Aynı zamanda analizlerde tahmin için kullanılan Apache Spark MLlib kütüphanesindeki beş farklı makine öğrenmesi sınıflandırma algoritmalarının performansları karşılaştırılmış ve Rasgele Orman (RO) algoritmasının en iyi performansa sahip olduğu görülmektedir. Gerçekleştirilen analizler sonucunda kullanılan Apache Spark teknolojisinin bu tarz rahatsızlıkların belirlenmesinde kullanılabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: *Apache Spark, Diyabet Rahatsızlığı, Makine Öğrenmesi.*

Machine Learning Supported Diabetes Prediction with Apache Spark

ABSTRACT

Diabetes is one of the critical health problems that affect the organs of the human body. Therefore, diabetes is recognized as a global health problem in the 21st century. To avoid the problems that arise as a result of the diabetes and to treat it before it worsen, there is a need for a system that can predict and process diabetes. In recent years, various technological tools and applications have been used for the early diagnosis of many diseases in the field of health. One of these applications is to perform analyzes for early diagnosis of the disease with the help of data mining and machine learning techniques. In this study, diabetes analyzes are carried out with Apache Spark technology, which has been very popular in big data processing recently. So, the performances of five different machine learning classification algorithms in the Apache Spark MLlib library used for prediction in the analysis are compared and it is seen that the Random Forest (RO) algorithm has the best performance. The results of the analyzes show that the Apache Spark technology used can be used to detect such health problems.

Keywords: *Apache Spark, Diabetes, Machine Learning*

I. GİRİŞ

Günümüzde sağlık hizmeti sorunlarına çözüm sağlamada büyük veri ve bulut teknolojileri önemli bir role sahiptir. Sağlık hizmetleri ile ilgili veriler gün geçtikçe büyük oranda artmaktadır. Bu veriler, hastalıklar karşısında ölüm oranını düşürmek ve hastalıklara erken teşhis konabilmesi için makine öğrenmesi gibi çeşitli yöntemlerle analiz edilmektedir. En yaygın görülen kronik sağlık sorunlarından biri diyabet rahatsızlığıdır. Uzun vadede bu sorun, uygun olmayan ilaçların kullanılması durumunda şeker hastasının gözlerine, kalbine, böbreklerine ve sinirlerine zarar verebilmekte ve dahası ölümüne neden olabilmektedir. Dünya Sağlık Örgütü'ne göre, dünyada diyabet rahatsızlığına sahip 422 milyon kişi bulmakta ve bu hastalık nedeniyle her yıl 1.6 milyon kişi hayatını kaybetmektedir [1]. Diyabet rahatsızlığının teşhisinin konması karmaşıktır. Teşhisin, kesin ve yetkin bir şekilde yapılması kritik bir görevdir. Bu görev çoğunlukla uzman doktorun kararı üzerine yapılmaktadır. Bu durum, aşırı zaman ve maliyete neden olabilmektedir. Bunun yerine, güncel teknolojiler yardımıyla hastalıkla ilgili toplanan veriler karar destek sistemlerinden yararlanarak otomatik bir tıbbi sistem ile analiz edilebilmektedir. Bu yöntem, daha verimli bir şekilde diyabet rahatsızlığının teşhisinin konulmasına yardımcı olabilmektedir. Buna göre, diyabet rahatsızlığı ile ilgili verileri analiz edebilmek için farklı makine öğrenme yöntemleri ve veri madenciliği araçları kullanılmaktadır. Örneğin, Apache Flink [2], Apache Hadoop [3] ve Apache Spark [4] gibi büyük verileri rahat bir şekilde işleyebilen farklı büyük veri analizi teknolojileri bulunmasına rağmen literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, bu platformların çok fazla kullanılmadığı görülmektedir [5, 6, 7, 8].

Han vd. [5] çalışmalarında, diyabet rahatsızlığının tahmini için naive bayes (NB), karar ağacı (KA) ve destek vektör makinesi (DVM) olmak üzere üç farklı sınıflandırma algoritmasını kullanmışlardır. Deneysel sonuçlar, NB algoritmasının %76,30'luk maksimum doğruluk ile en iyi performansı verdiğini göstermiştir.

Kumar ve Pranavi [6] diyabet rahatsızlığının tahmininde en iyi sınıflandırma algoritmasını belirlemek için doğruluk, kappa, kesinlik, duyarlılık ve özgünlük gibi çeşitli ölçütleri değerlendirmişlerdir. Çalışmada kullanılan sınıflandırma algoritmaları ise RO, DVM, k-En Yakın Komşu (k-NN), Sınıflandırma ve Regresyon Ağaçları (CART) ve Gizli Dirichlet Ayırımı (LDA) algoritmalarıdır. Elde edilen sonuçlara göre, RO algoritmasının verileri daha doğru ve hassas tahmin ettiğini göstermektedir.

Zou vd., [7] çalışmalarında, diyabet rahatsızlığını tahmin etmek için RO, KA ve yapay sinir ağı (YSA) sınıflandırıcılarını kullanmaktadırlar. Analizler sonucunda, RO %80'lik doğruluk oranı ile en iyi tahmini yapmaktadır.

Barakat vd. [8] diyabet rahatsızlığının teşhisi için DVM sınıflandırma algoritmasının kullanılmasını önermektedir. Analiz için kullanılan diyabet rahatsızlığı veri setinin sonuçları, DVM'nin, %94'lük doğruluğu, %93'lük kesinlik ve %94'lük özgünlük ile diyabet tahmini için uygun bir araç olarak kullanılabileceğini belirtmektedir.

Mir ve Dhage [9] NB, DVM, RO ve CART sınıflandırma algoritmalarını kullanarak diyabet hastalığını tahmin için WEKA aracını kullanmışlardır. Çalışmada, DVM algoritması %79,13 maksimum doğrulukla diyabet rahatsızlığını tahmin ettiği gözlemlenmiştir.

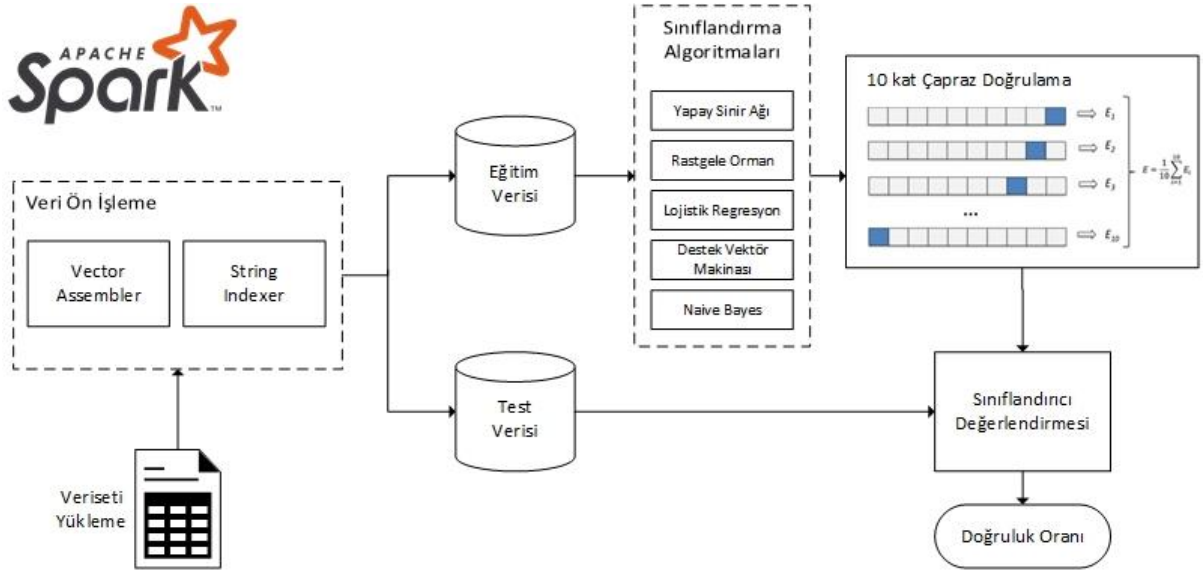
Hassan ve Shaheen [10], sosyal medya üzerinden gelen anlık veriler ile diyabet rahatsızlığını tahmin eden bir sistem önermektedirler. Sistemin amacı, diyabet tahmini için en iyi makine öğrenmesi modelini bulmaya çalışmaktır. Diyabet rahatsızlığının tahmini için RO, DVM, KA ve LR sınıflandırma algoritmalarını kullanmaktadırlar. Deneysel sonuçlar, RO algoritmasının %84,11 doğruluk oranı ile en iyi tahmin sonucuna sahip olduğunu göstermektedir.

Bu araştırma çalışmasında, Apache Spark'a dayalı dağıtık makine öğrenimi yöntemleri kullanarak diyabet rahatsızlığının tahmini için Java tabanlı bir sistem geliştirilmiştir. Sistemde, tahminlerin yapılabilmesi için farklı makine öğrenimi modelleri oluşturulmuştur. Bu modeller içerisinde YSA,

DVM, LR, RO ve NB olmak üzere beş makine öğrenimi sınıflandırma algoritması kullanılmıştır. Ayrıca, sınıflandırma algoritmaları doğruluk, duyarlılık, özgünlük, kesinlik, negatif tahmin değeri, hata oranı ve f-ölçüsü olmak üzere yedi farklı değerlendirme ölçütü kullanılarak performansları karşılaştırılmıştır.

II. MATERYAL VE METOT

Bu bölümde, Apache Spark büyük veri teknolojisi ile oluşturulan analiz sisteminin yapısı Şekil 1’de gösterilmekte ve süreci alt bölümler halinde açıklanmaktadır.



Şekil 1. Apache Spark tabanlı oluşturulan sistemin aşamaları

A. VERİ SETİ

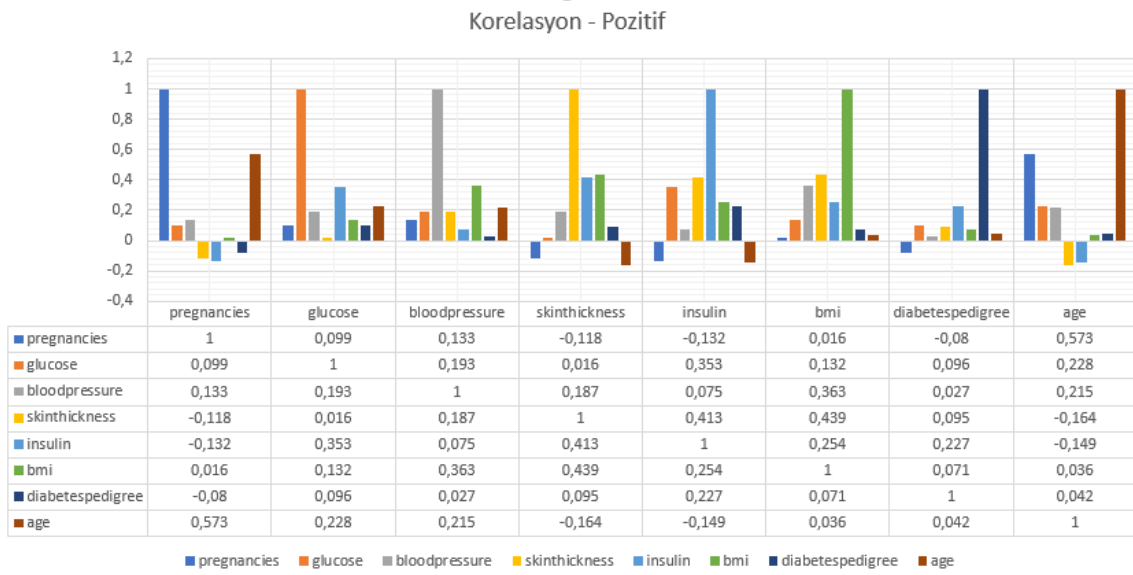
Bu çalışmada, UCI makine öğrenimi laboratuvarında oluşturulan Pima Indians diyabet hastalığı veri seti kullanılmıştır [11]. Bu veri setinde, diyabet rahatsızlığı olan 268 kişi ve olmayan 500 kişinin verileri bulunmakta ve toplamda 768 satırlık örnekten oluşmaktadır. Diyabet rahatsızlığını teşhis etmek için Tablo 1’deki gibi 8 farklı parametre dikkate alınmıştır.

Tablo 1. UCI Pima Indians Veri Seti

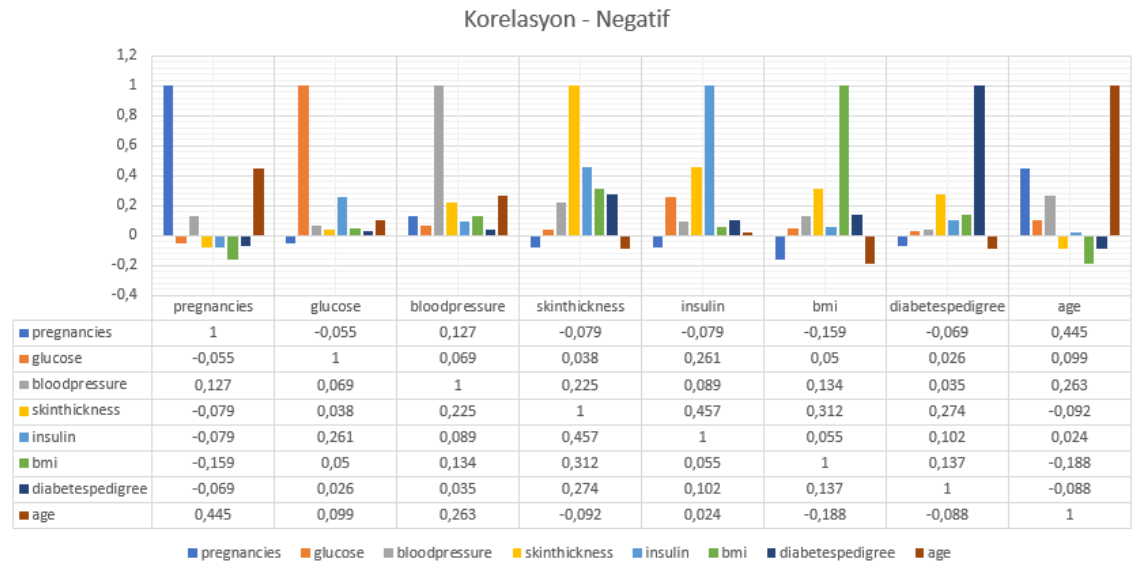
No	Parametre	Açıklama
1	Pregnancies	Kişinin hamilelik sayısı
2	Glucose	Glikoz yoğunluk miktarı
3	Blood Pressure	Kan basıncı
4	Skin Thickness	Deri kıvrım kalınlığı
5	Insulin	İnsülin
6	BMI	Vücut kitle indeksi
7	Diabetes Pedigree	Diyabet soyağacı işlevi
8	Age	Kişinin yaşı

Veri setinde, her bir veri için 8 farklı parametre vardır. Diyabet rahatsızlığı olmayan kişiler pozitif sınıf olarak, diyabet rahatsızlığı olan kişiler ise analiz amacıyla negatif numuneler olarak ele alınmıştır. Sekiz "negatif" ve "pozitif" örneği parametresi arasındaki korelasyon, Şekil 2 ve 3’te gösterildiği gibi bu iki

örnek sınıfının parametreleri arasında pozitif yönde bir korelasyon vardır. Parametreler arasında korelasyonun yüksek olması sınıflandırma algoritmalarının daha iyi performansa sahip olmasını sağlamaktadır.



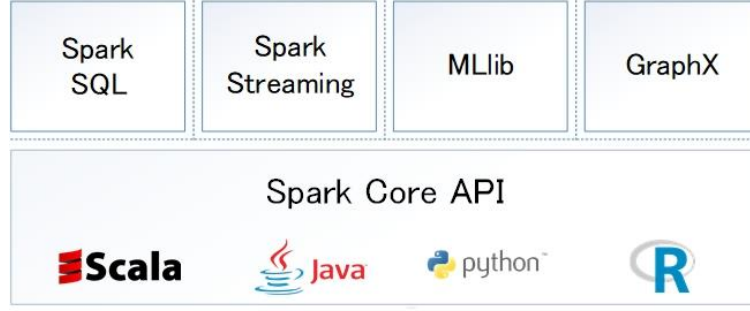
Şekil 2. Pozitif sınıflar için doğrusal korelasyon



Şekil 3. Negatif sınıflar için doğrusal korelasyon

B. APACHE SPARK

Apache Spark, güvenilir, hızlı, yüksek düzeyde hataya dayanıklı ve Hadoop ile tutarlı olacak şekilde oluşturulmuş popüler bir veri işleme çerçevesidir. Spark, çok büyük veri setlerini işleyebilen dağıtık mimari ve analiz için bir çerçeve sunar [12]. Spark'ın en önemli özelliği, bellek içi hesaplama yapabilesidir. Hesaplama için yavaş olan sabit diske erişmek yerine RAM bellek kullanır. Büyük verileri işlerken işlemleri seri olarak yürütmek yerine iş yükünü paralel olarak dağıtarak çalışır [13]. Ayrıca Spark, SQL için Spark SQL, makine öğrenimi için MLlib, grafik işleme için GraphX ve Spark Streaming dahil olmak üzere zengin üst düzey kütüphaneleri destekler. Spark'ın ekosistemi Şekil 4'te gösterilmektedir.



Şekil 4. Apache Spark ekosistemi

Apache Spark, Hadoop öğeleriyle uyumludur. Ayrıca, YARN'ı kullanarak bir Hadoop kümesinde çalışabilir. Apache Spark, Scala dilinde yazılmıştır. Ancak Scala, Java, SQL, Python ve R gibi dilleri de desteklemektedir. Bununla birlikte, MLlib, diğer ML kütüphanesi ile içerisinde bulunan farklı makine öğrenimi algoritmaları kullanılarak akıllı şehirler [14], afet yönetimi [15], finans [16] ve sağlık [17] gibi alanlara yönelik analizler yapılabilmektedir [18]. Bu çalışmada da Java programlama dili kullanılarak ML kütüphanesindeki makine öğrenimi sınıflandırma algoritmaları ile diyabet rahatsızlığının tahmini yapılmaktadır.

C. MAKİNE ÖĞRENMESİ SINIFLANDIRMA ALGORİTMALARI

Diyabet rahatsızlığını tahmin etmek için makine öğrenimi sınıflandırma modelleri oluşturulmuştur. Veri setini eğitmek ve test etmek için yapay sinir ağları, destek vektör makinaları, lojistik regresyon, rastgele orman ve naive bayes olmak üzere beş makine öğrenimi algoritması uygulanmıştır. Ayrıca, makine öğrenimi modellerini uygulamak için Apache Spark'a ait MLlib kütüphanesi kullanılmıştır. Çalışmamızda, eğitim verileri kullanılarak sınıflandırma modelleri eğitilmektedir. Modelin değerlendirilmesi için test verileri kullanılmaktadır.

C. 1. Yapay Sinir Ağları

YSA, bir soruna çözüm üretmek için çok sayıda basit, yüksek oranda birbirine bağlı işlem elemanlarından (nöronlar) oluşan matematiksel bir modeldir. Bir sinir ağının bir avantajı, yeterli sayıda gizli düğüm verildiğinde çeşitli yanıt yüzeylerini modelleyebilmesidir [19]. Bu çalışmada çok katmanlı algılayıcı ağ modeli kullanılmıştır. Ayrıca, bir girdi katmanı, iki gizli katman ve bir çıktı katmanı yer alır.

C. 2. Destek Vektör Makinesi

DVM, Boser, Guyon ve Vapnik tarafından 1992 yılında ortaya çıkan bir sınıflandırma yöntemidir [20]. DVM, büyük hacimli veriler üzerinde yüksek doğruluk elde etmesinden dolayı yaygın olarak kullanılmaktadır. DVM algoritması, veri kümesini eğitim örnekleriyle tutarlı bir şekilde önceden tanımlanmış farklı sayıdaki sınıfa ayıran bir hiper düzlem bulmayı amaçlamaktadır [21]. Çalışmamızda DVM, diyabet rahatsızlığının olması ve olmaması olarak iki sınıflı bir probleme odaklanmaktadır ve doğrusal destek vektör makinesi modeli kullanılmaktadır.

C. 3. Lojistik Regresyon

LR, makine öğrenimi uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Veri seti verildiğinde, bir olayın meydana gelip gelmeyeceğini tahmin etmeye çalışan en uygun sınıflandırma algoritmalarından biridir. Normalde, yalnızca iki sonuç olduğunda kullanılır: ya olay olur ya da olmaz. Bir dizi girdi verildiğinde, bir olayın meydana gelme olasılığını hesaplayacak bir model oluşturmaya çalışır [22]. Çalışmamızda, model bir değişken vektörünü kavrar ve her girdi değişkeni için katsayıları veya ağırlıkları değerlendirir ve ardından belirtilen kişinin diyabet rahatsızlığının olup olmadığını tahmin eder.

C. 4. Rastgele Orman

RO, denetimli makine öğrenmesi algoritması yöntemlerinden biridir. Denetimli bir öğrenme algoritması, etiketli eğitim verilerinden öğrenir, öngörülemeyen veriler için sonuçları tahmin etmenize yardımcı olur. Algoritmada kullanılan ağaç sayısı ile doğruluk arasında pozitif bir ilişki vardır. Ağaç sayısı arttıkça algoritmanın doğruluk artmaktadır. RO algoritması ile KA algoritması arasındaki fark, RO'da kök düğümü bulmanın ve düğümleri bölmenin rastgele olması ve karar ağacında süreç için olasılıklı bir hesaplamanın var olmasıdır [23]. Çalışmamızın model oluşturma parametrelerinde ağaç sayısı 20, maksimum ağaç derinliği 10, özellik ayırıştırma bölme sayısı 10 ve Gini indeksi kullanılmaktadır.

C. 5. Naive Bayes

NB algoritması, veri seti üzerinde yaptığı tahminlerde Bayes kuralını kullanan sezgisel bir yöntemdir [24]. NB, ölçeklendirilebilen bir sınıflandırma algoritmasıdır. Bir öğrenme sürecinde, doğrusal değişkenleri olan çok sayıda parametre gerektirir. Eğitim verilerinin tek bir yinelemesinde, algoritma verilerinde etiketin her bir özelliğinin koşullu olasılık dağılımını bulmak için Bayes teoremi uygular ve tahmin için kullanır.

D. PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ

Diyabet rahatsızlığı olan veya olmayan kişilerin sağlık değerlerine ait örneklerin sınıflandırılması için beş farklı denetimli makine öğrenimi sınıflandırma algoritması uygulanmıştır. Değerlendirme yapılırken 10-kat çapraz doğrulama, sınıflandırma algoritmalarının performansları için kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan sınıflandırma modelleri, doğruluk, duyarlılık, özgünlük, kesinlik, negatif tahmin değeri (NTD), hata oranı, f ölçüsü olmak üzere yedi farklı ölçüm ile değerlendirilmiştir.

Diyabet rahatsızlığı olmayan kişiler pozitif sınıf, diyabet rahatsızlığı olan kişiler ise negatif sınıf olarak kabul edilmiştir. Burada,

Gerçek pozitif (TP) - diyabet rahatsızlığının olmadığı tahmin edilen, gerçekte de diyabet rahatsızlığı olmayan kişilerin sayısı.

Yanlış pozitif (FP) - diyabet rahatsızlığı olmadığı tahmin edilen, ancak gerçekte diyabet rahatsızlığı olan kişilerin sayısı.

Gerçek negatif (TN) - diyabet rahatsızlığının var olduğu tahmin edilen, gerçekte de diyabet rahatsızlığı olan kişilerin sayısı.

Yanlış negatif (FN) - diyabet rahatsızlığının var olduğu tahmin edilen, ancak gerçekte diyabet rahatsızlığı olmayan kişilerin sayısı.

Sınıflandırma doğruluğu: Veri setindeki hastalığın doğru bir şekilde tahmin edilme olasılığıdır. Doğru şekilde tahmin edilen örneklerin toplam örnek sayısına oranıdır.

$$\text{Doğruluk} = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \quad (1)$$

Duyarlılık veya geri çağırma, tahmin edilen pozitif örneklerin toplam pozitif örneklere oranıdır.

$$\text{Duyarlılık} = \frac{TP}{TP + FN} \quad (2)$$

Özgünlük, tahmin edilen negatif örneklerin toplam negatif örneklere oranıdır.

$$\text{Özgünlük} = \frac{TN}{TN + FP} \quad (3)$$

Kesinlik, pozitif olarak sınıflandırılan tüm örneklerle, gerçek pozitifin oranıdır.

$$\text{Kesinlik} = \frac{TP}{TP + FP} \quad (4)$$

NTD, doğru tahmin edilen negatifin (diyabet rahatsızlığının varlığı) toplam tahmin edilen negatife oranı (diyabet rahatsızlığının varlığı olarak sınıflandırılan toplam örnek).

$$\text{NTD} = \frac{TN}{TN + FN} \quad (5)$$

Hata oranı, yanlış sınıflandırılmış örneklerin toplam örnek sayısına oranı, hata oranı olarak bilinir. Diyabet rahatsızlığının olması durumu, diyabet rahatsızlığı olmaması olarak sınıflandırılırsa (E1), tip I hata olarak tanımlanır. Diyabet rahatsızlığının olmaması, diyabet rahatsızlığının olması olarak sınıflandırılırsa (E2), tip II hata olarak sınırlandırılır.

$$\text{Hata oranı} = \frac{E1 + E2}{\text{Toplam örnek sayısı}} \quad (6)$$

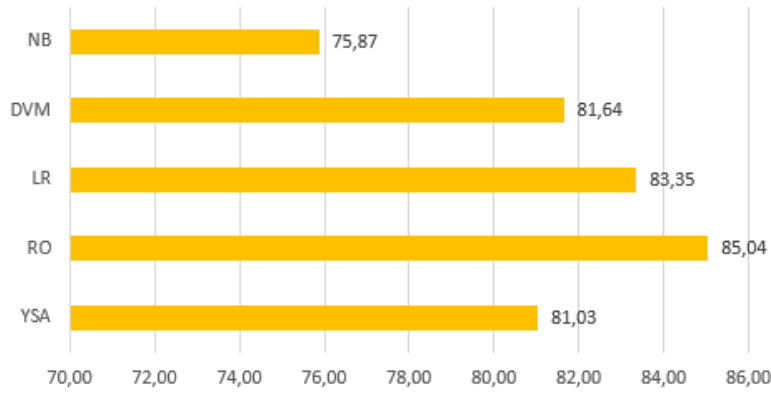
F ölçüsü, kesinlik ve duyarlılık arasındaki harmonik ortalamadır. En iyi performans için 1, en kötü performans için ise 0 değeri verilir.

$$F_1 = \frac{2 * \text{Kesinlik} * \text{Duyarlılık}}{\text{Kesinlik} + \text{Duyarlılık}} \quad (7)$$

III. BULGULAR

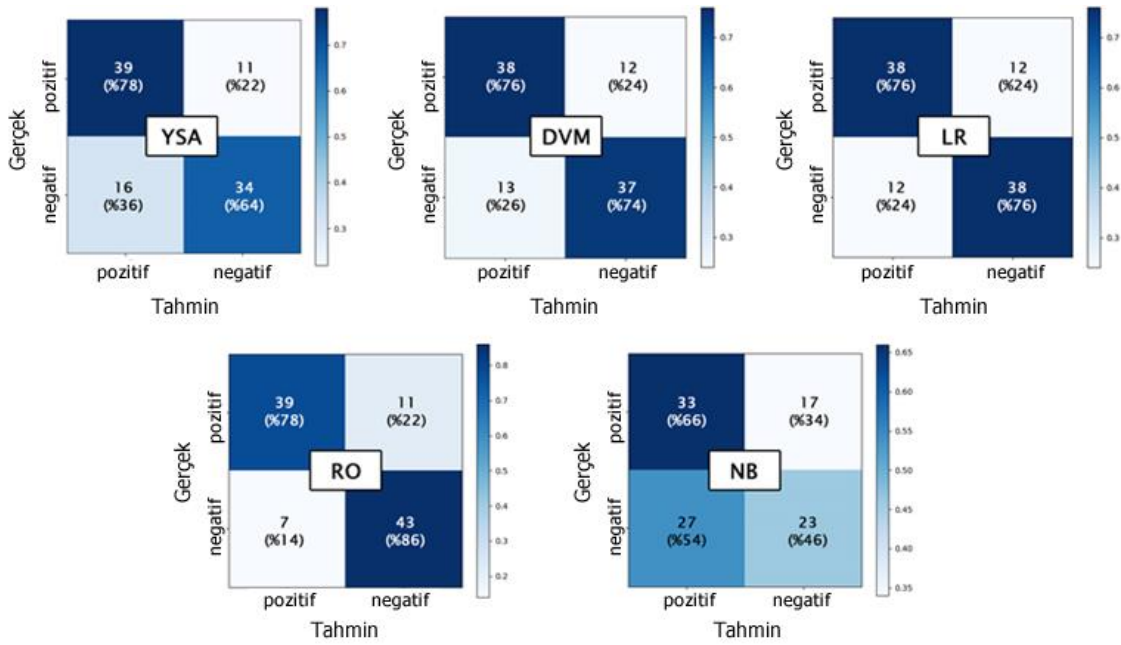
Çalışmada, Apache Spark büyük veri işleme teknolojisi kullanılarak diyabet rahatsızlığı tahmini yapılmaktadır. Rahatsızlık tahmini için Apache Spark içerisinde bulunan MLlib kütüphanesine ait beş farklı makine öğrenimi sınıflandırma algoritması kullanılmaktadır. Diyabet rahatsızlığı için gerçekleştirilen uygulama, Java programlama dili kullanılarak geliştirilmiştir. Bununla birlikte, sınıflandırma algoritmalarının performansları materyal ve yöntem bölümünde belirtilen yedi farklı ölçüte göre değerlendirilmiştir. Kullanılan veri setinde 268'si diyabet rahatsızlığı bulunan ve 500'ünde diyabet rahatsızlığı bulunmayan toplam 768 örnek bulunmaktadır. Ancak, modelin tahmininde sapmaların yaşanmaması için veri setindeki sınıflara ait örnekler ön işleme aşamasında eşitlenmiştir. Bu nedenle, çalışmamızda 268 pozitif ve 268 negatif sınıfa ait örnekler kullanılmıştır. Aynı zamanda, modelin oluşturulması için veri setindeki 436 örnek eğitim verisi olarak, 100 örnek ise test verisi olarak kullanılmıştır. Ek olarak, modelin doğrulanmasında 10-kat çapraz doğrulama kullanılmıştır. Veriler rastgele on eşit parçaya bölünür ve her adımda bir tanesi test verisi, geri kalan parçalar ise eğitim verisi olarak kullanılır.

Ortalama Model Doğruluğu



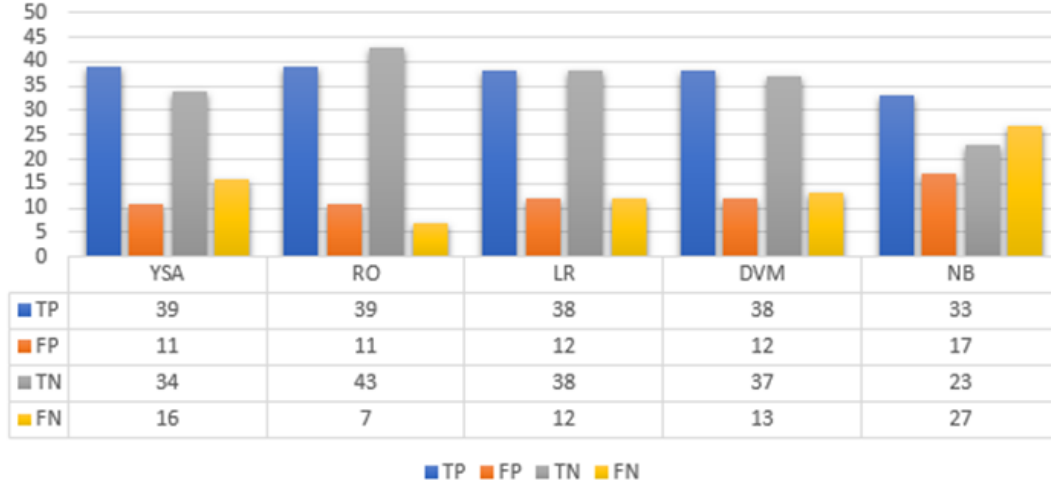
Şekil 5. Oluşturulan modellerin ortalama doğruluk oranları

Eğitim verileri ile oluşturulan modelde, 10-kat çapraz doğrulama yöntemi kullanılarak modelin doğruluğu incelenmiştir. Şekil 5 incelendiğinde, elde edilen sonuçlar modellerin ortalama doğruluk oranlarıdır. Bu bağlamda, en iyi doğruluk oranı RO algoritması ile oluşturulan modele aittir. Ayrıca, NB algoritması ile oluşturulan modelin en düşük doğruluk oranına sahip olduğu görülmektedir.



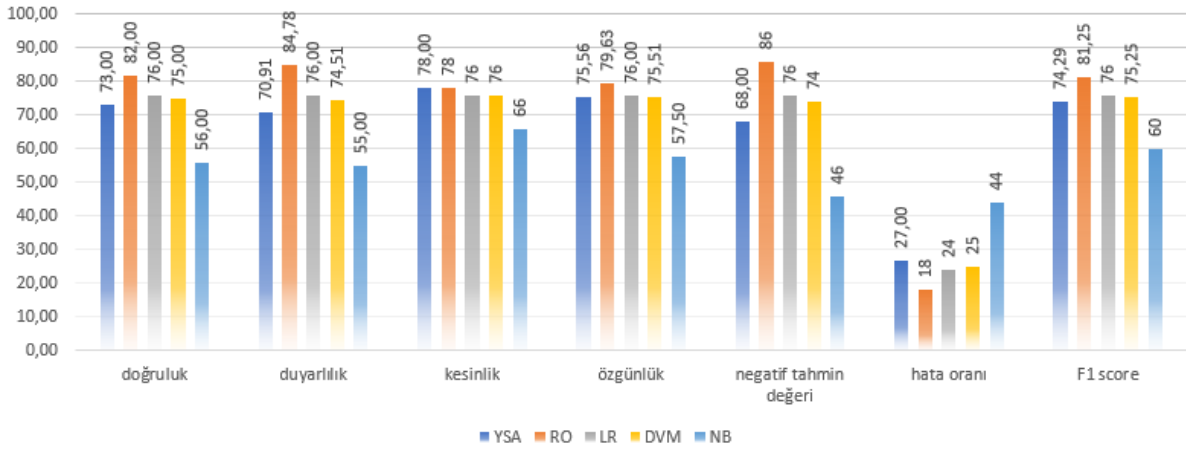
Şekil 6. Sınıflandırma algoritmalarının karmaşıklık matrisleri

YSA, DVM, LR, RO ve NB algoritmaları için tahmin sonuçlarının karmaşıklık matrisleri Şekil 6'da gösterilmektedir. Şekil 7'de ise bu makine öğrenimi sınıflandırma algoritmalarının tahminlerinin sonuçları gösterilmektedir. Sonuçlar incelendiğinde, YSA ve RO'nun en yüksek sayıda gerçek pozitif (diyabet rahatsızlığının olmadığı), RO'nun ise en yüksek sayıda gerçek negatif (diyabet rahatsızlığının olduğu) öngördüğü açık bir şekilde görülmektedir. Bununla birlikte NB'in ise en düşük gerçek pozitif ve negatif öngördüğü görülmektedir.



Şekil 7. Makine öğrenimi sınıflandırma algoritmalarının tahmin sonuçları

Şekil 8, RO'nun %82'lik maksimum sınıflandırma doğruluğu ile diğer tüm makine öğrenimi yöntemlerinden daha iyi performans gösterdiğini belirtirken, ikinci en yüksek sınıflandırma doğruluğunun %76 ile LR'un elde ettiğini belirtmektedir. Bununla birlikte, RO'nun %84,78, %78, %79,63 ve %81,25'lik en yüksek duyarlılığa, kesinlik, özgünlük değerine ve F1 skoruna sahip olduğu gösterilmektedir. Ek olarak, RO'nun %86'lık negatif tahmin değeri dikkat çekmektedir. Bu değer ile RO, diyabet rahatsızlığı olan kişilerin tahmininde diğer algoritmalara göre yüksek bir performans göstermiştir. Diyabet rahatsızlığının tahmininde kullanılan ve en düşük doğruluk (%60), duyarlılık (%70,5), kesinlik (%63), özgünlük (%46) ve F1 skoru (%66,5) değerleri ile NB sınıflandırıcısı en kötü performansa sahiptir.



Şekil 8. Makine öğrenimi sınıflandırma algoritmalarının çeşitli değerler bakımından performans değerleri

IV. SONUC

Diyabet rahatsızlığının tahmini, insanların hayatını kurtarabilmekte ve tedavisi üzerinde önemli bir etkiye sahip olabilmektedir. Bu çalışma, diyabet rahatsızlığının olup olmadığını tahmin etmek için Apache Spark büyük veri işleme teknolojisine ve ona ait makine öğrenimi yöntemlerine dayanan bir iş akışı sağlamaktadır. Bu bağlamda, diyabet rahatsızlığının tahmini için birçok parametreye dayanan beş farklı sınıflandırma algoritması kullanılmaktadır. Bu algoritmalara dayalı modeller, on kat çapraz

doğrulama kullanılarak doğrulanmış ve doğruluk, duyarlılık, kesinlik, özgünlük, negatif tahmin değeri, hata oranı ve f-ölçüsü performans ölçümleri açısından değerlendirilmiştir.

Sonuçlar incelendiğinde, RO sınıflandırma algoritmasının diğer algoritmalara göre daha iyi performans verdiği saptanmıştır. NB algoritması ise kullanılan diğer algoritmalara göre çok daha düşük performansa sahiptir. Bunun nedeni, veri setindeki parametreler arasında oluşan pozitif korelasyon olduğu söylenebilir. Ancak, NB de, tahmin aşamasında, parametreler bağımsız olarak değerlendirilmektedir. Diğer algoritmalarda ise parametreler arasında ne kadar yüksek korelasyon var ise o kadar iyi sonuçlar elde edilmektedir. Bu nedenle, çalışmalarda korelasyonu yüksek bir veri seti kullanıldığında tahmin sonuçları çok daha iyi olabilmektedir.

Bu çalışma, daha önce yapılan araştırmalar ile karşılaştırıldığında, Han vd. (2008) çalışmasındaki NB'in performansı (%76,30) ve Barakat vd. (2010) çalışmasında DVM'nin performansı (%94), çalışmamızda kullanılan NB (%56) ve DVM (%75) algoritmalarına göre daha iyi performans göstermektedirler. Ancak çalışmamızda en yüksek performansa sahip olan RO (%82), Zou vd (2018) çalışmasında belirtilen RO'nin performansından (%80) daha iyi olduğu görülmektedir.

Sonuç olarak, Apache Spark ve içerisinde kullanılan yetenekli kütüphaneleri ile diyabet gibi diğer rahatsızlıkların tahmininde kullanılabilme potansiyeline sahiptir. Gelecekte bu çalışma, daha da genişletilerek Apache Spark'ın gerçek zamanlı veri işleme özelliği ile insan vücuduna bağlı çeşitli sensörler kullanılarak alınan daha yüksek hacimli veriler analiz edilerek diyabet rahatsızlığının erken teşhisinin yapılması planlanmaktadır.

V. KAYNAKLAR

- [1] World Health Organization. (2021, June 15). *WHO Diabetes Program* [Online]. Erişim: <https://www.who.int/health-topics/diabetes>
- [2] Apache Flink. (2021, June 15). *Apache Flink* [Online]. Erişim: <https://flink.apache.org/>
- [3] Apache Hadoop. (2021, June 15). *Apache Hadoop* [Online]. Erişim: <https://hadoop.apache.org/>
- [4] Apache Spark. (2021, June 15). *Apache Spark* [Online]. Erişim: <https://spark.apache.org/>
- [5] J. Han, J.C. Rodriguez, J.C., and M. Beheshti, "Discovering decision tree based diabetes prediction model," in *Advances in Software Engineering*, 1st ed., Hainan Island, China: Springer, 2008, pp. 99-109.
- [6] P.S. Kumar, and S. Pranavi, "Performance analysis of machine learning algorithms on diabetes dataset using big data analytics," *International Conference on Infocom Technologies and Unmanned Systems*, Dubai, UAE, 2017, pp. 508-513.
- [7] Q. Zou, K. Qu, Y. Luo, D. Yin, Y. Ju, and H. Tang, "Predicting diabetes mellitus with machine learning techniques," *Frontiers in Genetics*, vol. 9, no. 515, pp. 1-10, 2018.
- [8] N.H. Barakat, A.P. Bradley, and M.N. Barakat, "Intelligible support vector machines for diagnosis of diabetes mellitus," *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, vol. 14, no. 4, pp. 1114-1120, 2010.
- [9] A. Mir, and S.N. Dhage, "Diabetes disease prediction using machine learning on big data of healthcare," *4th International Conference on Computing Communication Control and Automation*, Pune, India, 2018, pp. 1-6.




- [10] F. Hassan and M.E. Shaheen, "Predicting diabetes from health-based streaming data using social media, machine learning and stream processing technologies," *International Journal of Engineering Research and Technology*, vol. 13, no. 8, pp. 1957-1967, 2020.
- [11] Kaggle. (2021, June 15). *Pima Indians Diabetes Database* [Online], Erişim: <https://www.kaggle.com/datasets/uciml/pima-indians-diabetes-database>.
- [12] M. Zaharia, M. Chowdhury, T. Das, A Dave, J. Ma, M. McCauley, M. J. Franklin, S. Shenker, and I. Stoica, "Resilient distributed datasets: a fault-tolerant abstraction for in-memory cluster computing," *9th Symposium on Networked Systems Design and Implementation*, California, USA, 2012, pp. 15-28.
- [13] X. Meng, J. Bradley, B. Yavuz, E. Sparks, S. Venkataraman, D. Liu, J. Freeman, D.B. Tsai, M. Amde, S. Owen and D. Xin, "MLlib: machine learning in apache spark," *Journal of Machine Learning Research*, vol. 17, no. 1, pp. 1235-1241, 2016.
- [14] S. Ameer, M.A. Shah, A. Khan, H. Song, C. Maple, S. Islam, and M.N. Asghar. "Comparative analysis of machine learning techniques for predicting air quality in smart cities," *IEEE Access*, vol. 7, no. 2019, pp. 128325-128338, 2019.
- [15] K. Kucuk, C. Bayilmis, A.F. Sonmez, and S. Kacar. "Crowd sensing aware disaster framework design with IoT Technologies," *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, vol. 11, no. 4, pp. 1709-1725, 2020.
- [16] X. Tian, R. Han, L. Wang, G. Lu, and J. Zhan. "Latency critical big data computing in finance," *The Journal of Finance and Data Science*, vol. 1, no. 1, pp. 33-41, 2015.
- [17] L.R. Nair, S.D. Shetty, and S.D. Shetty. "Applying spark based machine learning model on streaming big data for health status prediction," *Computers & Electrical Engineering*, vol. 65, no. 393-399, 2018.
- [18] M. Alber, "Masterarbeit: big data and machine learning: a case study with bump boost", Department of Smart Systems and Robotics, Master Thesis, Freie University, Berlin. Germany, 2014.
- [19] J.K. Basu, D. Bhattacharyya and T.H. Kim, "Use of artificial neural network in pattern recognition," *International Journal of Software Engineering and Its Applications*, vol. 4, no. 2, pp. 23-34, 2010.
- [20] B. E. Boser, I. M. Guyon, and V.N. Vapnik, "A training algorithm for optimal margin classifiers," *5th Annual ACM Workshop on Computational Learning Theory*, Pittsburgh, ABD, 1992, pp. 144-152.
- [21] G. Zhu, and D. G. "Blumberg. classification using aster data and svm algorithms; the case study of beer sheva, israel," *Remote Sensing of Environment*, vol. 80, no. 2, pp. 233-240, 2002.
- [22] D.W. Hosmer Jr, S. Lemeshow and R.X. Sturdivant, "Introduction to the logistic regression model", *Applied Logistic Regression*, 3rd ed., New Jersey, USA: John Wiley & Sons, 2013, vol. 398, pp. 1-35.
- [23] L. Breiman, "Random forests," *Machine Learning*, vol. 45, no. 1, pp. 5-32, 2001.
- [24] P. Langley, W. Iba, and K. Thompson, "An analysis of bayesian classifiers," *Proceedings of The Tenth National Conference on Artificial Intelligence*, California, USA, 1992, pp. 223-228.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Sliding Mode Control Based Supercapacitor Modeling for Dynamic Stability in DFIG Based Wind Turbines

 M. Kenan DÖŞOĞLU ^{a,*},  Uğur GÜVENÇ ^b,  Enes KAYMAZ ^c

^{a,b,c} *Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE*

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

DOI: 10.29130/dubited.1020670

ABSTRACT

The supercapacitor is among the elements commonly used to store energy as an important component in sustainable energy systems. In doubly fed induction generators (DFIGs), the supercapacitor is used to compensate voltage dips and damping oscillations. In this study, a different supercapacitor model was developed for system stability in a DFIG-based wind turbine connected to an infinite bus. In the development of the mathematical supercapacitor model, the lookup table was realized with the voltage-capacity relationship and sliding mode control. DFIG modeling with/without the developed supercapacitor was performed for symmetrical and asymmetrical fault situations, and the findings were then compared and interpreted in detail. The simulation study analysis was conducted in a MATLAB/SIMULINK environment. The developed supercapacitor model yielded impressive results in symmetrical and asymmetrical faults.

Keywords: *DFIG, supercapacitor modeling, lookup table, sliding mode control.*

ÇBAG Tabanlı Rüzgar Türbinlerinde Dinamik Kararlılık için Kayan Kipli Kontrol Tabanlı Süperkapasitör Modellemesi

Öz

Süperkapasitör, sürdürülebilir enerji sistemlerinde önemli bir bileşen olarak enerjiyi depolamak için yaygın olarak kullanılan elemanlar arasındadır. Çift beslemeli asenkron generatörlerde (ÇBAG), süperkapasitör, gerilim düşmelerini ve salınımların sönümlenmesini iyileştirmek için kullanılır. Bu çalışmada, sonsuz bir baraya bağlı olan ÇBAG tabanlı bir rüzgar türbininde sistem kararlılığı için farklı bir süperkapasitör modeli geliştirilmiştir. Matematiksel süperkapasitör modelinin geliştirilmesinde lookup table, gerilim-kapasite ilişkisi ve kayan kipli kontrol ile gerçekleştirilmiştir. Simetrik ve asimetric arıza durumları için, geliştirilen süperkapasitörlü ve süperkapasitörsüz DFIG modellemesi yapılmış ve elde edilen bulgular detaylı olarak karşılaştırılmış ve yorumlanmıştır. Benzetim çalışması analizi, MATLAB/SIMULINK ortamında gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen süperkapasitör modeli simetrik ve asimetric arızalarda etkili sonuçlar vermiştir.

Anahtar Kelimeler: *ÇBAG, süperkapasitör modeli, lookup table, kayan kipli kontrol.*

I. INTRODUCTION

The use of renewable energy technology has been increasing in recent years. Wind energy, in particular, has been in greater use than other renewable energy sources. High energy transfer capability technology is at the forefront in wind turbine applications. To achieve this capability at the maximum level, doubly fed induction generators (DFIGs) are used [1]. However, grid-connected DFIG-based wind turbines are very sensitive to certain transient stability situations and studies in the literature have developed various models to eliminate them. The Energy Storage Systems (ESS) model is one of the most widely used. Among the ESS elements is a supercapacitor that enables smooth output power and prevents oscillations. Constant power control is provided by using the supercapacitor model in DFIGs. Moreover, a management control unit has been developed to provide power tracking [2-5]. Supercapacitors are used in DFIGs to obtain constant output power as well as to prevent frequency changes of switching elements in the converter circuit. When monitoring the maximum power point with the supercapacitor, the responses to the change in wind speed, tower shadow, and the protection units were examined [6-7]. The supercapacitor model was selected in order to optimize energy production and consumption by adjusting the output power in the DFIG. The safe and effective use of the supercapacitor has been observed under optimal operating conditions [8-9]. In addition to ensuring optimum operating conditions, coordinated control was carried out in the DFIG using the supercapacitor in two stages for optimal active power control management [10]. The supercapacitor was selected in order to provide pitch angle control in the DFIG because of its advantages which include its high performance, high temperature operating ability, long service life, and convenient use in applications [11]. The effects of the supercapacitor in various DFIG short-circuit situations are discussed in detail. A hybrid model design was realized using the power electronics drives of a supercapacitor and a double-layer capacitor, and the response times in the transient state were improved [12-13]. The effects of the supercapacitor on small-signal stability were analyzed based on frequency stability, and the effects of the supercapacitor on the frequency ratio, operating mode, and participation factor were interpreted [14]. Transient analysis of the supercapacitor for active and reactive power control in a DFIG was examined. Moreover, short-circuit effects were minimized by providing flux and voltage control in the back-to-back converter circuit [15]. Depending on the maximum and minimum frequency values, the inertial model and the supercapacitor were used together in a DFIG for system reliability, and comparisons of conditions with and without supercapacitors were interpreted [16-19]. A supercapacitor was used for the static approach analysis of the energy storage system in a DFIG. In the static approach analysis, the energy storage level, energy storage cost, and wind speed distributions were discussed. With this approach, the average annual energy storage level, energy storage cost, hybrid energy storage, and wind speed distributions were determined, and situation analysis approaches were examined [20-22]. Another usage of the supercapacitor in DFIGs is to provide low voltage ride-through (LVRT) capability. Recovery from various symmetrical and asymmetrical faults with traditionally used DFIG control models may be insufficient. Various supercapacitor control models have been developed in DFIG for LVRT capability [23-24]. In this way, the adverse situations that may occur in grid-connected DFIGs can be eliminated. However, these models, which have been developed in some robust DFIG applications, may be insufficient due to inrush currents and over-voltages.

The aim of this study was to develop a different supercapacitor model in order to improve the stability, compensation, and oscillation damping of grid-connected DFIGs, especially in large power systems, while a dynamic model of the system was developed and studied in order to get a better transient-state time response. In this study, a two-layer, lookup table-based supercapacitor model was developed. An electrical model simulation was created as a two-layer supercapacitor mathematical model. The main contributions of this article are given below.

- Lookup table-based supercapacitor modeling in DFIG based wind turbines has developed.
- Mathematical correlation function for supercapacitor has created between the voltage and capacity.

- Sliding mode control has developed to coordinate the DC/DC converter and supercapacitor.
- Symmetrical and unsymmetrical faults with/without the enhanced supercapacitor has compared.

In section II.A of this study, the modeling of the DFIG is explained and in section II.B, the supercapacitor model is mentioned. In section II.C, the enhancement and control of the supercapacitor model in DFIG is explained mathematically in detail. In section II.D, the simulation study is presented and in section III, the results obtained from the simulation study are described, while the conclusion is detailed in the last section IV.

II. MATERIAL AND METHODS

A. MODELING OF THE DFIG

The circuit model of the DFIG, consisting of a gearbox, a rotor side converter (RSC), a grid side converter (GSC), and a crowbar unit, is shown in Figure 1.

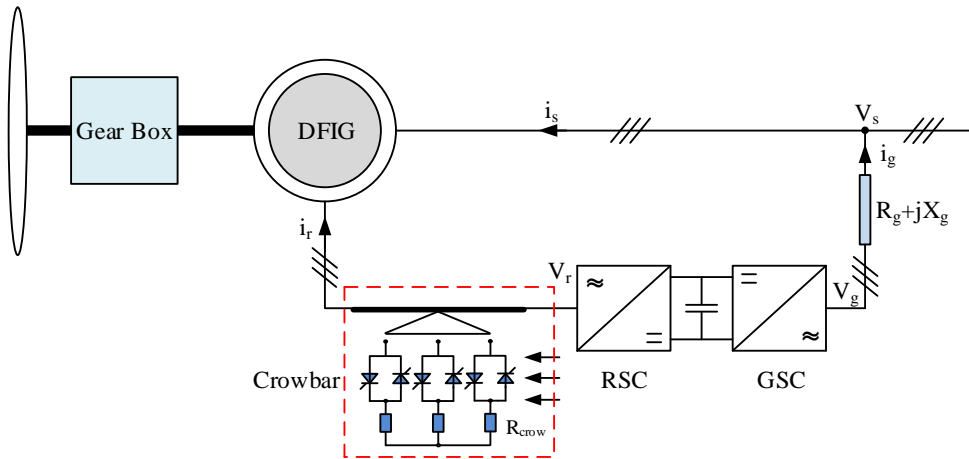


Figure 1. Circuit model of the DFIG

While the DFIG stator windings are directly linked to the grids, the rotor windings are linked to the grids via power electronics converters. These converters consist of two voltage source inverters with bidirectional current flow switching via pulse width modulation. The RSC circuit controls the electromagnetic torque, while the DC bus voltage is kept constant using the GSC circuit. With the three-phase windings in the stator and rotor circuit, the DFIG can take or give energy from both the stator and the rotor. Clarke and Park transforms are used in DFIG modeling [25-27] and d-q axis voltage and flux expressions have been developed for DFIG modeling. The d-q axis voltage expressions for the DFIG are shown in Equations (1) and (4).

$$V_{sd} = R_s i_{sd} - \omega_s \psi_{sq} + \frac{d\psi_{sd}}{dt} \quad (1)$$

$$V_{sq} = R_s i_{sq} + \omega_s \psi_{sd} + \frac{d\psi_{sq}}{dt} \quad (2)$$

$$V_{rd} = R_r i_{rd} - \omega_r \psi_{rq} + \frac{d\psi_{rd}}{dt} \quad (3)$$

$$V_{rq} = R_r i_{rq} + w_r \psi_{rd} + \frac{d\psi_{rq}}{dt} \quad (4)$$

The d-q axis flux relations in DFIG modeling are shown in Equations (5) and (8).

$$\psi_{sd} = L_s i_{sd} + L_m i_{rd} \quad (5)$$

$$\psi_{sq} = L_s i_{sq} + L_m i_{rq} \quad (6)$$

$$\psi_{rd} = L_r i_{rd} + L_m i_{sd} \quad (7)$$

$$\psi_{rq} = L_r i_{rq} + L_m i_{sq} \quad (8)$$

In the creation of the model, the expressions in Equations (5) and (8) are shortened to $(L_s = L_{s\sigma} + L_m)$, $(L_r = L_{r\sigma} + L_m)$, $(\psi_{sd} = L_s i_{sd} + L_m i_{rd})$, $(\psi_{sq} = L_s i_{sq} + L_m i_{rq})$, $(\psi_{rd} = L_r i_{rd} + L_m i_{sd})$, and $(\psi_{rq} = L_r i_{rq} + L_m i_{sq})$. The new versions of the d-q axis voltages are shown in Equations (9) – (12).

$$V_{sd} = R_s i_{sd} - w_s \psi_{sq} + L_{s\sigma} \frac{di_{sd}}{dt} + L_m \left(\frac{di_{rd}}{dt} + \frac{di_{sd}}{dt} \right) \quad (9)$$

$$V_{sq} = R_s i_{sq} + w_s \psi_{sd} + L_{s\sigma} \frac{di_{sq}}{dt} + L_m \left(\frac{di_{rq}}{dt} + \frac{di_{sq}}{dt} \right) \quad (10)$$

$$V_{rd} = R_r i_{rd} - w_r \psi_{rq} + L_{r\sigma} \frac{di_{sd}}{dt} + L_m \left(\frac{di_{rd}}{dt} + \frac{di_{sd}}{dt} \right) \quad (11)$$

$$V_{rq} = R_r i_{rq} + w_r \psi_{rd} + L_{r\sigma} \frac{di_{rq}}{dt} + L_m \left(\frac{di_{rq}}{dt} + \frac{di_{sq}}{dt} \right) \quad (12)$$

The new d-q axis voltage expressions obtained by using the flux-inductance relationship are shown in Equations (13) – (16).

$$V_{sd} = R_s i_{sd} - w_s ((L_{s\sigma} + L_m) I_{sq} + L_m + I_{rq}) + L_{s\sigma} \frac{di_{sd}}{dt} + L_m \left(\frac{di_{rd}}{dt} + \frac{di_{sd}}{dt} \right) \quad (13)$$

$$V_{sq} = R_s i_{sq} + w_s ((L_{s\sigma} + L_m) I_{sd} + L_m + I_{rd}) + L_{s\sigma} \frac{di_{sq}}{dt} + L_m \left(\frac{di_{rq}}{dt} + \frac{di_{sq}}{dt} \right) \quad (14)$$

$$V_{rd} = R_r i_{rd} - w_r ((L_{r\sigma} + L_m) I_{rq} + L_m + I_{sq}) + L_{r\sigma} \frac{di_{sd}}{dt} + L_m \left(\frac{di_{rd}}{dt} + \frac{di_{sd}}{dt} \right) \quad (15)$$

$$V_{rq} = R_r i_{rq} + w_r ((L_{r\sigma} + L_m) I_{rd} + L_m + I_{sd}) + L_{r\sigma} \frac{di_{rq}}{dt} + L_m \left(\frac{di_{rq}}{dt} + \frac{di_{sq}}{dt} \right) \quad (16)$$

where, ψ_{sd} , ψ_{sq} , ψ_{rd} , and ψ_{rq} are the stator-rotor phase winding fluxes, L_s and L_r are the stator-rotor phase winding inductances, L_m is the common inductance between stator and rotor, i_{sd} , i_{sq} , i_{rd} , and i_{rq}

are the stator-rotor phase currents, w_s is the stator angular speed, V_{sd} , V_{sq} , V_{rd} , and V_{rq} are the d - q axis stator-rotor voltages, R_s is the stator winding resistance, R_r is the rotor winding resistance, and I_{sd} , I_{sq} , I_{rd} , and I_{rq} are the d - q axis stator-rotor current components, respectively.

Active and reactive power expressions produced by the DFIG modeling are shown in Equations (17) and (18).

$$P_s = V_{sd} I_{sd} + V_{sq} I_{sq} \quad (17)$$

$$Q_s = V_{sq} I_{sq} - V_{sd} I_{sd} \quad (18)$$

The relationship between the mechanical dynamic and the electrical torque obtained by using the angular speed (w_r) of the rotor in the DFIG is shown in Equation (19).

$$T_{em} = N \frac{L_m}{L_s} (\psi_{sq} I_{rd} - \psi_{sd} I_{rq}) \quad (19)$$

where, N is the number of generator poles, T_m and T_{em} are the mechanical and electrical torques of the generator, respectively.

B. SUPERCAPACITOR MODELING

Unlike conventional capacitors, supercapacitors consist of two solid electrodes with a liquid electrolyte. Solid electrodes make the supercapacitors double-layered [28-30]. An electron exchange is provided between the cathode and the anode. Accordingly, a capacity is formed between the electrode surfaces. Electrical circuit models are designed according to the operating conditions of the supercapacitors. The EPCOS supercapacitor model was used in the creation of this model [31]. The simple electrical equivalent model of the supercapacitor was formed by the Faranda model. The equivalent model of the supercapacitor is shown in Figure 2.

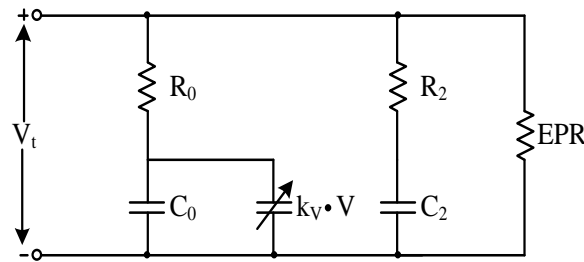


Figure 2. Faranda supercapacitor model

The model cell capacity expression is shown in Equation (20).

$$C_{cell} = C_0 + K_v V_c \quad (20)$$

The total capacity expressions for n numbers in the series for the model are shown in Equations (21) and (22).

$$C_{total} = \frac{1}{\frac{1}{C_{cell1}} + \frac{1}{C_{cell2}} + \frac{1}{C_{cell3}} + \dots + \frac{1}{C_{celln}}} \quad (21)$$

$$C_{total} = \frac{1}{n} C_{cell} = \frac{1}{n} (K_v V_c) \quad (22)$$

The model terminal voltage equations and the capacity change over time are shown in Equations (23) – (25).

$$V(t) = i(t)R + \frac{1}{C_{total}} \int i(t)dt \quad (23)$$

$$V(t) = V_c(t) + (C_0 + K_v V_c)(R_0 + R_2) + \frac{dV_c(t)}{dt} \quad (24)$$

$$\frac{dV_c}{dt} = \frac{V - V_c}{(R_0 + R_2)(C_0 + K_v V_c)} \quad (25)$$

In the Faranda model, depending on the number of cells, the use of multiple resistors can be represented by equivalent series resistance (ESR) and equivalent parallel resistance (EPR). Voltage and initial voltage equations using equivalent series resistors are shown in Equations (26) – (28).

$$V(t) = R_{ESR} i(t) + \frac{1}{C_{total}} \int i(t)dt \quad (26)$$

$$V_0 = R_{ESR} i(t) + \frac{1}{C_{total}} \int i(t)dt \quad (27)$$

$$R_{ESR} + C_{total} \frac{di(t)}{dt} - i(t) = 0 \quad (28)$$

Charge and discharge expressions in the Faranda model are shown in Equations (29) and (30). The expression of the Faranda model terminal voltage (V_t) as a function of time is shown in Equation (31).

$$V_r(t) = K e^{\frac{1}{R_{ESR} + C_{total}} t} \quad (29)$$

$$\frac{dV_c}{dt} = \frac{-V_c}{(R_0 + R_2)(C_0 + K_v V_c)} \quad (30)$$

$$V_t(t) = V_c(t) + V_r(t) \quad (31)$$

C. ENHANCEMENT AND CONTROL OF THE SUPERCAPACITOR MODEL IN DFIG

Because the circuits created in the Faranda model are more conceptual than real functional circuits, their capacitor control and switching operations are not seen. Moreover, the Faranda model works effectively in steady-state studies and low power applications. However, studies on the transient situation are insufficient and contain too many errors. Therefore, it is more effective to use double-layer supercapacitor modeling instead of the Faranda model. The double-layer supercapacitor model is shown in Figure 3.

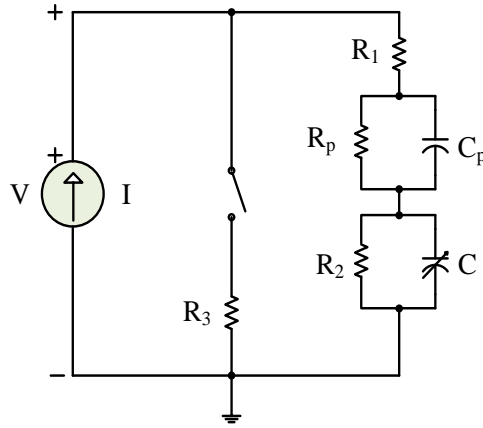


Figure 3. Double-layer supercapacitor model

In the double-layer supercapacitor circuit design, there are four resistors consisting of two capacitor groups. In adjusting the capacity according to the system dynamics, the lookup-table value is controlled depending on the voltage. This relationship is created using the voltage and voltage of derivation expression in Equations (32) and (33).

$$u_{LUP} = 7.1138 \times 10^{-8} t^3 + 1.1657 \times 10^{-3} t^2 + 6.4391 t - 11945 \quad (32)$$

$$\dot{u}_{LUP} = 2.13414 \times 10^{-7} t^2 + 2.3314 \times 10^{-3} t + 6.4391 \quad (33)$$

In double-layer supercapacitor modeling, the capacity-voltage relationship is designed based on a lookup table. The capacity value is obtained by implementing interpolation to the capacity-voltage curve in Figure 4.

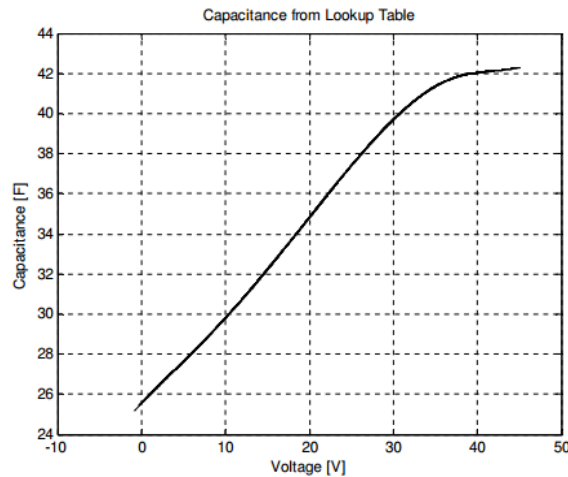


Figure 4. Capacity-voltage relationship of the supercapacitor

In the capacity-voltage curve of the supercapacitor it is seen that the capacity value increases as the voltage value increases. The process of selecting a capacity suitable for the 1200 V DC voltage in the simulation system was carried out according to this curve. The buck-boost converter circuit was designed so that the voltage value generated in the supercapacitor is equal to the DC voltage value. The output voltage (u_o) and coil current (i_L) for the dynamic state in the buck-boost converter circuit are shown in Equations (34) and (35).

$$\frac{du_0}{dt} = \frac{1}{C_0}[(1-D)i_L - \frac{u_0}{R_0}] \quad (34)$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{1}{L}[u_D - (1-D)u_0] \quad (35)$$

The output voltage and coil current expressions for space state analysis are shown in Equation (36).

$$\begin{bmatrix} \dot{i}_L \\ \dot{u}_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -(1-D)\frac{1}{L} \\ (1-D)\frac{1}{C_0} & \frac{1}{-RC_0} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_L \\ u_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L} \\ 0 \end{bmatrix} u_D \quad (36)$$

A resistor, a coil and a capacitor are used in the buck-boost converter circuit. In this study, the buck-boost converter parameters chosen were: R (resistance) as 160, L (inductance) as 1 mH, and C (capacitor value) as 0.5 μF. Voltage adjustment based on the lookup table in the supercapacitor should be very sensitive. Otherwise, there may be problems in providing dynamic performance. However, with this sensitivity, the buck-boost converter should operate very smoothly [32-33]. Sliding mode control was used to ensure a harmonious coordination between the buck-boost converter and the supercapacitor. The state expression in systems with single input and output in sliding mode control is shown in Equation (37).

$$\dot{x} = f(x) + b(x)u \quad (37)$$

where, x is the state variable, u is the input variable, and $f(x)$ and $b(x)$ are defined as the limited nonlinear functions of state variables. The basic principle of sliding mode control is to use switching control logic to force the trajectories of the dynamic variable structure system to follow a particular path called the “sliding surface”. Trajectories use the time-varying floating surface expression for the system to determine the error, as shown in Equation (38).

$$S(x;t) = \left(\frac{d}{dt} + \lambda\right)^{n-1} x \quad (38)$$

where x is the trajectory error in state x , λ is the positive constant coefficient, and n is the order of the system in operating state. The expression that allows the system to operate in the desired orbit is shown in Equation (39).

$$\frac{1}{2} \frac{d}{dt} S^2 \leq -\mu(S) \quad (39)$$

where μ is the constant positive value. In sliding mode control, in the buck-boost converter switching technique, the sliding surface continuously creates a high frequency around the sliding surface (S), with a chattering effect. Therefore, sliding mode control is generally applied to nonlinear systems. For this purpose, the linearization process is performed in the supercapacitor model, which makes it very simple to apply the sliding mode control on the energy storage system elements. The voltage-capacity relationship is used in the linearization process. The sliding mode surface consists of the expression of S as the current error. The amount of current error in the current loop for sliding mode control is shown in Equation (40).

$$S = i_L^* - i_L \quad (40)$$

where $S = 0$ is the desired state. The sliding mode control study has two main functions: the control function and modulator function. Therefore, the sliding mode output control is the duty cycle (D). The sliding model-based duty cycle statement is shown in Equation (41).

$$D = \frac{1}{2}(1 - \text{sign}(S)) \quad (41)$$

To follow the current reference in the sliding mode control, the output DC voltage must be higher than the limit given in Equation (42) below.

$$U_0 \geq \frac{3}{2} \sqrt{(V_g^{\max})^2 + (L_{inv} \times 2\pi f \times I_g^{\max})^2} \quad (42)$$

where, V_g^{\max} is the maximum grid voltage, L_{inv} is the phase inductance, I_g^{\max} is the maximum grid current, and f is the frequency, respectively. With the sliding mode control, the buck-boost converter output voltage increases to the desired voltage level. Moreover, with the sliding mode control, the dynamic behavior of the R_p and C_p elements used in the supercapacitor can be controlled very quickly. With the supercapacitor added to the DC bus, the GSC circuit works as an active power source. The connection of the supercapacitor in the DFIG is shown in Figure 5.

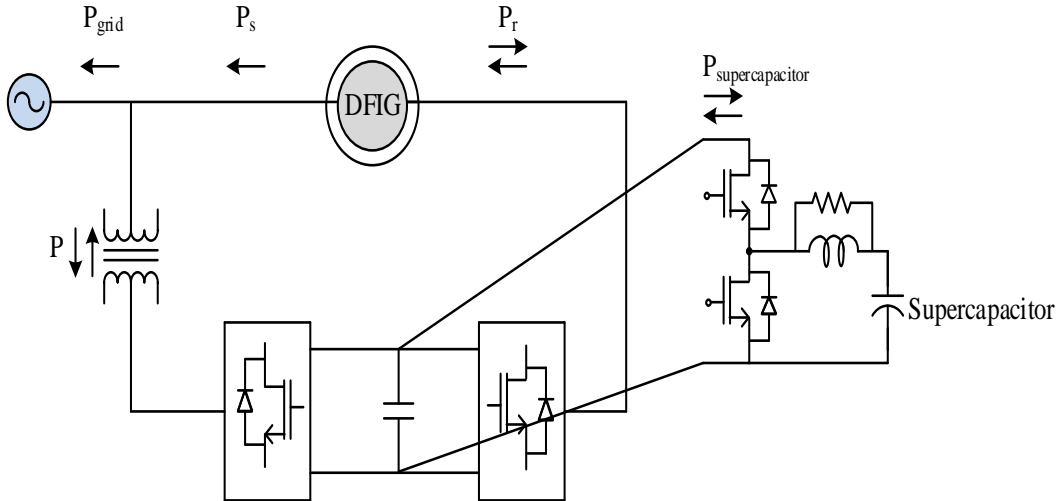


Figure 5. The connection of the supercapacitor in the DFIG

In the DFIG, the supercapacitor is able to adjust the DC bus voltage value in the range of 0-100%. While a certain part of the power values are met by the grid in the creation of the supercapacitor model, the remaining power values are met by the DFIG. The amounts of energy and capacity expressions stored in the supercapacitor are shown in Equations (43) – (45).

$$E_{supercapacitor} = 0.2P_{nominal}t \quad (43)$$

$$E_{supercapacitor} = \frac{1}{2}C_{supercapacitor}(V_{max}^2 - V_{min}^2) \quad (44)$$

$$C_{supercapacitor} = \frac{0.4P_{nominal}t}{(V_{max}^2 - V_{min}^2)} \quad (45)$$

where, $E_{supercapacitor}$ is the amount of energy in the supercapacitor, $P_{nominal}$ is the nominal power value, t is the supercapacitor operating time, $C_{supercapacitor}$ is the supercapacitor capacity value, V_{max} is the

maximum supercapacitor voltage, and V_{min} is the minimum supercapacitor voltage, respectively. The supercapacitor model developed based on a double-layer lookup table with sliding mode control is shown in Figure 6.

The developed supercapacitor model is activated during a transient situation in the DFIG. Under steady-state operation, the system control provides DC link voltage. Under steady-state operation the DC/DC converter circuit used in the DFIG can adjust the DC voltage depending on the amount desired. A time-related switching element is used for the activation of the supercapacitor. The difference between the measured and reference values enters the controller. The switching element of the converter on the grid side is triggered by making the desired level adjustment on the controller. R_1 resistance determines losses during charge and discharge in developed supercapacitor model. R_2 resistance controls the charge and discharge effect in the developed supercapacitor model. R_3 resistance protects the supercapacitor against overvoltages during transient state. The R_p resistance and the C_p capacitor observe the dynamic behavior of the supercapacitor during the transient state. In this study, the supercapacitor was not used in the continuous operation of the system. The supercapacitor worked in the power system-connected DFIG according to symmetrical and asymmetrical short-circuit events occurring on the grid side.

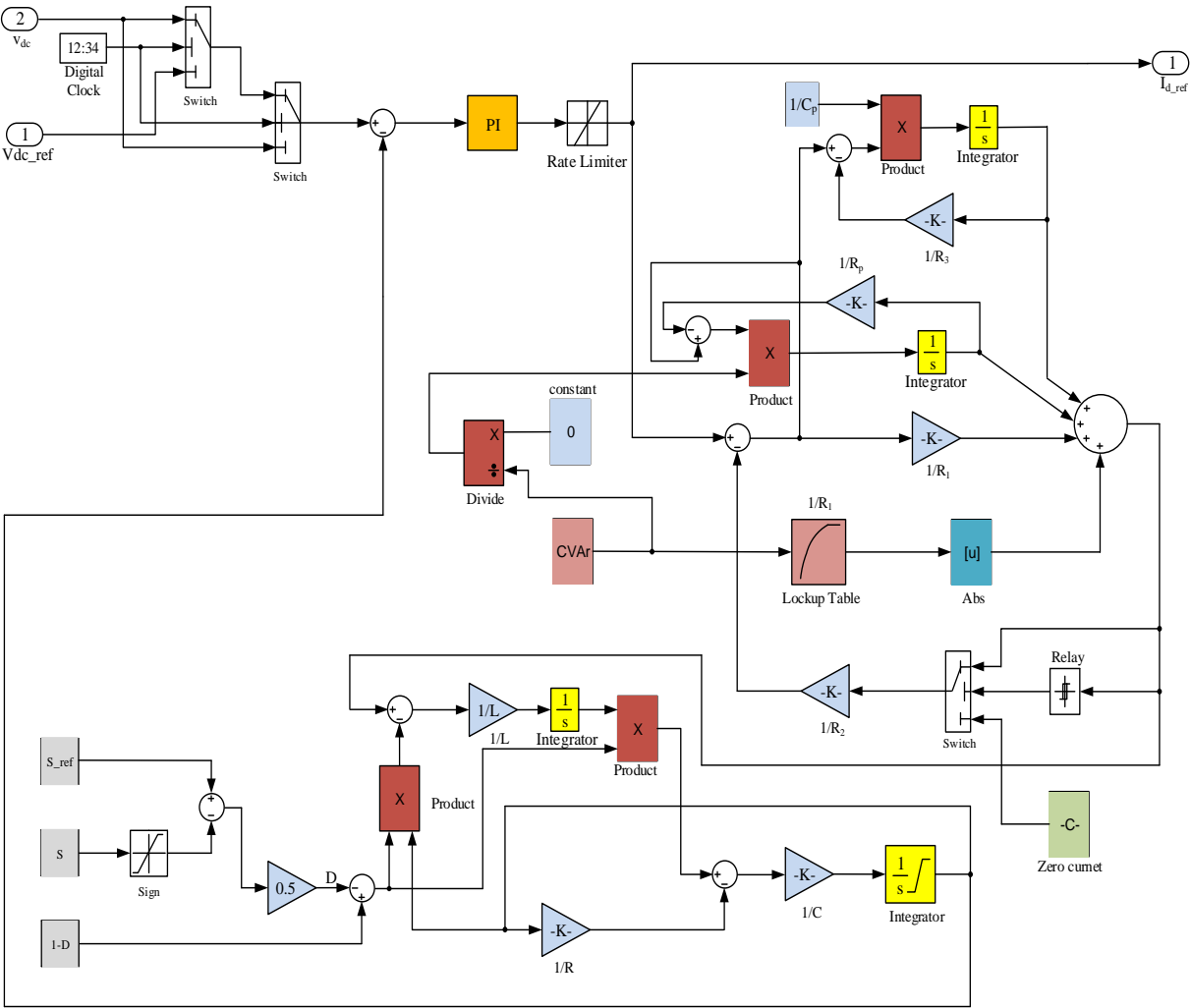


Figure 6. Developed supercapacitor model

D. SIMULATION MODEL

The model simulated in this study is shown in Figure 7.

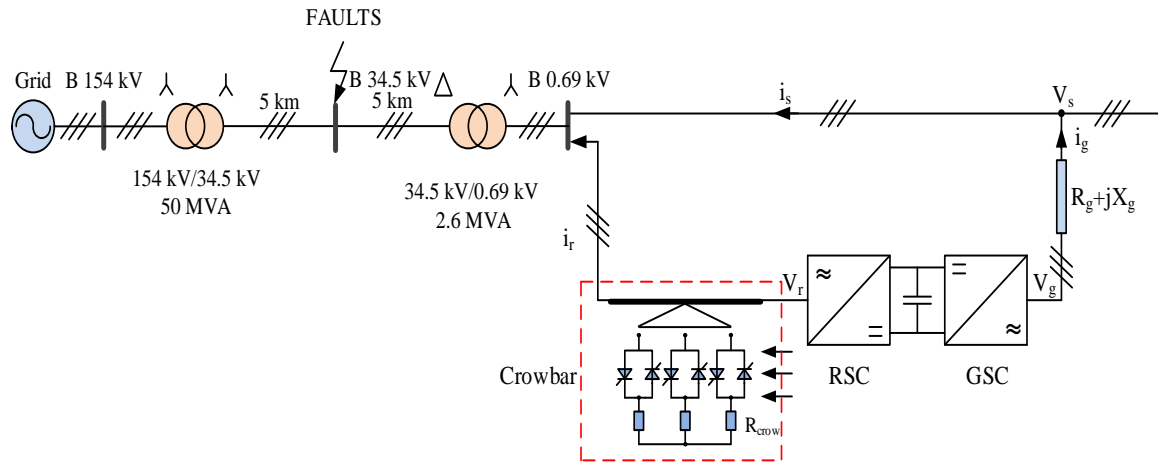


Figure 7. Test system

The simulation model used a 154-kV grid. In this system, a transformer was used to reduce 154 kV to 34.5 kV. Moreover, a 10-km long medium-length pi transmission line was used. At the output of the transmission line, a transformer was used to reduce 34.5 kV to 690 V. There were 2.3 MW DFIG-based wind turbines at the output of 690 V transformers. The transformer power on the grid side was selected as 50 MVA, while the power value of 2.6 MVA was selected at the DFIG output. Saturation rates of both transformers were ignored. The DFIG parameter values, transformers, and grid voltage in the DFIG output were established as design values and the operating status of the wind turbine made in Turkey was determined. Symmetrical and asymmetrical faults occurred in the 154 kV bus. A 3-phase fault was selected as the symmetrical fault, while a ground fault was selected as the asymmetrical fault. Analyses of the presence and absence of the supercapacitor in the DFIG-based wind turbine were examined. The parameters used in the DFIG are given in Table 1.

Table 1. DFIG parameters

Parameters	stator resistance	rotor resistance	stator inductance	rotor inductance	magnetization inductance	inertia constant
Value	0.00706 Ω	0.005 Ω	0.171 H	0.156 H	2.9 H	3.5

III. SIMULATION MODEL RESULTS

The first analysis in this study was of the 3-phase fault that occurred between 0.55 s and 0.7 s. In the case of the 3-phase fault, a comparison was made of the conditions where the supercapacitor was used and not used. The bus voltage variations and changes in DFIG parameters are shown in Figures 8 and 9.

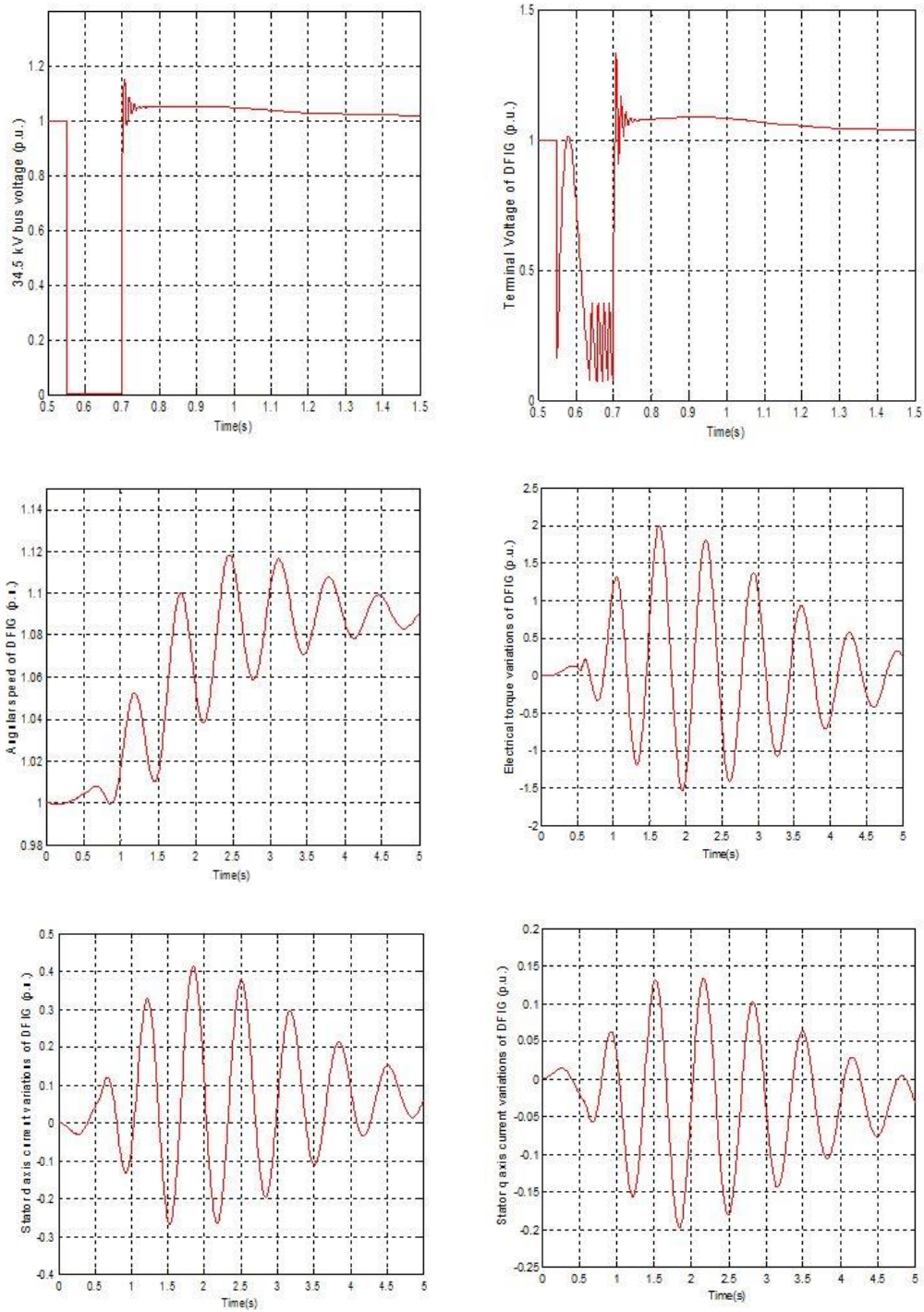


Figure 8. 3-phase fault results obtained without the supercapacitor

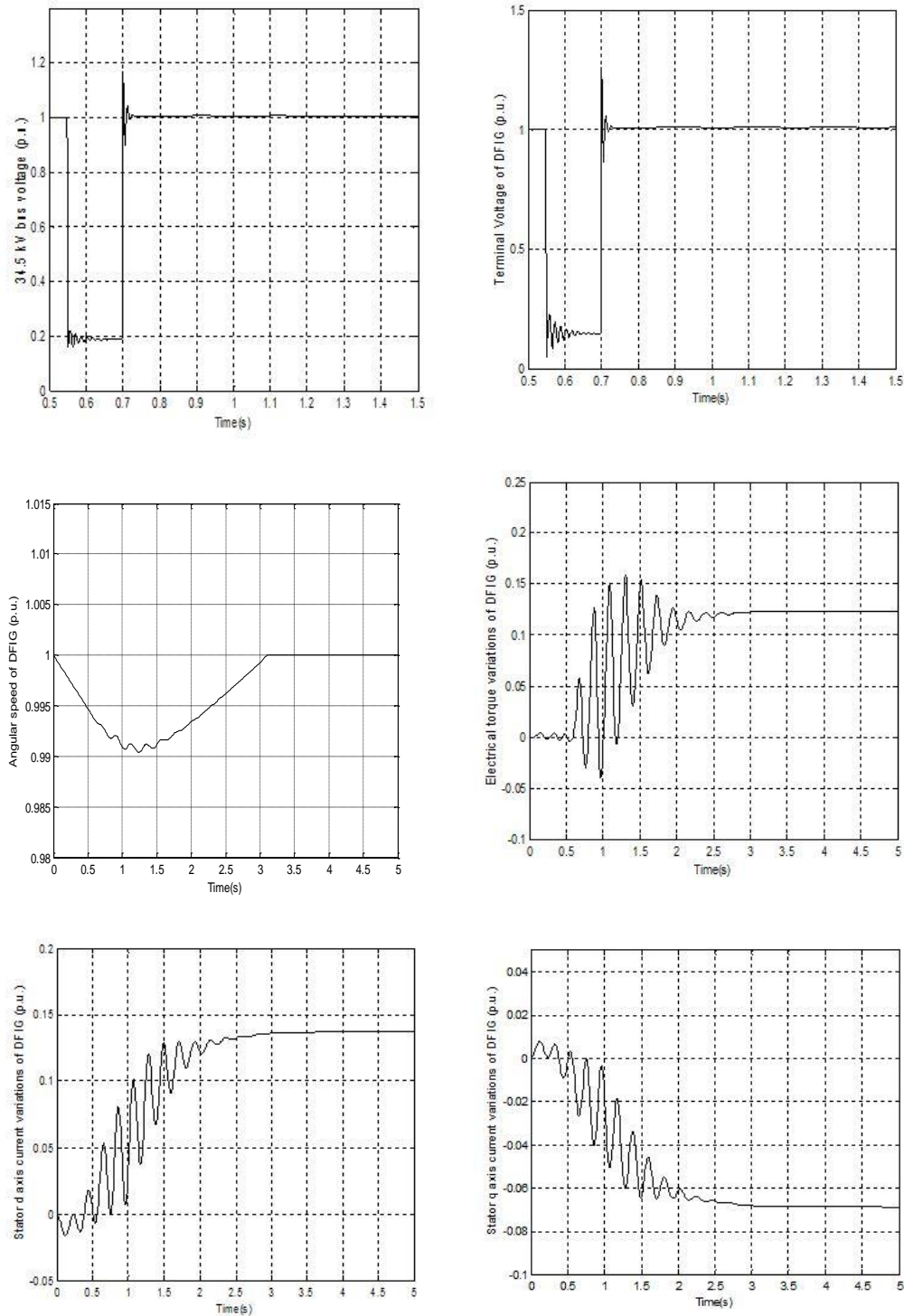


Figure 9. 3-phase fault results obtained with the supercapacitor

As a result of the 3-phase fault analysis, when the supercapacitor was used, the 34.5 kV bus voltage of 0.0 p.u. rose to the value of 0.195 p.u. Similarly, the output voltage of the DFIG of 0.15 p.u. rose to the value 0.2 p.u. When the oscillation ranges of all parameter values were examined, it was observed that the values had increased. Without the use of the supercapacitor, the 34.5 kV bus voltage was 0.0–1.15 p.u., DFIG output voltage 0.1–1.32 p.u., angular velocity 1–1.12 p.u., electrical moment -1.5–2 p.u., and d-q axis stator current changes -0.28–0.41 p.u. and -0.2–0.125 p.u., respectively. When the supercapacitor was used, oscillation ranges for the 34.5 kV bus voltage were 0.195–1.7 p.u., DFIG output voltage 0.15–1.25 p.u., angular velocity 0.992–1.0 p.u., electrical moment -0.04–0.155 p.u., and d-q axis stator current changes -0.01–0.135 p.u. and -0.065–0.01 p.u., respectively. In the simulation

study, a ground fault was examined as the second analysis. In the ground fault of between 0.55 s and 0.7 s, the bus voltages and the changes in the DFIG parameters were examined according to whether or not the supercapacitor was used. The results obtained are shown in Figures 10 and 11.

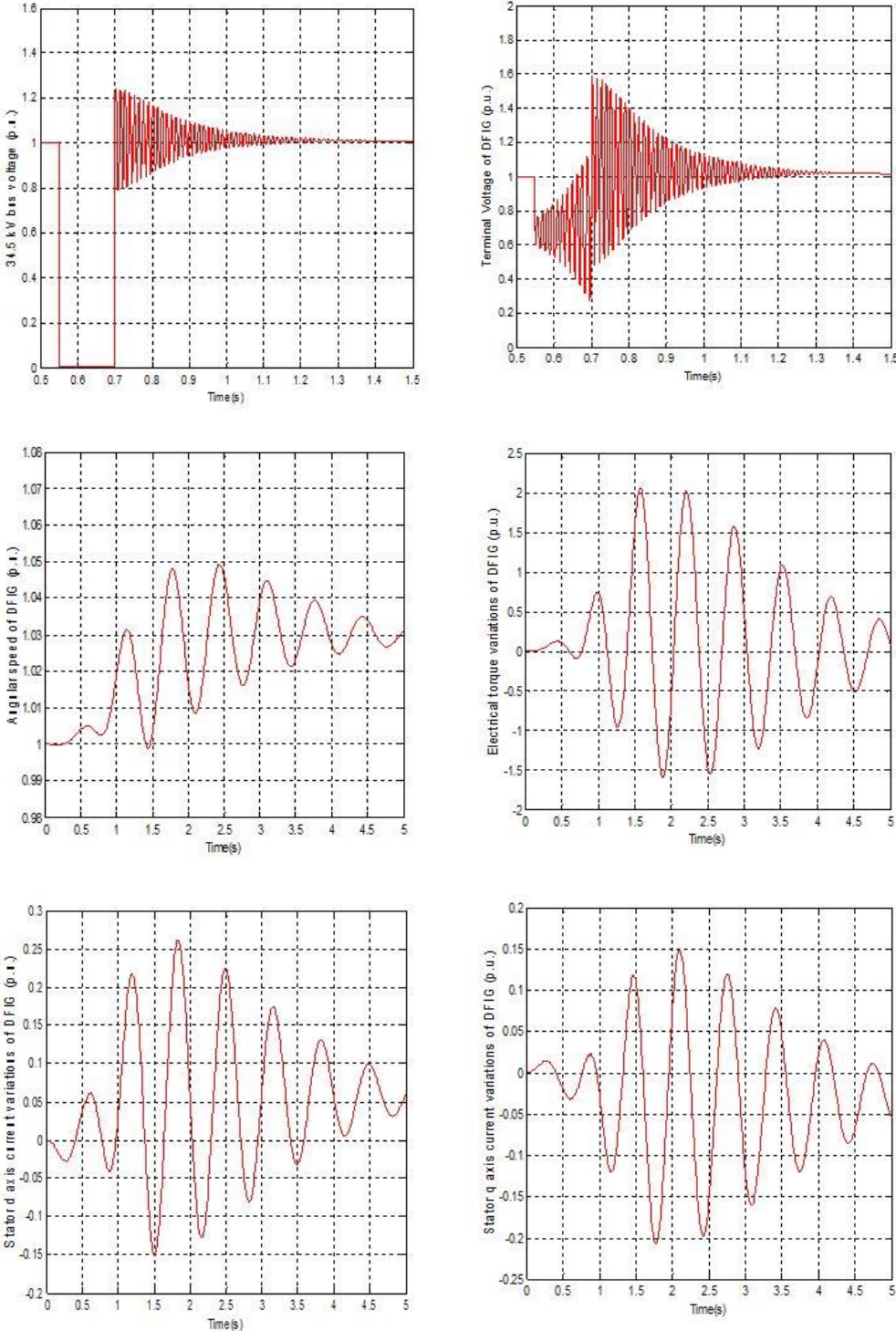


Figure 10. A phase ground fault results without the supercapacitor

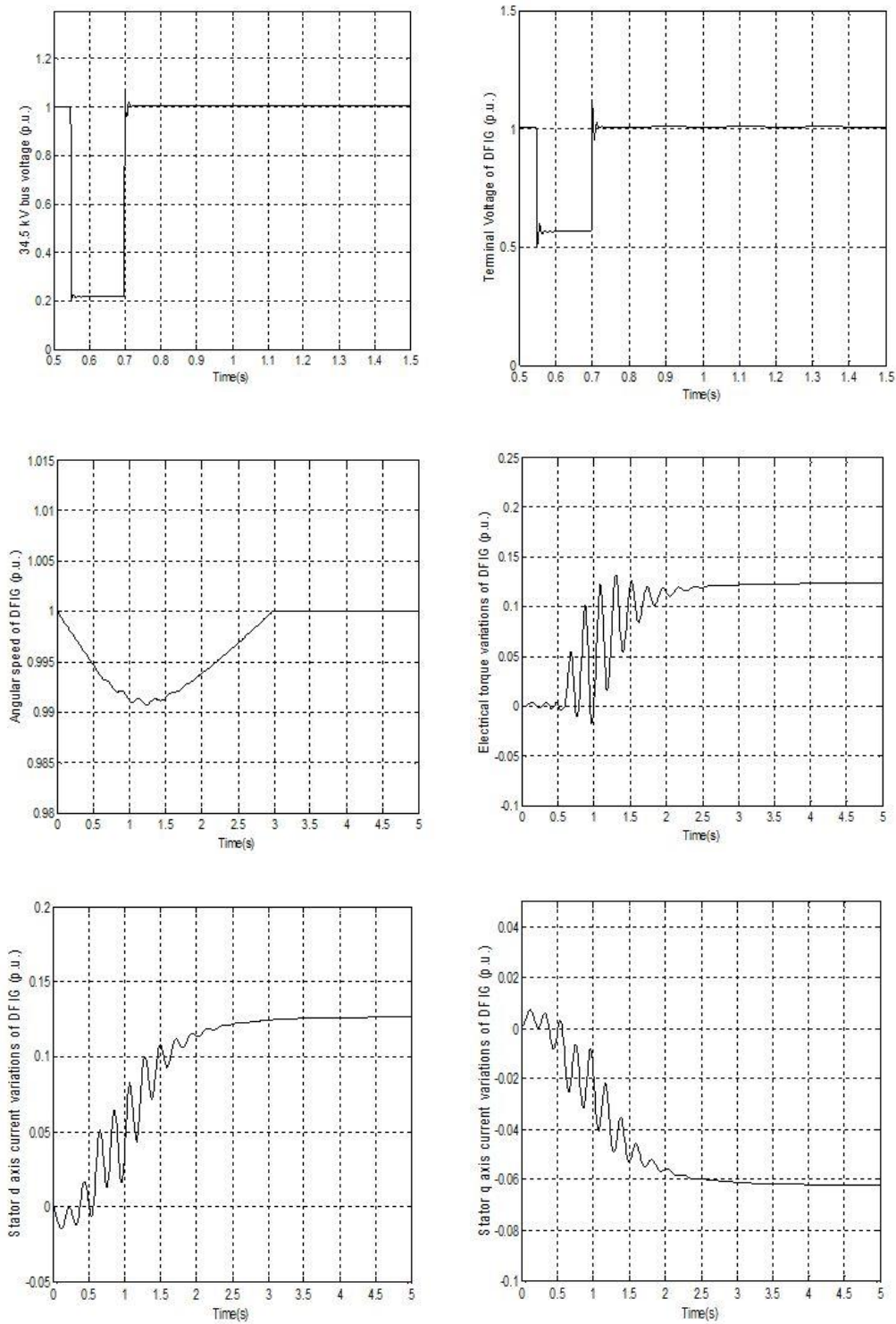


Figure 11. A phase ground fault results with the supercapacitor

In the case of the ground fault that occurred between 0.55 s and 0.75 s, the 34.5 kV bus voltage was increased from 0.0 p.u. to the value of 0.2 p.u. The output voltage of the DFIG increased from 0.3 p.u. to 0.58 p.u. When the oscillation conditions of the parameters in the ground fault in the system were examined, without the supercapacitor, the 34.5 kV bus voltage was 0.0–1.22 p.u., DFIG output voltage 0.25–1.59 p.u., angular velocity 1–1.05 p.u., electrical torque -1.55–2.05 p.u., and d-q axis stator current changes -0.15–0.26 p.u. and -0.205–0.15 p.u., respectively. When the supercapacitor was used in the system, the oscillation ranges of the 34.5 kV bus voltage were 0.2–1.07 p.u., DFIG output

voltage 0.58–1.12 p.u., angular velocity 0.99–1.0 p.u., electrical moment 0.01–0.125 p.u., and d-q axis stator current changes -0.01–0.125 p.u. and -0.625–0.006 p.u., respectively.

V. CONCLUSIONS

The use of energy storage elements plays an important role in theoretically resolving transient problems in grid-connected DFIG-based wind turbines. This study discussed in detail the effects of a supercapacitor, as an energy storage system element, on the DFIG in the case of transient stability. It was observed that the developed lookup table- and sliding mode-based supercapacitor model gave quite effective results for both symmetrical and asymmetrical faults. As a result of the fault analysis, bus voltages and DFIG parameters promptly became stabilized. It was observed that the 34.5 kV bus voltage and the DFIG output voltage were compensated during the faults. Moreover, it was observed that the oscillations occurring after the symmetrical and asymmetrical faults were quickly damped. In the DFIG, the parameter most affected by the symmetrical and asymmetrical faults was the electrical torque, while the q-axis stator current variations were the least affected.

ACKNOWLEDGEMENTS: The authors declare that they have no conflict of interest.

VI. REFERENCES

- [1] W.C. de Carvalho, R.P. Bataglioli, R.A. Fernandes, and D.V. Coury, “Fuzzy-based approach for power smoothing of a full-converter wind turbine generator using a supercapacitor energy storage,” *Electric Power Systems Research*, vol. 184, no. 106287, 2020.
- [2] I.M. Syed, B.Venkatesh, B. Wu, and A.B. Nassif, “Two-layer control scheme for a supercapacitor energy storage system coupled to a doubly fed induction generator,” *Electric Power Systems Research*, vol.86, pp. 76-83, 2012.
- [3] Q. Liyan and W. Qiao, “Constant power control of DFIG wind turbines with supercapacitor energy storage,” *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 47, pp. 359-367, 2011.
- [4] V. Krishnamurthy and C.R. Kumar, “A novel two layer constant power control of 15 DFIG wind turbines with supercapacitor energy storage,” *International Journal of Advanced and Innovative Research*, vol. 2, pp. 68-77, 2013.
- [5] S. Dongyang, Z. Xiongxin, S. Lizhi, W. Fengjian, and Z. Guangxin, “Study on power fluctuation suppression of DFIG based on super capacitor energy storage,” in *2017 IEEE Conference on Energy Internet and Energy System Integration (EI2)*, IEEE, 2017, pp. 1-6.
- [6] R. Suryana, “Frequency control of standalone wind turbine with supercapacitor,” in *2011 IEEE 33rd International Telecommunications Energy Conference (INTELEC)*, IEEE, 2011, pp. 1-8.
- [7] R. Aghatehrani, R. Kavasseri, and R.C. Thapa, “Power smoothing of the DFIG wind turbine using a small energy storage device,” in *IEEE PES General Meeting*, IEEE, 2010, pp. 1-6.
- [8] N. Mendis, K.M. Muttaqi, and S. Perera “Active power management of a supercapacitor-battery hybrid energy storage system for standalone operation of DFIG based wind turbines,” in *IEEE Industry Applications Society Annual Meeting*, Las Vegas, USA, 2012, pp. 1-8.

- [9] E. Naswali, C. Alexander, H.Y. Han, D. Naviaux, A. Bistrika, A.V. Jouanne, A. Yokochi, and K.A.T. Brekken, "Supercapacitor energy storage for wind energy integration," in *IEEE Energy Conversion Congress and Exposition*, Phoenix, Arizona, 2011, pp. 298-305.
- [10] S. Huang, Q. Wu, Y. Guo, and F. Rong, "Optimal active power control based on MPC for DFIG-based wind farm equipped with distributed energy storage systems," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 113, pp. 154-163, 2019.
- [11] T. Wei, S. Wang, and Z. Qi, "Design of supercapacitor based ride through system for wind turbine pitch systems," in *2007 International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS)*, IEEE, 2007, pp. 294-297.
- [12] S.M. Muyeen, R. Takahashi, M.H. Ali, T. Murata, and J. Tamura, "Transient stability augmentation of power system including wind farms by using ECS," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 23, no. 3, pp. 1179-1187, 2008.
- [13] N. Mendis, K.M. Muttaqi, S. Sayeef, and S. Perera, "Application of a hybrid energy storage in a remote area power supply system," in *2010 IEEE International Energy Conference*, IEEE, 2010, pp. 576-581.
- [14] X. Li, C. Hu, C. Liu, and D. Xu, "Modeling and control of aggregated super-capacitor energy storage system for wind power generation," in *2008 34th Annual Conference of IEEE Industrial Electronics*, IEEE, 2008, pp. 3370-3375.
- [15] H. Babazadeh, W. Gao, and X. Wang, "Controller design for a hybrid energy storage system enabling longer battery life in wind turbine generators," in *2011 North American Power Symposium*, IEEE, 2011, pp. 1-7.
- [16] M.F.M Arani, and E.F. El-Saadany, "Implementing virtual inertia in DFIG-based wind power generation," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 28, pp. 1373-1384, 2013.
- [17] D. Yang, H.C. Gao, L. Zhang, T. Zheng, L. Hua, and X. Zhang, "Short-term frequency support of a doubly-fed induction generator based on an adaptive power reference function," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 119, 2020.
- [18] J. Zhu, J. Hu, W. Hung, C. Wang, X. Zhang, S. Bu, and C.D. Booth, "Synthetic inertia control strategy for doubly fed induction generator wind turbine generators using lithium-ion supercapacitors," *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 33, no. 2, pp. 773-783, 2017.
- [19] L. Xiong, Y. Li, Y. Zhu, P. Yang and Z. Xu, "Coordinated control schemes of super-capacitor and kinetic energy of DFIG for system frequency support," *Energies*, vol. 11, no. 1, 2018, doi: 10.3390/en11010103.
- [20] A.M. Gee, F.V. Robinson, and R.W. Dunn, "Analysis of battery lifetime extension in a small-scale wind-energy system using supercapacitors," *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 28, no. 1, pp. 24-33, 2013.
- [21] K.W. Wee, S. S. Choi, and D.M. Vilathgamuwa, "Design of a least-cost battery-supercapacitor energy storage system for realizing dispatchable wind power," *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, vol. 4, no. 3, pp. 786-796, 2013.
- [22] H. Babazadeh, W. Gao, J. Lin, and L. Cheng, "Sizing of battery and supercapacitor in a hybrid energy storage system for wind turbines," in *PES T&D 2012*, IEEE, 2012, pp. 1-7,

- [23] S.S. Sahoo, K. Chatterjee, and P.M. Tripathi, "A coordinated control strategy using supercapacitor energy storage and series dynamic resistor for enhancement of fault ride-through of doubly fed induction generator," *International Journal of Green Energy*, vol. 16, no. 8, pp. 615-626, 2019.
- [24] O. Noureldeen and M.M. Youssef, "Super-capacitor utilization for low-voltage ride through improvement of grid-tied wind turbines," in *2017 Nineteenth International Middle East Power Systems Conference (MEPCON)*, IEEE, 2017, pp. 1305-1309.
- [25] A. Luna, F.D.A Lima, D. Santos, P. Rodríguez, E.H. Watanabe, and S. Arnaltes, "Simplified modeling of a DFIG for transient studies in wind power applications," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 58, no. 1, pp. 9-20.
- [26] L. Yang, Z. Xu, J. Ostergaard, Z.Y. Dong, and K.P. Wong, "Advanced control strategy of DFIG wind turbines for power system fault ride through," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 27, no. 2, pp. 713-722, 2011.
- [27] P.C. Krause, O. Wasynczuk, S.D. Sudhoff, and S. Pekarek, *Analysis of Electric Machinery and Drive Systems*, 3rd ed., vol. 75, New Jersey, USA: John Wiley & Sons, 2013, pp. 75-100.
- [28] A.B. Cultura and Z.M. Salameh, "Modeling, evaluation and simulation of a supercapacitor module for energy storage application," in *International Conference on Computer Information Systems and Industrial Applications*, 2015, pp. 876-882.
- [29] M.K. Döşoğlu and A.B Arsoy, "Transient modeling and analysis of a DFIG based wind farm with supercapacitor energy storage," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 78, pp. 414-421, 2016.
- [30] M. K. Döşoğlu, "Nonlinear dynamic modeling for fault ride-through capability of DFIG-based wind farm," *Nonlinear Dynamics*, vol. 89, no. 4, pp. 2683-2694, 2017.
- [31] *Data Sheet for Supercapacitor from EPCOS*, Part No.: B48621–S0203-Q288, 2011.
- [32] M. Firouzi, M. Nasiri, S. Mobayen, and G.B. Gharehpetian, "Sliding mode controller-based BFCL for fault ride-through performance enhancement of DFIG-based wind turbines," *Complexity*, vol. 2020, no. 1259539, pp. 1-12, 2020.
- [33] M. Gaiceanu, "MATLAB/simulink-based grid power inverter for renewable energy sources integration," *MATLAB-a Fundamental Tool for Scientific Computing and Engineering Applications*, vol. 3 pp. 1-219, 2012.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Derleme Makalesi

Kentsel Yenileme Kapsamında Kentsel Peyzajın “Habitus” Kavramı Üzerinden Değerlendirilmesi

 Başak YURTSEVEN^{a,*},  Dicle OĞUZ^b

^a Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Ziraat Fakültesi, Ankara Üniversitesi, Ankara, TÜRKİYE

^b Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Ziraat Fakültesi, Ankara Üniversitesi, Ankara, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: basakyurtseven1@gmail.com

DOI: 10.29130/dubited.943176

ÖZ

1950’li yıllardan günümüze kadar uzanan süreç, kapitalizmin yeni üretim biçimleri ile değiştiği, buna bağlı olarak kentsel yenileme odaklı araştırmaların da öneminin büyüdüğü bir dönem olarak ifade edilmektedir. Global değişime bağlı olarak meydana gelen etkiler, özellikle modern insana, kente ve kamusal hayata büyük oranda yansımıştır. Bu süreç boyunca, kentsel mekânda yaşanan değişimler, hem fiziksel hem de sosyal boyutu etkilemiştir. Kamusal alanı oluşturan kentsel peyzajın kentleri değiştirmeye başlamasıyla, insanların toplumsal ve sosyolojik yapısı da dönüşmeye başlamıştır. Bu çalışma, kentsel yenileme sürecinde meydana gelen değişimlerin neden olduğu toplumsal ve mekânsal etkilerin, kent sisteminin sosyal anlamını içeren, kentte yaşayan insanların davranış biçimlerini ve alışkanlıklarını bir bütün olarak ele alabilen, Bourdieu’nun ortaya atmış olduğu “habitus” kavramı üzerinden incelenmesini, aynı zamanda yapı çevre ve toplumsal diyalektiği temsil eden habitusun değerlendirilmesini amaçlamıştır. Bu kapsamda, yapı çevrenin yarattığı etkilerin mekânsal ve toplumsal anlamlarıyla irdelenmesi, hem fiziksel hem de sosyal sürdürülebilirliğin sağlanması açısından önemli olarak görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Kentsel yenileme, Habitus, Yer duygusu, Kentsel peyzaj, Yer

Evaluation of Urban Landscape on the Concept of “Habitus” As Part of Urban Renewal

ABSTRACT

The period from the 1950s to the present is stated as a period in which capitalism changes with new forms of production, thus the importance of urban renewal-oriented research grows. The effects that occur due to global changes have largely been reflected in modern people, the city, and public life. Throughout this process, the changes consisted in urban space have affected both the physical and social dimensions. The social and sociological structure of people has also started to transform, especially as the urban landscape that created the public space begins to change the cities. This study examines the changes in the urban renewal process that are caused by social and spatial effects through the concept of “habitus” by Bourdieu, which includes the social meaning of the city system, and which can handle the behaviors and habits of the people living in the city as a whole. It aimed to evaluate the habitus by associating the sense of place through the physical and social dimension. In this context, scrutinizing the impacts of the built environment with spatial and social meaning has been seen as important in terms of ensuring both physical and social sustainability.

Keywords: Urban renewal, Habitus, Sense of place, Urban landscape, Place

I. GİRİŞ

İçinde yaşadığımız yerleşimlerin çoğunda, insan etkisi ve doğal süreçlere bağlı olarak bazı değişim ve yenilenmeler söz konusu olmaktadır. İnsanoğlunun var oluşundan bugüne kadar, doğayı kendi istekleri doğrultusunda yönetmesi, bununla birlikte sosyal, politik, kültürel ve ekonomik etkilerin ortaya çıkması, bilinçsiz bir biçimde kentsel mekânlar yaratmaktadır. Bu durum kentlerin niteliklerinde farklı değişimlere neden olmaktadır. Bu noktada, kentlerin zaman içerisinde toplumsal, fiziksel, sosyo-kültürel veya ideolojik açılardan değişime uğramaları değiştirilemez bir gerçekliktir. Çeşitliliğin ve değişimin artmasıyla birlikte, kentler yapısı ve şekli ile farklılaşmıştır. Bu süreç boyunca iş gücü ve üretimdeki değişimler, yeni teknolojiler, ulaşım, bilgi ve iletişimde meydana gelen gelişmeler, küreselleşme ve kapitalizmin getirmiş olduğu yenileme kararları kamusal alanlara yansyarak, yeni biçimlenmeye başlayan kent parçalarını oluşturmuştur [1]. Kentler, sürekli olarak değişim gösteren dinamik yapılardır ve bu kentsel dinamikler değişik biçimlerde ortaya çıkabilmektedir. Diğer yünden, dinamiklerin en yoğun etkileri fiziksel çevre üzerinde etkisini göstermekte, bu noktada “kentsel peyzaj” çok katmanlı, karmaşık ve gündelik yaşantısı ile kentsel mekân oluşturma aracı olarak önem kazanmaktadır [2].

Buna ek olarak, bir diğer problem, yenileme süreci boyunca kentin dinamik bir biçimde işleyişi, toplumun belleğini zayıflatmaktadır. Çünkü meydanlar, sokaklar, açık alanlar değişmekte, açıkça tanımlanabilecek veya hatırlanabilecek bir durumdan uzaklaşmaktadır. Bu noktada, kamusal alanların aşınmasından dolayı, insanlar o yer’e ait hissedememektedir. Kentsel yenileme, özellikle insan ve yapı çevre arasındaki ilişkiyi etkilemekte ve zaman zaman “yer” ile kurulan bağları ortadan kaldırmaktadır. Yer duygusu, mekânsal yaşantı sürecinde ortaya çıkabilen değerlerin bir sonucudur. Aydın [3], yer duygusunun insanın mekân içindeki etkileşimi ile meydana geldiğini ifade etmektedir. Yer duygusunun en iyi hissedildiği mekânlar, kültürel değerlerin ön planda olduğu ve geleneksel özellikler taşıyan alanlardır. Bu mekânlar iyi olma duygusu ile desteklenmektedir. Böyle bir etkileşim sonucunda ise yere özgü bir değer içeren ve yaşanan çevre ile sürekli iletişime olanak tanıyan “habitus” oluşmaktadır [4].

Kentsel peyzajın yaratmış olduğu mekânlar, dinamik, karmaşık ve heterojen ortamlardır. Bu mekânlar, bireylerin birlikte yaşama içgüdülerini ortaya çıkaran alanlar olarak tarif edilmektedir. Aynı zamanda, kentsel peyzajın, yapı ve doğal çevrenin birleşiminden oluşmaktadır. Çetinkaya [5], küresel düzeyde hızlı kentleşme faaliyetleri sonucunda çarpık kentleşme gibi bazı problemlerin ortaya çıktığını vurgulamaktadır. Bu da zaman zaman yer duygusu üzerindeki etkilerin zayıflamasına neden olmaktadır. Araştırmanın ana odağında, kentsel yenileme sürecinde hem toplumun hem de kentsel mekânın bir arada ele alınarak tartışılması ve yer duygusu (*sense of place*) hissini Pierre Bourdieu’nun ortaya atmış olduğu “habitus” kavramı ile sağlanması yer almaktadır. İlk olarak, kentsel yenileme ve habitus kavramlarına yönelik literatür taramaları yapılmış olup, yenileme sürecinin kentsel peyzaj üzerinde yarattığı mekânsal ve toplumsal etkiler ortaya çıkarılmıştır. Ayrıca mekânsal ve toplumsal bağın yeniden nasıl ve hangi yolla kurulabileceği tartışılmıştır. Bu kapsamda, kentsel yenilemenin kentsel peyzaj ile ilişkisi, aynı zamanda yenileme sürecinde toplumsal ve mekânsal yapının habitus’a etkileri araştırılmıştır. Buna bağlı olarak, yapı çevre ve toplumsal diyalektiği temsil eden habitus, yer duygusu ile ilişkilendirilerek fiziksel ve sosyal boyut üzerinden irdelenmesine yönelik yapılan açıklamalar da çalışmada yer almaktadır. Bu noktada, habitus kavramı, kentsel yenileme kapsamında “yere ait olma” durumu ile birlikte tartışılmıştır. Sonuç olarak, habitus kavramının, bu süreçte kentsel peyzaj üzerinde potansiyel oluşturabileceği düşünülmüştür. Habitus kavramı üzerinden, yer’in pratik ve alışkanlık anlayışının yaratılmasının, toplumun o yere ait hissetmesi adına önemli olması düşünülmektedir. Bu şekilde, kentsel peyzajın özellikle yeniyi üreten haliyle özgürleştirici potansiyellerin ortaya çıkarılması önem kazanmaktadır.

II. KENTSEL YENİLEME KAVRAMI VE TARİHSEL SÜREÇTE DEĞİŞEN MEKÂNSAL MÜDAHALELERİ

Yenileme kavramına bakıldığında, fiziksel ve yapısal bir değişimden bahsetmek mümkündür. Kentsel yenileme kavramı, farklı disiplinlere göre değişik biçimlerde tanımlanmaktadır. Bu tanımlar, amaç, yöntem ve stratejilere göre değişiklik göstermektedir. Roberts ve Sykes [6]'a göre, kentsel yenileme, yitirilen ekonominin yeniden canlandırılması, toplumsal işlevlerin yeniden işler hale getirilmesi ve çevresel niteliklerinin geliştirilmesi ile fiziksel, sosyal ve ekolojik dengenin yeniden kurulmasıdır. Diğer yandan, kentsel yenilemenin bazı mekânlarda olumsuz sonuçlara neden olduğuna dair açıklamalar da mevcuttur. Engels [7], kentsel yenileme uygulamalarını, periferik alanlara yoksulluğun taşınması olarak nitelendirmekte olup, tam anlamıyla çözülemeyen ve yeniden bir sorun oluşturabilecek bir yöntem olduğunu ifade etmektedir [7].

Küreselleşme, kent nüfusundaki sürekli artış, göç hareketleri kentsel yenileme uygulamalarına yön vermiştir. Özellikle, küreselleşmeye bağlı kent ekonomisinin canlanması ve tüketim kalıplarının değişime uğraması sonucunda yenileme daha da ön plana çıkmaya başlamıştır. Buradan yol çıkılarak, kentsel yenilemenin amaçları önem kazanmıştır. Robert ve Sykes [6] kentsel yenilemenin amaçlarını şu şekilde sıralamaktadır: kentlerin fiziksel ve sosyal problemleri arasında bir bağ kurulması, kentsel dokuyu meydana getiren öğelerin fiziksel, ekonomik, sosyal ve altyapısal değişim ihtiyaçlarına cevap verebilmesi, ekonomik kalkınmasının sağlanması, ekonomik canlılığının yeniden ortaya çıkabilmesine yardımcı olacak stratejilerin geliştirilmesi, böylece çevresel niteliğin ve yaşam kalitesinin artırılması, kentsel yayılımı önlemek için çözüm önerilerinin geliştirilmesi ve son olarak kentsel politikaların toplumsal ve politik güçler aracılığıyla şekillendirilmesidir.

Kentsel yenileme kavramının Dünya'da ve Türkiye'de ortaya çıkış sürecine bakıldığında ise farklı dönemlere göre farklı uygulamaların ve politikaların ortaya çıktığını görmek mümkündür. Dünya'da kentsel yenileme 19.yy'daki Endüstri Devrimi ile hız kazanmış, 20.yy'da nüfus artışları ve küreselleşmenin etkisiyle boyut değiştirmiştir. 1800'lü yıllardan 1945'li yıllara kadar uzanan süreç kentsel yenileme olarak ifade edilmiştir [8]. Bu dönemde ilk yenileme projeleri kamusal alanlara yönelik olmuş ve kentler yeni bir kimlik kazanmaya başlamıştır. Örneğin, 19.yy'ın sonlarında doğanın kente kazandırılması amacıyla Park Hareketi başlatılmış, kent merkezlerinde bulvar ve caddelerin genişletilmesine yönelik politikalar uygulanmıştır, buna bağlı olarak, "Liverpool'da Birkenhead Parkı, Londra'da Victoria Parkı ve New York'ta Central Park" yapılmıştır [8]. 1910 yılında Kuzey Amerika'da "Güzel Kent Hareketi"nin gelişmesiyle kamusal kullanımlar daha çok cadde ve bulvarlara cephe verecek biçimde tasarlanarak kent merkezleri yenilenmiştir [9]. Bahçekent Hareketi ile nüfusun daha dengeli biçimde gelişmesi amaçlanmış, işsizlik içinde gömülen mekânların kurtarılmasına yönelik Londra'da kendi kendine yetebilen kentlerin oluşturulması hedeflenmiştir [10]. Modern kent planlanmasının bir örneği, Le Corbusier'in 1920'li yıllarda, Paris'te gerçekleştirdiği modern ilkelere göre planladığı ve mevcut kent dokusuna karşı çıkan "İdeal Kent" önerisidir. Le Corbusier'in İdeal Kent için önerdiği kent modeli, yüksek katlı yapılar ve yeşil alanların doğrusal biçimde yerleştirilmesini içermektedir [11]. Güzel Kent Hareketi'nden sonra Modernist Hareket ile birlikte, kentler yeniden yapılanma sürecine girmiş, özellikle Avrupa'da kentsel yenileme yöntemi ön plana çıkmıştır [10]. Avrupa daha çok rasyonel bir planlama benimserken, Amerika Birleşik Devletleri hızlı ve denetimsiz planlama ile karşı karşıya gelmiştir [12]. Postmodernizm döneminde ise, sosyokültürel değişimler ön plana çıkmış, kent mekânları tamamen yeni bir kimliğe bürünmüş, kent merkezlerinin çevreleri önem kazanmış ve aynı zamanda merkezi yönetimler yaşam kalitesi düşük mahalleleri iyileştirilmiştir [13]. Küresel yapılandırma sürecine girildiğinde ise, kentsel ve sosyal yapıda değişimlerin başladığı, kentlerin değişimine yön verecek yeni yaklaşımların ve yeni araçlar uygulandığı bir dönem olmuştur [13]. Özellikle 1980'li yıllardan itibaren siyasal, kültürel ve ekonomik boyutta meydana gelen değişimler, kentlerin dönüşümünü büyük oranda etkilemiş, buna bağlı olarak geniş kapsamlı bir planlama anlayışı ortaya çıkmıştır. Bu dönemde, kentsel yeniden yapılandırma yöntemi kentsel yenileme uygulamalarının büyük bir bölümünü kapsamaktadır. Bu yöntemin temel odağında, işlevini yitirmiş, sağlıksız ve kullanılmayan mekânlarda ekonomik canlılığın yeniden işler hale getirilmesidir [14]. Yine bu dönemde, Avrupa

Konseyi'nin oluşturduğu “Kentsel Yenileme (*Urban Renewal*)” adlı kampanya, içeriğinde yıkıp yeniden yapma olduğundan dolayı, “Kentsel Rönesans (*Urban Renaissance*)” olarak değiştirilmiştir [14].

1990'lı yıllar ise kentsel mekânların toplumsal ve çevresel boyutlarının ön planda olduğu dönem olmuş, sürdürülebilirlik anlayışının nasıl olması gerektiğine ilişkin düşünceler ortaya atılmıştır. Buna bağlı olarak, Avrupa’da yönetilmesi uygun bulunan “derişik kent (*compact city*)” kavramının geliştirilmesi planlanmış, bu planlama ile kentsel çevrenin canlandırılması, sürdürülebilirliğin sağlanması, ekonomik, toplumsal ve çevresel kaynakların etkin biçimde değerlendirilmesi gibi temel politikalar benimsenmiştir [15]. Aynı dönemde, Avrupa Birliği Komisyonu (CEC) tarafından kent çevresi ile ilişkili “Yeşil Rapor” hazırlanmış, rapora göre, şehrsel yayılımın engellenmesi, şehir alanlarının yeniden canlandırılması, şehrsel tasarımın belirlenmesi gibi bazı ilkeler belirlenmiştir [13]. Buna ek olarak, 1992 yılında kabul edilen Avrupa Kentsel Şartı (*European Urban Charter*) ile tarihi dokularda yeni gelişmelerin yakalanması, kimliğin ve kültürel mirasın korunarak geleceğe aktarılması hedeflenmiştir [16]. Duisburg Nord’da Emscher Park Projesi, tarihi ve kültürel mirasın ön planda tutulduğu projeler arasındadır [14]. 2000’li yıllardan itibaren, çoğu kentsel yenileme projesi amaçlarına göre değişiklik göstermeye başlamıştır. Örneğin, Manchester’da bulunan “Salford Quays Canlandırma Projesi”, çevresel iyileştirme, kentsel canlandırma ve fiziksel ıslah gibi amaçları ön plana çıkarırken, Newcastle’daki “Cruddas Park” toplumsal ve ekonomik refahı ön planda tutmuştur [15]. Kentsel canlandırma projeleri, bu anlamda hem turizmin canlandırılması hem de kent imajını ortaya çıkarmak adına etkili bir süreçtir (Şekil 1).

<p>Modernizm Öncesi ve Modernizm Sürecinde Kentlerin Değişimi</p>	<ul style="list-style-type: none"> • İlk kentsel yenileme projeleri-kentlerin yeni bir kimlik kazanması • 19.yy’ın ikinci yarısında kente doğayı getirme + Park Hareketi • 1850-1860: Baron Haussmann-Paris + İngiltere: clearance (işçi sınıfı mahalleler) • 1910-Kuzey Amerika’da Güzel Kent Hareketi • Bahçekent Hareketi - Nüfusu dengeli bir biçimde yaymak, işsizlik içine gömülmekte olan bölgeleri kurtarmak için Londra’nın çevresinde, kendine yeterli küçük kentler kurmayı amaçlamak (Garden City) • 1920: modernist imaj yönelimli modern şehirlerin planlanması • 1930: tarihi miras bölgelerinin ele alınması • 1940-1950: sosyal konut programları-kentsel rehabilitasyon • Modernist Hareket-sağlıklı çevreler üretmek-kentlerin yeniden yapılanma süreci (Avrupa-urban reconstruction)
<p>Postmodernizm Sürecinde Kentlerin Değişimi</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Sosyokültürel değişimleri içine alan ve yapılan devrimlerin çoğunun yok oluşu • Kentsel mekanların bütünüyle yeni bir yapıya dönüşmesi • Kent merkezlerinin çevreleri ve kenar mahalleler önem kazanmaya başlamış ve merkezi yönetimin etkisiyle yoksul mahallelerin iyileştirilmesi ve yenilenmesi: toplumsal sorun ve alan odaklı • 1960’lı yıllarda sağlıklaştırma –iyileştirme –yenileme yaklaşımı • 1969-Konut Hareketi (İngiltere-ilk konut politikası) • 1970: özel sektör-kamu sektörü işbirliği
<p>Küresel Yapılandırma Sürecinde Kentlerin Değişimi</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Kentsel yapıda ve sosyal yapıda değişimler; Kentlerin değişimini yönlendirecek yeni yaklaşımlar ve yeni araçlar • 1980’li yıllar ve sonrasında geniş kapsamlı bir planlama anlayışı • Kentsel yeniden yapılandırma yöntemi dönemin en belirleyici özelliği • Avrupa Konseyi tarafından “Kentsel Yenileme” adlı bir kampanya başlatılmış ancak içeriğinde yıkıp yeniden yapmak olduğundan dolayı “Kentsel Rönesans” olarak değiştirilmiştir. • 1990: parçacı planlama anlayışı-kentsel tasarım araçları kullanılıyor. • 1990: Yeşil Rapor (Avrupa Birliği Komisyonu)-şehrsel yayılımı engellemek + şehir alanlarının yeniden canlandırılması • 1992: Avrupa Kentsel Şartı-tarihi dokularda yeni gelişmelerin yakalanması hedeflenmiş, kimliğin ve kültürel mirasın korunarak geleceğe aktarılması

Şekil 1. Yenilemenin değişen mekânsal politikaları ve müdahaleleri (Yazarlar tarafından oluşturulmuştur).

Türkiye’deki kentsel yenileme kavramı, Batı kentlerinde yaşanan yenilemelerden farklı olduğu kadar zaman zaman benzerlikler de göstermektedir. Ülkenin içinde bulunduğu siyasi, ekonomik durumlar veya kentlerin toplumsal, mekânsal, kültürel yapısı yenileme sürecini farklı yönlerde etkilemektedir. Türkiye’nin içinde bulunduğu kentsel yenileme olgusu, farklı dönemleri içinde barındıran, yönetim, kentsel makroform ve peyzaj etkenlerine bağlı olarak şekillenmektedir [17]. Ataöv ve Osmay [17]’a göre, Türkiye’de yenileme uygulamaları, kentlerin anlık ihtiyaçlarının karşılanmasına yönelik ve daha parçacıl projelerin uygulanmasına dayanarak gerçekleştirilmektedir. Kentsel politikaların anlık çözümler üretmesi, bu anlamda kentlerin hızla çöküntüye uğramasına neden olmaktadır. Aynı zamanda kentlerde yaratılan eşitsiz gelişmeler ile toplumun kent mekânlarından dışlanması, sınıf farklılıklarını arttırmakta, düzenli planlanmadan çok kentleri çöküntü sürecine itmektedir [18].

Türkiye’de üç önemli kentsel yenileme dönemi bulunmaktadır. 1950 ve 1980 yılları arası hızlı kentleşme dönemini ifade etmektedir. Bu dönemde, gecekondular oluşmaya başlamış ve sosyal altyapıda bazı problemler meydana gelmiştir [17]. Buna bağlı olarak sağlıksız kentleşmenin başladığı yıllardır. Kırsal alanlarda yer alan gecekondular, kent merkezleriyle bütünleşme sırasında sorunlu bir görünüm haline dönüşmüştür [19]. Bu süreçte, tarihsel ve kültürel değerler tahrip olmuş, yoğunluk artışına bağlı olarak yeşil alanlar azalmış ve sosyal altyapı da yetersiz kalmaya başlamıştır. 1980’li yıllarda göç ve ekonomik büyümenin etkisiyle merkezî bir planlama yaklaşımı ve bütüncül bir planlama sistemi etkili olmuştur. 1980 ve 2000 yılları arası ruhsatlı ve ruhsatsız yapılaşmanın ön plana çıktığı dönemdir [18]. Bu dönem aralığında ekonomi dışı açılmaya başlamış ve mekânsal anlamda değişkenlikler ortaya çıkmıştır. 1980’li yıllar sonrasında iki önemli eğilim meydana gelmiştir. Bunlar, merkezdeki iş alanlarının artış göstermesi, bir diğeri ise kent gelişiminin merkez dışına yayılmasıdır [20]. 2000’li yıllara doğru gidildikçe, bu gelişmelerin yeteri kadar hayata geçirilemediği ve etkin biçimde kullanılmadığı görülmektedir. Bunun sebebi ise, kentsel planlama sisteminin kurumsal açıdan eksik ve yetersiz olmasıdır. Özellikle, sürdürülebilir yaklaşımdaki ve kaynaklardaki eksiklikler, dönüşümde sorunlara neden olmaya devam etmektedir. Aynı zamanda, bu müdahaleler, kentsel makroformun da değişkenlik göstermesine neden olmuştur. İlk olarak, çok merkezli metropoliten kentleşme olgusu ortaya çıkmış ve yasalar doğrultusunda ruhsat dışı yapılaşma serbest hale gelmiştir [18]. Yasalara ek olarak, uluslararası düzeyde bazı anlaşmalar yapılmış olup, 1996 yılında “HABITAT II Konferansı”nda, Türkiye Ulusal Raporu ve Eylem Planı” hazırlanmıştır [21]. Bu raporda oluşturulan ilkeler daha çok sürdürülebilirlik ve insan merkezli gelişimleri içermektedir. 2000’li yıllar ve sonrası dönemde, stratejik planlama yaklaşımı yaygınlaşmaya başlamıştır [17]. Daha çok piyasa işleyişinin olduğu, halkın taleplerinin ikinci plana atıldığı bir süreç olmakla birlikte, kent parçaları sınırlara kadar büyüme göstermiş, böylece kentsel sağlıklaştırma ve kentsel peyzaj dokusunun yenilenmesine yönelik neoliberal politikalar belirlenmiştir. İlk dönem ile karşılaştırıldığında, özellikle 2000’li yıllar, kentlerin büyük oranda değiştiği yıllardır ve bu dönemlerde dönüşümün üç farklı uygulaması ortaya çıkmıştır: kentsel iyileştirme, kentsel yapılandırma ve soylulaştırma [20]. Kentsel yenileme uygulamasında, kentlerin ana arterleri boyunca uzanan gecekondular mahalleleri yıkılırken ve ruhsatsız yapılaşmaya son verilirken, üst gelir gruplarının artışıyla beraber kentler yapılandırılmıştır [19].

III. “HABİTUS” KAVRAMININ ACILIMI

Habitus kavramını, semantik bakış açısıyla tanımlamak mümkündür. Habitus, kendini geçmiş tecrübeler ve gelecek eylemler arasında zihinsel bir kanal olarak gösterir [22]. Sosyolojik anlamda, Pierre Bourdieu’nun habitus kavramı, insanların belirli kültürler içinde oluşturdukları ve yaşamlarının bir parçası haline dönüşen bilgi birikimleri ve alışkanlıklar bütünü olarak ifade edilmektedir [4]. Aynı zamanda, algı şeması, davranış/eylem, yatkınlıklar bütünü, kavramsal yapılar ve pratik inanış anlamlarında da kullanılmaktadır [23]. Diğer bir deyişle, habitus, belirli zaman ve koşullarda toplumsal deneyimlerimizin bir sonucu olarak ortaya çıkmasının yanı sıra, aslında zihnimizde taşıdığımız olguların da eğilimlerini ifade etmektedir [24]. Bu yüzden hem bilişsel hem de güdüsel bir mekanizma olarak adlandırılmaktadır. Pratik sınıflandırma sistemlerini meydana getiren habitus hem teorik hem pratiktir [23]. Buna ek olarak, habitus, bireysel ve kolektif bir tarihle de ilişkilendirilmektedir, çünkü geçmiş tecrübeler bu kavram için önemlidir. Habitus, hem geçmişten kazanılan yapısalcı davranışları ele

alırken, aynı zamanda geçmiş zamandan elde edilen bilgilerle ileride karşılaşılabilecek durumlar için hazırlıklıdır [25]. Bourdieu [4] bu durumu şu şekilde açıklamaktadır: Habitus, tarihin bir parçasıdır ve tarih içinde üretilen şemalara uygun hem kolektif hem de bireysel pratikleri içermektedir. Bu bağlamda, Bourdieu'nun habitus kavramı, geçmiş, şimdi ve geleceği kapsayan, bireysel veya kolektif olabilen, geçmiş deneyimlere yön verebilen çok boyutlu bir süreç ve bir tarih üretimidir.

Habitus kavramı, Pierre Bourdieu'nun yanı sıra Edward Casey ve Edmund Husserl tarafından da “yer duygusu ve yere ait olmak” anlamında ifade edilmektedir. Casey [26], yer'i ve toplumu bir arada nasıl ele alabiliriz sorusuna cevap arar, bu bağlamda yer ve birey arasındaki durumun, üçüncü bir kavram tarafından ele alınmasını savunur. Bu olguları bir araya getirebilen kavramı, habitus kavramı ile ilişkilendirir. Habitus kavramı, yalnızca bedensel anlamda değil, kültürel, sosyal, zihinsel ve duygusal anlamda da önemlidir [27]. Bourdieu'nun habitus kavramı, Casey için, doğa-kültür, bilinç-beden, kısıtlama-özgürlük, hafıza-hayal gücü arasındaki durumların daha da ötesi olduğudur [26]. Edward Casey [26], bu aradalık durumunu “yerleşme (*habitation*)” ve “yer duygusu (*sense of place*)” olarak ifade etmektedir, çünkü habitus, hem fiziksel hem de sosyal mekânın üreticisi konumundadır. Sosyal mekânın habitusu değiştiğinde, fiziksel mekânda bu süreç içinde dönüşür [22]. Bu yüzden, değişen ve dönüşen her mekân, habitusun yapısını da etkilemektedir [28]. Buna ek olarak, Edmund Husserl, habitus kavramını, “yaşayan bir deneyim (*a lived experience*)” olarak görürken, aynı zamanda tarih ve toplum olmadan bu habitusun kurulamayacağını belirtmektedir [26]. Edward Soja [29] ise, habitusu “yer-dünyası (*place-world*)” olarak tanımlamaktadır. Bu bağlamda habitus, aktif, sosyal, mekânsal ve tarihsel anlamda yaşanabilir olma durumuna işaret etmektedir [29]. Savage [32], habitusu kent sosyolojisinin içinde yer alan teorik-ampirik ve fiziksel-kültürel mantıkları arasındaki zıtlıkları aşan, bununla birlikte kent sosyolojisine bağlı olarak hem bütünleştirici hem de yenileştirici bir bakış açısı ortaya koyan bir model olarak ifade etmektedir. Bu noktada, habitus, hem bireysel hem de kolektif bir tarih ile iç içedir [25]. Habitus, hem bireyi şekillendirdiği, hem de bireyin eylemleri tarafından şekillendirilen karşılıklı durumunu ifade etmektedir (Şekil 2) [30].



Şekil 2. Habitus kavramının insan ve çevre arasında kurulan varoluşsal ilişkisi (Yazarlar tarafından oluşturulmuştur).

Habitus kent açısından irdelendiğinde ise herkesin ait olduğu açık bir kültür olarak tarif edilmektedir [9]. Bu noktada, kent de habitusun bir parçası haline gelmektedir. Zamana bağlı olarak gelişen habitus, insanın fiziksel ve sosyal yerleşim alanı haline dönüşmektedir. Kent, insanın kültürel ve tarihsel gelişimlerine bağlı olarak gelişim göstermektedir. Diğer bir deyişle, kent ve insan birbirleriyle doğrudan bağlantılıdır, bu da habitusu meydana getirmektedir [31]. Habitus, kendimizi eski zamanların yaşantılarını bir şekilde duyumsayarak, köklü hissetmemize olanak sağlamaktadır, ki bu da habitusun oluşturmaktadır [4]. Bu anlamda, habitus kentsel mekânlarla kurulan güçlü ilişkilere bağlı olmakta ve zaman boyunca oluşan deneyimlerin bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. Erzen [31], “*kentin fiziksel yapısı; biçim, yoğunluk ve kütle bakımından önemli bir role sahiptir. Bugün kent dönüşümlerinin kentin neredeyse her alanında geliştirdiği devasa yapılar, öylesine statik bir duvar oluşturmaktadır ki, kentin akışkan ve değişken zaman-mekânı durağan bir hale getirmektedir*” şeklinde bu duruma örnek vermektedir. Bu noktada, insanlar, alışkanlık ve pratik kazandıkları mekânlardan uzaklaşmakta, insanın

kendine özgü kentsel mekânlarını hayal edebilmesi veya hayal kurabilmesi zorlaşmaktadır, bu da habitusun dönüşmesine neden olmakta ve giderek bireyler o mekâna yabancılaşmaya başlamaktadır [31]. Bourdieu [25] için mekân sosyal, fiziki ve kültürel açıdan bir bütündür. Mekân içinde toplumu barındıran, toplumun mekânı, mekânın toplumu yeniden ürettiği bir sistemdir [24]. Kentin fiziksel özellikleri, anlamsal etkisi, kullanımı ve bireylerin üzerindeki yaşanmışlık, habitusun oluşumuna yardımcı olmaktadır.

Bu çalışma, kentsel yenileme sürecinde, kentsel peyzaj üzerindeki değişimleri Pierre Bourdieu kavramıyla okuma çalışmasıdır. Aynı zamanda, kentsel yenileme konusuna Bourdieu'nun kavramıyla bakmak, kentsel yenilemenin mekânsal yönünün yanı sıra kültürel ve sosyal değerler üzerindeki etkisini de ortaya çıkartacaktır. Diğer taraftan kent kimliği, sosyal yapı gibi bazı toplumsal taraflardan da konunun incelenmesi önem taşımaktadır. Bourdieu'nun kullandığı habitus kavramı, kentsel sistemin sosyal ve fiziksel anlamını, kentte yaşayan insanların alışkanlıklarını, davranışlarını ve bir bütün içinde oluşturdukları bir alanı ifade etmektedir [30].

A. YENİLEME SÜRECİNE BAĞLI OLARAK MEKANSAL YAPIDA MEYDANA GELEN DEĞİŞİMLERİN “HABİTUS”A ETKİLERİ

Özellikle, 21.yüzyılın başlamasıyla birlikte Endüstri Dönemi'nin getirmiş olduğu olaylar, yeni fiziki ve sosyal yenilemeler neticesinde bazı alternatif yaklaşımlar ortaya çıkmıştır. Oluşturulan bu yaklaşımlar, habitus üzerinde bazı değişimlere neden olmuştur. Kentsel yenilemenin yer aldığı kamusal alanlar, fiziksel planlama stratejilerini takip etmiş, aynı zamanda toplum bilincini geliştirmek ve kullanıcıların erişimine yönelik çalışmalar üretilmek istenmiştir, ancak çok başarılı olunamamıştır [37]. Peyzaj Şehirciliği (*urban landscape*) yaklaşımı bunlardan bir tanesidir. Peyzaj Şehirciliği teorisi, kentin gelenekselliğinin dışında peyzaja müdahale eden ve yenilenmekte olan kentlerin biçimlenişinde, “*kenti bütünsel bir peyzaj*” olarak öngören bir durumdur [38]. Peyzaj Şehirciliği teorisine, örnek olarak, kentsel yenileme sürecine ilk tanıklık eden Park de la Villette Competition, OMA/Rem Koolhaas; bir diğer proje olarak The High Line, James Corner yer almaktadır [39]. Paris'te yer alan “Park de la Villette” projesi yenileme öncesinde ulusal et pazarı ve mezbaha olarak işlev görmüş bir alan olarak tasarlanmıştır (Şekil 3). Şehrin en büyük kesimhanelerinden biri olan mekân iki kanalı da içerdiği için, tasarımda dinamiklerini korumuştur [40]. Bir yarışma sonucu oluşturulan proje Bernard Tschumi tarafından tasarlanarak, bölgenin hem ekonomik hem kültürel anlamda geliştirilmesi hedeflenmiştir.



(a)

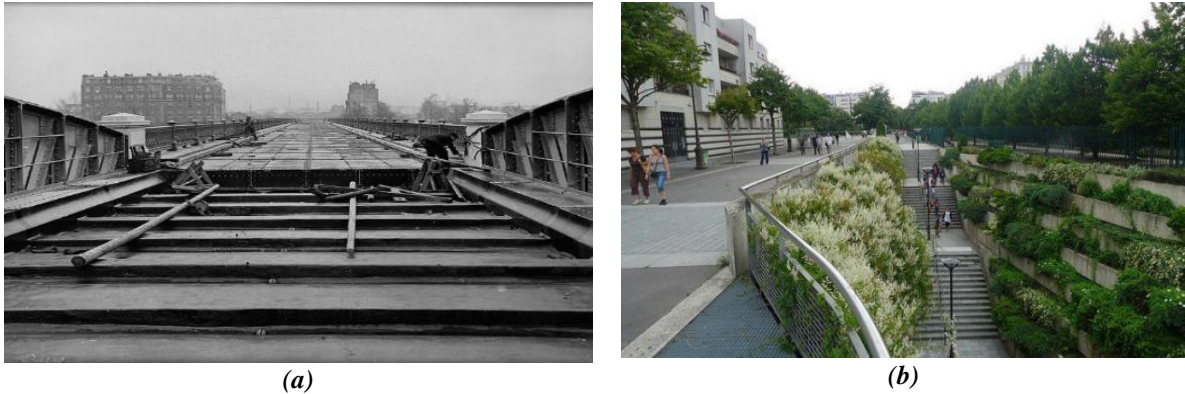


(b)

Şekil 3. (a) Kentsel yenileme öncesi Park de la Villette (b) Kentsel yenileme sonrası Park de la Villette [40].

Bir diğer kentsel yenilemenin peyzaja yansımış olduğu proje “High Line Park” projesidir. James Corner ve Field Operations iş birliğiyle tasarlanan proje peyzaj şehirciliği kuramının temel projelerinden birisidir [39]. High Line, 1930'lu yılların başında New York'un taşımacılık altyapısına kapsamlı bir yatırım çerçevesinde inşa edilen, kentin Batı Yakası'ndaki depo ve fabrikalara hizmet vermesi için planlanan demiryolu hattına verilen bir isimdir [35]. Tasarlanan projede, temel fikir, yerden yüksek alanda üretilen doğanın korunması ve tasarımın gelişimine yöneliktir. Buna ek olarak, eko-kentsellik

(*Eco-urbanity*) yaklaşımı, ekolojik anlamda, kentlere ve peyzaja yeni bir anlam katarak, doğaya saygılı tasarımlar üreterek, kentsel yenileme sürecinde kente yeni bir boyut kazandırmayı hedeflemiştir [41]. Eko-kentsellik teorisi, kentsel yenileme süreci boyunca tasarlanan projelerde, ekolojik sürdürülebilirliğin sağlanabilmesini amaçlamaktadır [42]. Böylece, nüfus artışının dengede tutulabildiği, doğal kaynakların korunabildiği ve çevre kirliliğinin olabildiğince azaltıldığı bir sistem oluşturulmaktadır. Eko-kentselliğin en iyi örneklerinden birisi ise, Fransa’da yer alan “Promenade Plantee” projesidir (Şekil 4). Proje, High Line Park örneğinde olduğu gibi, eski demiryolunun altyapısını barındırmakta olup, bitkisel unsurlarla yaratılmış ve kullanıcıların hareketine yönelik tasarlanmıştır. Çoğunlukla ağaç ve bitki gruplarını barındırdığından dolayı, kent iklimine etki ederek kent ekolojisine önemli ölçüde katkı sağlamaktadır. Her iki projede de kullanıcıların dikkatini çekmek için çeşitli kokulara ve renklere ağırlık verilmiştir [43], bu da var olan habitusu geliştirmekte ve değiştirmektedir. Kentsel peyzaj üzerindeki fiziksel yoğunluk; kokular, renkler, biçimler, ışık ve gölgeyi içeren gündelik gözlemlere ve duygusal, yaratıcı dinamikleri içeren yaşamsal durumlara dayanmaktadır, bu da habitusun oluşmasına yardımcı olmaktadır [44]. Bu bağlamda, duygular ve hisler harekete geçer [44]. Bu temaslar kentsel aktivitelerin daha kapsamlı bir şekilde ele alınmasını sağlar. Gündelik yaşam içerisinde renklerin, izlerin, ve seslerin yere olan ilişkisini betimlemek, yere ait olmayı güçlendirmektedir. Görmenin dışında, ses bir mekânın imgesini oluştururken, koklama duyusu ise yerin hatırlanması için belirleyici bir role sahiptir [45]. Pallasmaa ve Holl [44] bu durumu, “*herhangi bir mekânın en kalıcı anısı çoğu zaman kokusudur*” şeklinde ifade etmektedir. Bu algılama sürecinin sonucunda edinilen deneyimler ve bilgiler depolanmakta, buna bağlı olarak aynı yer özelliğine sahip alanlarda bu bilgi birikimleri doğrudan kullanılabilir [45]. Yani, koku beyine ulaştığında, deneyim tarafından kazanılan kriterlere bağlı olarak bu koku daha sonradan tekrar hatırlanabilir [44]. Bu yüzden, bu deneyimler genel anlamda geçmişe bir referans oluşturur, bu da kamusal alanları özel kılar.



Şekil 4. (a) Kentsel yenileme öncesi Promenade Plantee (b) Kentsel yenileme sonrası Promenade Plantee [41].

Nan Ellin [46] tarafından ortaya çıkarılan ve post-modern kent yapısı içerisinde yeni arayışları inceleyen “Integral Urbanism” yaklaşımı da habitusun değişiminde büyük bir rol oynamaktadır. Yaklaşımın amaçladığı, yenileme süreci boyunca akış ve sürekliliğin yakalanmasıdır [46]. Ellin [46] çalışmasında, mekânların bir akışa ve pratiğe sahip olmasının, insanların hareketini büyük oranda etkilediğini, birçok alternatifini içerdiğinden dolayı değişimlere imkân tanıdığını vurgulamaktadır. Bu yaklaşım biçimleri kente yeniden bakılması ve buna bağlı olarak kentsel peyzajın değişim ve yenilenme sürecinde yeniden değerlendirilmesi ile gerçekleşmektedir [35]. Bu noktada, habitus, pratiğin oluşmasına yardımcı olmak için bir takım zihinsel ve toplumsal yapılar arasında benzerlikleri ele almakta, buna bağlı olarak hem insanların sosyal boyutunun inşası hem de bireylerin içinde hareket edebildikleri ve deneyim kazandıkları belirleyici bir toplumsal evrenin oluşumuna yardımcı olmaktadır [47]. Dikkol [48] bu durumu şu şekilde ifade etmektedir: insanlar kentsel doku içerisinde nasıl davranacaklarını veya nasıl hareket edeceklerini bilirler, bu yüzden yapılan her hareket için bir düşünme pratiğine gerek duymazlar [48]. İçselleştirdikleri şemaları devreye sokarak bir “yatkinlik” sergilemiş olurlar [48]. Bu ifade, habitusun zihinsel boyutuna ilişkin bir açımda bulunmaktadır. Bourdieu [25] için, habitus, “*kültürel bilinçdışı*”, “*zihinsel alışkanlık*”, “*zihinsel ve bedensel algı*” gibi ifadeler ile tanımlanmaktadır, diğer

bir ifadeyle habitusun beden ve akıl ile iç içedir [4]. Bu olgular, çevrenin mekânsal alışkanlığını ortaya çıkartan, yani habitusu oluşturmaya yardımcı olan etkenlerdir.

Kentsel peyzaj üzerinde belleğe hitap eden olguların, beden hareketi ve insanın çevresi arasında oluşan ilişkiye dayanması gerekmektedir [49]. Çevresel algı üzerinde çalışmaları bulunan Downs ve Stea [50]; kentsel mekânlardan alınan bilgilerin hatırlanma sürecini, bilgilerin depolanmasını ve korunan bilgilerin çözülmesini, algılama ile ilişkilendirmektedir. Kentler zaman içinde değişen ve yenilenen, değişirken de geçmişin deneyimlerini hafızaya alan toplumsal yaşamı meydana getirmektedir [51]. Bu noktada, Aldo Rossi [52], şehrin kendisinin orada yaşayan insanların kolektif hafızasını ortaya çıkardığını vurgulamaktadır. Habitus, bu noktada devreye girmekte ve şehrin tarihi ile iç içe olan, zaman içinde yerin anlamını, ruhunu oluşturan bir duruma dönüşmektedir [52]. Burada önemli olan çok katmanlı yapı içerisindeki parçaların kendine özgü bir ilişki zinciri olduğunu bilmek ve bu kendine özgü sürekliliğinin önemini farkedebilmektir. Yenileme alanlarında mekânsal yapının habitusa olan etkileri incelendiğinde, kentlerin fiziksel anlamda önemli noktalara taşındığı görülmektedir. Metropollerde oluşan dinamikler, kamusal alanları hızlı değişimlere uğratmakta ve yeni durumlara olanak sağlıyor hale getirmektedir [53]. Diğer yönden, değişim ve yenileme sürecinde kentsel peyzajın gelişimine yönelik yapılan iyi projelerin yanı sıra yeniden yapılandırma ve sıhhileştirme ile kentsel peyzajın farklı biçimlerde tasarlanması ve kentin doğasına uymayan tasarımların yapılmaya başlandığı da görülmektedir [34]. Bu durum, kentlerde çöküntü mekânlar oluşturmada, var olan habitusun zaman zaman zarar görmesine neden olmaktadır [34]. Avrupa’da bu konunun çözümüne ilişkin bazı çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bunlardan biri, 1998 yılında, İskoçya’nın, sosyal ve toplumsal dışlanmaya yönelik problemlerin farkına vararak, bu noktada “Sosyal Bütünleşme Ortaklığı” kurmasıdır [54]. Ortaklığın amacı, toplumsal bütünleşmeyi sağlamak için, var olan programların boşluklarını gidermektir [54].

1980’li yıllardan günümüze kadar yenileme sürecinde kentler fiziksel anlamda önemli noktalara taşınmıştır. Metropollerde oluşan dinamikler, kamusal mekânları hızlı değişimlere uğratmış ve yeni durumlara olanak sağlıyor hale getirmiştir. Diğer yönden, değişim ve yenileme sürecinde yer alan tüm aktörlerin dengelerinin de bu dönemde hassaslaştığını söylemek mümkündür. Yenileme süreciyle başlayan yeniden yapılandırma ve sıhhileştirme ile kentsel peyzajın doğal olmayan bir yapıyla tasarlanması ve kentin doğasına uymayan tasarımlar yapılmaya başlanmasıyla, kentlerde çöküntü mekânları oluşmaya başlamıştır, bu da var olan habitusun zaman zaman zarar görmesine neden olmaktadır. Soja [55], bu fiziksel değişim ve yenilenmenin habitusa etkisini şu şekilde vurgulamaktadır: *“Belki her zamankinden daha çok, sürekli yer ve mekân, alanlar ve bölgeler, çevreler ve yaşam alanları üreten kolektif aktiviteler ile kendimizin doğal olarak mekânla ilişkilenen varlıklar olduğumuzun farkındayız. Bu mekânsallıklar üreten süreç, insanın kendini yapılandırması ve sunması ile karmaşık çevre ile ilişkilenen beden ile başlıyor. Bir taraftan bizim düşüncelerimiz ve hareketlerimiz çevremizi biçimlendiriyor”*. Soja [55] bu durumu sosyal teoriden alıntılı olarak “insani mekânsallık (*human spatiality*)” olarak tanımlamakta, insani mekânsallığın, hem insan hem de çevresel strüktürlerin bir arada ele alındığı bir ürün olduğunu savunmaktadır [55]. Bu bağlamda, yapılanmakta ve yenilenmekte olan çevre hem toplumu hem de mekânı bir arada değiştirmektedir. Özellikle, bu durum, kentsel peyzaj üzerinden ele alınacak olursa, peyzajın çok katmanlı, şimdiki zaman ve geçmiş zaman arasında bağ kurabilen, buna ek olarak ülkesel, bölgesel ve yerel ölçeklerde bir kimliğe sahip olan bir olgunun, zaman içinde değişim gösterdiği ve göstermeye devam ettiği açıktır [35]. Bu durumun en iyi göstergesi ise, fordist ve post-fordist dönemde, kent yaşamının makineleşmesi ve kentin kendisinin kentsel peyzajın içerisinde çözülmeye başlamasıdır [35]. Corner [39], kentsel peyzajı yalnızca pastoral bir manzara yada doğa olarak değil, daha katmanlı, açık bir sistem ve daha zengin bir kentsel bakış olarak peyzajı ifade etmektedir. Günümüze baktığımızda ise, kentsel peyzaj sürekli değişim biçiminde ve devingen bir araç olarak programlamaya açık tariflenmektedir.

Son yıllarda, fiziksel çevrenin kentsel anlamdaki dönüşümleri bireylerin ve mekânların habituslarında da büyük değişimlere sebep olmaktadır. Kentsel yenilemeden etkilenen kamusal alanlar, örneğin kent ortasında yer alan ve insana yön veren açıklıkların ve aksların yok olmasına neden olan ve kentin bütünü düşünülmeden, bir bariyer gibi dikilen yapılar, kentsel peyzajın düzenini bozmaktadır [31]. Aynı zamanda, insanı yönlendiren, insanın görsel dünyasını zenginleştiren niteliklerin kaybolmaya başlaması, habitusun da değişim geçirmesine neden olmaktadır. Bu anlamda kentsel peyzajın yenilenen mekânlar

içerisinde düşünülmesi gereklidir. Örneğin, Gezi Parkı içinde yer alan eylemler, farklı yaş gruplarının bir araya gelerek yarattıkları atmosfer ve insanların kentsel doku içerisinde anlam dolu olan bedenleri ile bir arada bulunmaları “*kentsel peyzajı sosyal bir sanata*” dönüştürmektedir [31]. Ancak Gezi Parkı’nın günümüzde yaşadığı dönüşümler, parkın var olan mekânsal habitusunu da değiştirmektedir. Buna ek olarak, habitus kavramının oluşmadığı durumlarda ise, tasarım ne kadar iyi olursa olsun, kent içindeki açıklıkların sınırlar oluşturması, kullanıcıların bedensel anlamda alışkanlıklarını yerine getirememesi, özgürlük hissini ortadan kaldırmakta ve yere ait hissetme duygusu yitirilmektedir [51]. Zamanla bütünleşmiş olan ve gündelik yaşantının bir parçası haline gelen kentsel peyzaj kavramı, kentlerin neredeyse hemen hemen her alanını kapsayan devasa yapılardan dolayı, kentin akışkanlığı içinde kaybolmakta ve durağan bir hale gelmektedir, ki bu da estetik olgusunu yok etmektedir [31]. Örneğin, “*50 katlı bir binada oturan insanlar sokakla kentle az ilişki içindedirler ve çevreye ancak yukarıdan görsel bir ilişki ile bağlıdırlar*” [31]. Bu bağlamda, insanların alışmış oldukları kamusal alanların yenilenmesi, değiştirilmesi veya yok edilmesi, yerin habitusunu da dönüştürmektedir.

B. YENİLEME SÜRECİNE BAĞLI OLARAK TOPLUMSAL YAPIDA MEYDANA GELEN DEĞİŞİMLERİN “HABİTUS”A ETKİLERİ

Kentsel yenileme süreci, kentsel alanların yenilenmesi ve değiştirilmesiyle birlikte, kentin sadece mekânsal boyutunu değil, toplumsal boyutunu da dönüştürmektedir. Bu değişim süreci boyunca fiziksel yapılanmaya maruz kalan kentli, sosyal ve psikolojik anlamda da büyük oranda etkilenmektedir. Özellikle, fiziksel değişim içinde yer alan kentsel peyzaj, kent bütününe hizmet ettiğinden dolayı, toplumun sosyolojik anlamdaki ihtiyaçlarını karşılamakta ve bu anlamda değişim sürecinde, kentsel peyzajın bu yönüne ağırlık verilmesi gerekmektedir. Çünkü kentsel peyzaj, toplumun aidiyet duygusunu ön plana çıkarmakta, aynı zamanda çevresiyle de bir bağ kurmasına olanak sağlamaktadır, bu da doğrudan mekân tasarımıyla ilişkilidir [56]. Sosyolojik ve mekânsal boyuttaki dengenin sağlanabilmesinde peyzaj tasarımlarının önemi büyüktür, çünkü peyzaj insan-doğa, yapılı-doğal çevre, mekân-estetik-insan arasındaki dengenin sağlayabilen bir yaklaşıma sahiptir [39].

Yenileme alanlarında toplumsal yapının habitusa olan etkileri incelendiğinde, aslında gündelik yaşamın ve sürdürülebilir bir toplum yaratabilmenin önemine bakmak gerekmektedir. Öncelikli olarak, küreselleşme ile birlikte kentlerin tüketim mekânlarına dönüşmeleri, toplumun gündelik yaşamlarının da değişmesiyle doğru orantılıdır [57]. Gündelik hayat kavramı, sıradan olmasının yanı sıra çok yönlüdür çünkü gündelik hayat Lefebvre [57] için “*ekonomik, psikolojik ve sosyolojiktir (...) beslenmedir, giyinmedir, eşyadır, barınmadır, komşuluktur, çevredir*”. Bu bağlamda, gündelik hayat, hem kentsel yaşama hem de kentsel mekâna entegredir, bu yüzden kentsel yenileme sürecinde büyük oranda etkilenmektedir. Kentsel mekân üretimleri, bu anlamda gündelik hayatın sınırlarını ve içeriğini, diğer bir ifadeyle habitusunu belirlemektedir. Kentsel yenileme uygulamalarının başlamasıyla birlikte, gündelik yaşantıda kopmalar, sosyal etkileşimde sürekliliğin zarar görmesine neden olmaktadır [57]. Özellikle kentsel peyzaj alanlarındaki parçalanmalar ve yere ait kimliklerin yok oluşu, insanların en çok vakit geçirdiği alanlardan ve birlikte çeşitli üretimler oluşturdukları mekânlardan uzaklaştırmaya teşvik etmektedir [58]. Bu durum, kentin ortak kamusal benliğinin diğer bir ifadeyle habitusunun değişmesine işaret etmektedir [58]. Burada kentsel peyzaj ve habitus arasındaki bağa bakmak önemlidir. Whyte [34] bu bağı şu şekilde ifade etmektedir: Kentsel peyzajın oluşumu, insanların çevreleriyle etkileşimine, aynı zamanda yer ve tarihi bağlama dayanmaktadır. Bunun yanı sıra yaş, etnik kökenler, sosyo-ekonomik yapı, ırk vb. değişkenler de bu oluşumu etkilemektedir. Peyzaja ilişkin tüm görüşler toplum içinde yer alan farklı gruplar tarafından tartışılmaktadır.

Kentsel peyzaj ve toplumsal davranış arasındaki ilişkiye bakıldığında ise, kentin bütününe oluşturan birbirinden ayrılmaz unsurlar olduğu ve birbirleri üzerinde değiştirici ve dönüştürücü birçok etkinin bulunduğu açıktır. Bir kentin yapılanma sürecinde, kimlik ve geçmiş birbiriyle bağlantılıdır [59]. Bu noktada, yaşanılan ortam ve toplumun bu yaşanılan ortam içerisinde göstermiş olduğu davranışlar da birbirleriyle etkileşim içindedir. Yaşanılan ortam davranışları belirlerken, toplum da aynı zamanda mekânı şekillendirmektedir [60]. Bu da habitusunun şekillenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Buna ek olarak, yaşanılan ortam, habitusunun sosyal bileşenlerini oluşturarak yer duygusunu ortaya

çıkarmaktadır. Herhangi bir hareket ile insanların bir yerden bir yere taşınması, insanların yer değiştirmesi, değiş tokuş yapması, farklı yerler arasında ilişkiler oluşturması o yerin habitusunu da dönüştürmektedir [51]. Bu noktada sosyal iletişimin dengede tutulması önemlidir. Belirli bir denge bozulduğunda ya da parçalanmaya yol açacak durumlar geliştiğinde, kentsel mekânların kimliği de değişecek, dahası yok olacaktır. Kentsel yenileme sürecinin başlamasıyla beraber, bu etkileşim de git gide zayıflamaktadır. Kentsel yenileme projelerinin dayanak noktası, çöküntü bölgelerinin temizlenmesi, yıkılarak yeniden yapılandırılması ve yenilenmesidir. Ancak dışarıdan bakıldığında, yapılandırılan mekânların toplum açısından bir hayal şehir olarak görülmesine neden olmaktadır, çünkü toplumun tasarlanan kentsel mekânları ile ekonomik gerçekliğinin birbirini tutmaması, kentin sosyal boyutunu önemli ölçüde etkilemektedir, bu da toplumsal statüyü ve yaşam kalitesini zayıflatmaktadır [53]. Bu bağlamda, yerinden edilme, sosyal dışlanma ve toplumsal/mekânsal ayrışma olmak üzere üç temel sorunun ortaya çıktığı söylenebilir.

Sosyal yapının göz önünde bulundurulmaması, yenilenen alanların toplumsal algıdan ayrı düşünülmesi, bireylerin yerlerinden edilmesine ve bölgelerinden ayrı tutulmalarına neden olmaktadır. Bu noktada habitus değişmektedir. Habitusun oluşmasında önemli bir yere sahip olan aidiyet olgusu, toplumun yaşadığı, vakit geçirdiği yere ait hissetmesi ile gerçekleşen durumdur [61]. Toplum kendini o yerde yabancı ya da yer'siz hissediyorsa, kimliğini oluşturan topluluğa ait olduğu söylenemez. Yer duygusu ve aidiyet durumları, hem bireysel hem de toplumsal kimliğin tanımlanmasında önemlidir, çünkü kentlinin o yere ait hissetmesi, fonksiyonel, duygusal veya kavramsal bir bağ ile oluşabilir [56]. Diğer bir deyişle, kentli, yaşadığı yer ile duygusal bağ kurarak, bir habitus yaratmaktadır. Bu noktada, fiziksel oluşumların yanı sıra, mekânda oluşturdukları sosyal etkileşimler ve deneyimler aidiyet ve kimlik açısından önem taşımaktadır. Chicago, bu duruma çözüm olarak bazı politikalar uygulamayı amaçlamıştır. 1935 yılında Birleşik Devletler Konut Teşkilatı'nın yayınlamış olduğu raporda yerleştirme politikasının nasıl yürütülmesi gerektiğini şu şekilde ifade etmiştir [62]. Rapora göre, otoriteler, yerlerinden olan halkın ihtiyaçlarını göz önünde bulundurarak ve imkânlarına uygun olarak yeni konutlara yerleştirmek için her çeşit çabayı göstermelidir [62]. Bu bağlamda, Chicago'da yayınlanan bu raporun, kentsel yenileme olgusunun neden olduğu bu soruna, somut bir müdahale ve politika olarak ortaya konduğu açıkça görülmektedir. Türkiye'de ise, kentsel yenileme alanlarında yaşanan bu toplumsal soruna hala somut bir öneri getirilememektedir. Yerinden edilen vatandaşlar, bu süreç boyunca barınma sorunları yaşamakta ve diğer üst gelir gruplarına ayak uydurmak zorunda kalmaktadır. Bu noktada yeni kurulan toplumsal ve mekânsal ilişkiler sarsılmakta ve kentsel bütünlük sağlanamamaktadır. Aynı zamanda, bu süreçte insanların yeni kültürleri ve yaşam biçimlerini öğrenmek açısından zorluk çektikleri bilinmektedir.

Kentsel yenilemenin bir diğer önemli toplumsal ve sosyal problemi ise sosyal dışlanma olgusudur [63]. Örneğin, kentsel yenileme sürecinde, gecekondü sahiplerinin yüksek katlı yapılara yerleştirilmesi, orada yaşayan insanlar ve aynı zamanda gecekondü sahipleri arasında çatışmazlıklar yaratmaktadır [19]. Farklılıkların gizlenmeye çalışılması ve insanların birbirinden uzaklaştırılması, kentleri olumsuz yönde etkilemektedir. Birbirlerine yabancılaşan insanlar, giderek birbirlerine karşı kötü hisler beslemekte ve saldırganlaşmaktadır [31]. Bu noktada, habitusun korunabilmesi için, toplumun yerleşik düzeninin göz önünde bulundurulması ve ani değişimlere yönelik çalışmalar yürütülmesi önemlidir. Kentsel yenilemenin yaşandığı alanlar, aynı zamanda kutuplaşmanın olduğu ve mekânsal ayrışmanın meydana geldiği yerlerdir. Soylulaştırma olarak ifade edilen bu alanlar, aslında bu anlamdan uzak bir biçimde tasarlanmaya devam etmektedir. Vatandaşların eski buldukları mekânları terk edip yeni bölgelerde yaşamaya başlamaları, aslında onları kendi toplumlarından koparılmasına ve mekânsal kutuplaşmanın oluşmasına olanak tanımaktadır, bu da bölgeler arası çatışmaya neden olmaktadır [18]. Özellikle, tasarım süresince, herkese açık mekânlar yaratmak ve yenileme alanlarında yaşayan bireylerin tercihlerini ve algılarını hesaba katmak, kentsel peyzaja katkıda bulunurken, toplumsal ayrışmanın da önüne geçecektir. Bu bağlamda, düşünülmesi gereken, fiziksel yapının yanı sıra, sosyal yapının da benimsenmesi gerektiğidir.

VI. SONUÇ YERİNE

Post-endüstriyel dönemin ve 1980'li yıllardan sonra neoliberal politikaların gelişmesiyle beraber, merkezden kopma durumları ortaya çıkmaya başlamıştır. Bu noktada kentler ekonominin gücü haline gelmiştir. Böylece, kentler, küresel ölçekte bir etkiye sahip olabilmek adına diğer kentlerle rekabet haline gelmeye başlamıştır. Kentler arasındaki bu dinamik durum, küresel durumdan etkilenecek, kamusal alan üretimi olarak ortaya çıkan bir yenilenme ve değişim sürecine girmiştir. Bununla beraber, arazilerin bilinçsiz biçimde kullanılmaya başlanması ve kaynakların tahrip edilmesiyle birlikte, kentsel peyzaj üzerindeki eylemler daha da fark edilir olmuştur. Buna ek olarak, neoliberal süreçle başlayan kontrolsüz biçimde artan yapılaşma, özellikle kentsel peyzaj dokusunda hem fiziksel hem de toplumsal açıdan büyük tahribatlara neden olmuştur.

Bu çalışma, kentsel yenileme sürecinde, kentsel peyzajın mekânsal ve toplumsal boyutuna odaklanmaktadır. Mekânsal ve toplumsal yapıda meydana gelen değişimler Pierre Bourdieu'nun ortaya attığı "habitus" kavramı üzerinden irdelenmektedir. Çalışma kapsamında, kentsel yenileme sürecinde habitusun büyük oranda etkilendiği görülmektedir. Buna bağlı olarak kamusal alanların büyük oranda aşınmasından dolayı, insanlar buldukları ve yaşadıkları yer'e ait hissedememeye başlamakta ve yer duygusu hissi zamanla değişebilmektedir. Bu bağlamda, kentsel yenileme süreci bazı durumlarda çözümsüzlük getirmektedir. Örneğin, çöküntü bölgelerinin tamamen yıkılıp yok edilmesi ya da mekânların yok edilerek mekânsal iyileştirme yapılması hala net bir tercih değildir. Bu durumda kentsel peyzaj tasarımlarında yönetimin önemini vurgulanması gerekmektedir. Bu bağlamda kamu sektörü büyük bir rol üstlenmektedir. Bu bağlamda, yaya ulaşımının geliştirilmesi veya iyileştirilmesi, kamusal mekânlarda düzenli bakımların yapılması ve bu alanların kullanımının artırılmasına yönelik yapılacak çalışmalar çöküntü mekânların oluşmasını engelleyebilir. Buna rağmen, günümüzde, toplum ve mekân düşünülmeden, geçici bir çözüm arayışı olarak yenileme uygulamaları gerçekleştirilmektedir. Bu durum da toplum ve mekân arasındaki ilişkiyi zayıflatmakta ve kent sosyal ve fiziksel sürekliliğini yitirmektedir. Böylece, yer duygusu denilen olgu değişim göstermektedir. Bu noktada, yer duygusu sürekliliğinin sağlanmasında, yenilenen mekânların örgütlenmesi, kullanıcı haklarının ve gereksinmelerinin karşılanması gerekmektedir. Örneğin, yenilenen mekânlarda psiko-sosyal (güvenlik, mahremiyet vb.), duyuşsal algıya dayalı (koku, ses, ritim, düzen vb.) veya işlevsel gereksinimlerin (altyapı, yaya dolaşımında süreklilik vb.) sağlanması kullanıcıların o yere ait hissetmesinde önemli faktörler olarak görülebilir.

Çalışmada, toplum ve kentsel mekân arasındaki bağ nasıl ve hangi biçimde yeniden kurulabilir, bu noktada kentsel peyzaj nerededir sorularına cevap aranmıştır. Tam da bu noktada, araştırmanın ana odağı olarak, yenileme süreci içerisinde hem mekânsal hem de toplumsal anlamda ilişki kurabilecek bir kavram ortaya atılmıştır. Pierre Bourdieu tarafından ortaya konan "habitus" kavramı, kentsel peyzajın değişim potansiyeli olarak düşünülmüştür. Habitus, pratik davranış veya alışkanlık olarak da tanımlanabilir. Kentsel mekân ve toplum diyalektiğini oluşturan kavram, yenileme süreci içerisinde yere ait olma durumu ile birlikte tartışılmıştır. Buna ek olarak, kentsel peyzajın habitus kavramı üzerinden ele alınmasına yönelik bir açılım üretilmeye çalışılmıştır. Yapılan çalışmada, habitus kavramının, kentsel yenileme sürecinde kentsel peyzaj üzerinde potansiyel yaratabileceği düşünülmüştür. Habitus kavramı, yer'in pratik ve alışkanlık anlayışının oluşturulmasının, toplumun o yere ait hissetmesi adına önemlidir.

V. KAYNAKLAR

- [1] H. Ç. Keskinok, *Kentleşme Siyasaları*, 1. baskı, İstanbul, Türkiye: Kaynak Yayınları, 2006.
- [2] B. S. Köknar, "Kentsel dönüşüm alanlarında gerçekleştirilen peyzaj tasarımlarının eleştirel teori ile bir okuması," Doktora tezi, *Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye*, 2012.

- [3] S. Aydınli, "Mimarliğı anlama, kaynağa ulaşma ve özü yakalama," *TOL Dergisi*, s. 3, ss. 54-60, 2003.
- [4] P. Bourdieu, *The Logic of Practice*, Cambridge: Polity Press, 1990, pp. 52-65.
- [5] G. Çetinkaya, "Kentsel peyzaj ekolojisinin sürdürülebilirliği için yenilikçi bir yaklaşım: yeşil altyapı ve planlama politikası," *İdealkent*, c. 5, s. 12, ss. 218-245, 2014.
- [6] P. Roberts and H. Sykes, *Urban Regeneration: A Handbook*, 1st ed., London, UK: Sage Publications, 2000, pp. 3-9.
- [7] F. Engels, *Konut Sorunu*, 1. baskı, İstanbul, Türkiye: Alter Yayınları, 2013, s. 79.
- [8] R.T. LeGates and F. Stout, *Modernism and Early Urban Planning: 1870-1940*, 1st ed., New York: Routledge, 1998, pp. 299-313.
- [9] S. Carr, M. Francis, L. Rivlin and M. Stone, *Public Space (Environment and Behavior Series)*, Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1992.
- [10] A. Jacobs and D. Appleyard, "Toward an urban design manifesto," *Journal of the American Planning Association*, vol. 53, no. 4, pp. 112-120, 1987.
- [11] J. Barnett, *An Introduction to Urban Design*, 1st ed., New York, USA: Harpercollins Publishers, 1982.
- [12] D. Harvey, *Postmodernliğin Durumu: Kültürel Değişimin Kökenleri*, 1. baskı, İstanbul, Türkiye: Metis Yayınları, 1996.
- [13] C. Couch, *Urban Renewal: Theory and Practice*, London, UK: Macmillan, 1990.
- [14] M. Akkar, "Kentsel dönüşüm üzerine Batı'daki kavramlar, tanımlar, süreçler ve Türkiye," *Planlama Dergisi*, c. 2, s. 36, ss. 29-38, 2006.
- [15] P. Jeffrey and J. Pounder, *Physical and Environmental Aspects*, New Delhi: Sage Publications, 2000, pp. 86-108.
- [16] European Urban Charter, *Manifesto for A New Urbanity*, Council of Europe Publishing, 1992, pp. 37-57.
- [17] A. Ataöv ve S. Osmay, "Türkiye'de kentsel dönüşüme yöntemsel bir yaklaşım," *METU JFA*, c. 24, s. 2, ss. 57-82, 2007.
- [18] R. Keleş, *Kentleşme Politikası*, 1.baskı, Ankara, Türkiye: İmge Kitabevi, 2006.
- [19] T. Şenyapılı, *Ankara Kentinde Gecekondu Oluşum Süreci ve Ruhsatlı Konut Sunumu*, 1.baskı, Ankara: Batıbirlik Yayınları, 1996.
- [20] S. Osmay, *1923'ten Bugüne Kent Merkezlerinin Dönüşümü: 75 Yılda Köylerden Şehirlere*, 2. baskı, İstanbul, Türkiye: Tarih Vakfı Yayını, 1999, s.147.
- [21] Anonim. (2021, 10 Mayıs). *B.M. İnsan Yerleşimleri Konferansı Habitat II [Çevrimiçi]*. Erişim: <https://webdosya.csb.gov.tr/csb/dokumanlar/mpgm0029.pdf>.
- [22] Ü. Tatlıcan ve G. Çeğin, "Bourdieu ve Giddens: habitus veya yapının ikililiği," *Ocak ve Zanaat: Pierre Bourdieu Derlemesi*, 1. baskı. İstanbul, Türkiye: İletişim Yayınları, 2007, ss. 313-314.
- [23] P. Bourdieu ve L. J. D. Wacquant, *Düşünümsel Bir Antropoloji İçin Cevaplar*, 1. baskı, İstanbul,

Türkiye: İletişim Yayınları, 2003.

[24] L. Wacquant, "Pierre Bourdieu," in *Key Sociological Thinkers*, 1st ed., London, UK: MacMillan Press, 1998, pp. 215-230.

[25] P. Bourdieu, *Le Sens Pratique*, 1st ed., Paris, France: Minuit, 1980.

[26] E. Casey, "Body, self, and landscape: a geophilosophical inquiry into the placeworld," in *Textures of Place: Exploring Humanist Geographies*, NED-New ed., Minneapolis, USA: University of Minnesota Press, 2001, pp. 403-425.

[27] A. Palabıyık, "Pierre Bourdieu sosyolojisinde 'habitus', 'sermaye' ve 'alan' üzerine," *Liberal Düşünce Dergisi*, s. 62, ss. 121-141, 2011.

[28] J. Hillier and E. Rooksby, *Habitus: Sense of Place*, 2nd ed., New York, USA: Ashgate Publishing, 2005, pp. 43-49.

[29] E. Soja, "The socio-spatial dialectics," *Annals of the Association of American Geographers*, vol. 70, no. 2, pp. 207-225, 1980.

[30] P. Bourdieu, "Social space and symbolic space," *Practical Reason: On the Theory of Action*, 1st ed., Stanford, California: Stanford University Press, 1998, pp. 1-13.

[31] J. Erzen, *Üç Habitus: Yeryüzü, Kent, Yapı*, 1. baskı, İstanbul, Türkiye: Yapı Kredi Yayınları, 2015.

[32] M. Savage, "Pierre Bourdieu'nün kayıp kent sosyolojisi," *Cogito Dergisi*, s. 76, ss. 76-107, 2014.

[33] M. E. Barış. (2021, 10 Mayıs). *Planlama ve Kentsel Tasarım: Kentsel Peyzaj [Çevrimiçi]*. Erişim: <http://www.mimarlarodasiankara.org/index.php?Did=7884>.

[34] I. Whyte, *Landscape and History Since 1500*, London, UK: Reaktion Books, 2002.

[35] J. Corner, "Not unlike life itself landscape strategy now," *Harvard Design Magazine*, no. 21, pp. 32-34, 2004.

[36] G. Shane, "The emergence of landscape urbanism: reflections on stalking Detroit," *Harvard Design Magazine*, vol. 19, pp. 1-8, 2003.

[37] D. Artuç, "Kentsel dönüşümün sosyal ve mekânsal etkileri: Fikirtepe dönüşüm alanı," Yüksek Lisans tezi, Mimarlık Anabilim Dalı, Maltepe Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2016.

[38] C. Waldheim, *The Landscape Urbanism Reader*, 1st ed., New York, USA: Princeton Architectural Press, 2006, pp. 35-53.

[39] J. Corner, *Recovering Landscape as a Critical Practice*, 1st ed., New York, USA: Princeton Architectural Press, 1999.

[40] B. Tschumi, *Event-Cities (Praxis)*, 1st ed., Cambridge, MA: The MIT Press, 1996.

[41] R. Register, *EcoCities: Rebuilding Cities in Balance with Nature*, Revised ed., Canada: New Society Publishers, 2006.

[42] N. Tsolakis and L. Anthopoulos, "Eco-cities: an integrated system dynamics framework and a concise research taxonomy," *Sustainable Cities and Society*, vol. 17, pp. 1-14, 2015.



- [43] M. Uysal, "Yeşil dokunun yapma çevre ile bütünleşmesi," Yüksek Lisans tezi, Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2014.
- [44] J. Pallasmaa ve S. Holl, *Tenin Gözleri: Mimarlık ve Duyular*, 1. baskı, İstanbul, Türkiye: Yapı Endüstri Merkezi, 2011, s. 89.
- [45] P. Zumthor, *Thinking Architecture: The Light in the Landscape*, 3rd ed., Basel, Switzerland: Birkhäuser, 2010, pp. 90-93.
- [46] N. Ellin, *Integral Urbanism*, 1st ed., New York, USA: Routledge, 2006.
- [47] P. Bourdieu, *Toplumbilim Sorunları*, 1. baskı, İstanbul, Türkiye: Kesit Yayınları, 1997.
- [48] S. Dikkol, "Conatus'tan habitus'a birey/toplum ve akıl/beden ikiliği aşmaya yönelik bir deneme," *Toplum ve Demokrasi*, c. 10, s. 21, ss. 1-11, 2016.
- [49] M. Merleau-Ponty, *Algının Fenomenolojisi*, 1. baskı, İstanbul, Türkiye: İthaki Yayınları, 2017.
- [50] R. Downs and D. Stea, *Cognitive Maps and Spatial Behaviour: Process and Products*, 1st ed., London: Aldine, 1973, pp. 8-26.
- [51] Ö. Aytaç, "Kent, metropol ve değişen yer/mekân imajları," *Mukaddime*, c. 8, s. 1, ss. 1-23, 2017.
- [52] A. Rossi, *Şehrin Mimarisi*, 1. baskı, İstanbul, Türkiye: Kanat Yayınları, 2006.
- [53] M. Tolanlar, "Kentsel dönüşüm projeleri ve toplumsal yansımaları," Yüksek Lisans tezi, Sosyoloji Anabilim Dalı, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon, Türkiye, 2007.
- [54] Anonymous. (2021, May 10). *Social Inclusion for Urban Regeneration in Scotland* [Online]. Available: <https://app.dundee.ac.uk/geddesinstitute/>
- [55] E. Soja, *Postmetropolis Critical Studies of Cities and Regions*, 2nd ed., Oxford: Blackwall Publishing, 2007.
- [56] C. Norberg-Schulz, *Genius Loci: Towards a Phenomenology of Architecture*, 1st ed., New York, USA: Rizzoli, 1980.
- [57] H. Lefebvre, *Modern Dünyada Gündelik Hayat*, 1. baskı, İstanbul, Türkiye: Metis Yayınları, 1998.
- [58] Z. Bauman, *Küreselleşme-Toplumsal Sonuçları*, 1. baskı, İstanbul, Türkiye: Ayrıntı Yayınları, 1999.
- [59] N. Çizgen, *Kent ve Kültür*, 1. baskı, İstanbul, Türkiye: Yay Sayınları, 1994.
- [60] H. Suher, *Kentleşme ve Kentleşme Politikaları*, 1. baskı, İstanbul: Türkiye Ekonomik Sosyal Siyasal Araştırmalar Vakfı, 1991.
- [61] E. Relph, *Place and Placelessness*, 1st ed., London: Pion Limited, 1976.
- [62] J. Meltzer, "Şehirlerin yeniden geliştirilmesi sırasında yerlerinden çıkarılan ailelerin başka yerlere yerleştirilmesi: Chicago tecrübesi," *Şehir Yenilemesi Sırasında İşbirliği*, 2. baskı. Ankara, Türkiye: Nobel Yayıncılık, 2006, ss. 39-105.
- [63] P. Özden, "Türkiye'deki kentsel dönüşüm politikaları ve uygulamalarına eleştirel bir bakış," *Kentsel Dönüşümde Politika, Mevzuat, Uygulama: Avrupa Deneyimi*, 1. baskı. Ankara, Türkiye: Nobel Yayıncılık, 2010, böl. 3, ss. 194-224.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Model Öngörülü Kontrol ile DA Motor Konum Kontrolü

 Tuğçe YAREN^{a,*},  Selçuk KIZIR^a

^a *Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, TÜRKİYE*

* *Sorumlu yazarın e-posta adresi: tugce.yaren@kocaeli.edu.tr*

DOI: 10.29130/dubited.952453

ÖZ

Bu çalışmada sabit mıknatıslı fırçalı doğru akım (DA) motor sisteminin konum kontrolü için modern kontrol yöntemlerinden model öngörülü kontrolcü tasarımı gerçekleştirilmiş ve önerilen kontrolcü tasarımı farklı testler ile gerçek zamanlı olarak doğrulanmıştır. Ele alınan sistem modeli, sistem tanımlama yöntemlerinden kara kutu modeli yaklaşımı ile elde edilmiştir. Deneysel veri setleri ile elde edilen sistem modeli üzerinden model öngörülü kontrolcü tasarımı geliştirilmiştir. Geliştirilen tasarımcı modeli, Matlab destekli Waijung blok seti ve STM32F4 uygulama geliştirme kiti kullanılarak gerçek zamanlı olarak gerçekleştirilmiştir. Farklı referans girişleri ve parametre değişimleri altında kontrolcü performansı test edilmiştir. Sistem çıkışının tüm referans girişleri başarılı bir şekilde takip etmesi ve değişen sistem parametrelerine rağmen başarısını sürdürmesi önerilen kontrolcü tasarımı doğrulanmıştır. Ayrıca klasik kontrol yaklaşımlarından PID denetleyici ile sonuçlar karşılaştırılarak model öngörülü kontrolcü üstünlüğü deneysel sonuçlarla vurgulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: *DA motor, Model öngörülü kontrol, Sistem tanımlama, STM32F4*

DC Motor Position Control with Model Predictive Control

ABSTRACT

In this study, model predictive controller design that is one of the modern control methods for the position control of permanent magnet brushed direct current motor system, was carried out and the proposed controller design was verified in real-time with different tests. The system model was obtained by using the black box model approach, one of the system identification methods. The model predictive controller design has been developed based on the system model obtained with the experimental data sets. The controller was implemented in real-time using the Matlab-supported Waijung block set and the STM32F4 development kit. The controller performance has been tested under different reference inputs and parameter variations. The system output has successfully followed all reference inputs and maintained its success despite changing system parameters, confirming the proposed controller design. In addition, the results were compared with the PID controller, which is one of the classical control approaches. Model predictive controller advantages over PID controller are demonstrated by experimental results.

Keywords: *DC motor, Model predictive control, System identification, STM32F4*

I. GİRİŞ

Mekatronik sistemlerin kontrolünde kullanılan yöntemler, model tabanlı ve model tabanlı olmayan kontrol yöntemleri olmak üzere iki temel grupta düşünülebilir [1]. Temel ayırım, ele alınan kontrol yapısının sistemin matematiksel modelini içerip içermediğidir. Kontrol yöntemlerinin birbirlerine göre üstünlükleri olması ile birlikte, tasarımcının ihtiyaçlarına ve uygulama çeşidine bağlı olarak tercih edilecek kontrol yöntemi farklılık gösterebilir.

Model öngörülü kontrol (MPC – Model Predictive Control), son yıllarda akademik ve endüstriyel araştırmalar için popüler bir konu haline gelen ve kontrol uygulamalarında sıkça rastlanmaya başlayan model tabanlı modern kontrol yöntemlerindedir. Klasik kontrol yöntemlerine göre farklı bir tasarım süreci mevcuttur. Tasarımcı, denetleyici algoritmasını tasarlarken; tasarım kriterlerine, sistem dinamiklerine ve işleyişine hakim olmalıdır.

MPC çok değişkenli bir kontrol stratejisi olup, klasik kontrol yaklaşımlarından farklı olarak, sistem çıkışının gelecekteki değerleri tasarımcı tarafından öngörülebilmektedir [2]. Ayrıca tasarlanan kontrolcü, süreci önceden belirlenmiş sistem limitleri içinde tutmaya çalışır. Her bir örnekleme zamanında kısıtlı bir optimizasyon problemi çözülerek, gelecekteki kontrol dizisi elde edilir [3]. MPC temelde, her adımda optimal bir kontrol probleminin çözüldüğü bir işleyişe sahiptir.

MPC, 1980'lerden beri kimya fabrikaları ve petrol rafinerileri gibi proses endüstrilerinde kullanılan ve kendini kanıtlamış gelişmiş bir proses kontrol yöntemidir. Bu açıdan akademik araştırmalardan önce MPC, ilk olarak endüstride uygulanmıştır. Seksenlerin ortalarına doğru MPC'ye duyulan akademik ilgi artmaya başlamış ve akademik araştırmalar sonucu MPC özelliklerinin anlaşılmasıyla birlikte, pratik ve teorik uygulamalar için çok güçlü ve önemli bir kontrol tekniği olduğu sonucuna varılmıştır [4,5]. Günümüzde, artan bir hızla, çeşitli alanlarda uygulanmaktadır.

Chai ve arkadaşları, endüstri boyutlarında bir sabit mıknatıslı senkron motorun hız kontrolü için model öngörülü kontrol algoritması geliştirmişler ve geliştirdikleri algoritmayı deneysel olarak test etmişlerdir. Denetleyici, çevrimiçi optimizasyon problemini kısıtları da göz önünde bulundurarak kuadratik programlama prosedürüne göre çözmektedir [6]. Bone ve arkadaşları, ayrık değerli (discrete-valued) model öngörülü denetleyici ile hibrit pnömatik-elektrikli aktüatörlerin konum kontrolünü gerçekleştirmişlerdir. Aktüatör tasarımını ve kontrolünü doğrulamak için tek eklemlili bir robot kol prototipi oluşturmuşlar, bu prototip ile denetleyici performansını doğrulamışlardır [7]. Espinoza, model öngörülü kontrol ile gerçek zamanlı, düşük maliyetli bir akış kontrolü gerçekleştirmiştir. Gerçekleştirilen çalışmada, endüstriyel bir süreçte çalışabilecek düşük maliyetli bir kontrol sisteminin uygulanabilirliği ön plana çıkmaktadır. Kontrolcü performansı analiz edilmiş ve bozucu etki varlığında dahi başarılı performans gözlenmiştir [8]. Bawdaka ve Kaya, DA motor sürücüsü için model öngörülü denetleyici tasarlamışlar ve tasarladıkları denetleyiciyi klasik PI-P denetleyici ile karşılaştırmışlar ve benzetim sonuçlarını sunmuşlardır [3].

Xia ve arkadaşları, fırçasız DA motorunda (BLDC) tork dalgalanmasını azaltmak için yeni bir model öngörülü kontrol yöntemi önermişlerdir [9]. Önerilen yaklaşım komütasyon içermeyen faz akımının tahmin modeline dayanan PWM-MPC algoritmasıdır. PWM-MPC yöntemi, devre topolojisini değiştirmeden akım dalgalanmasını ve tork dalgalanmasını verimli bir şekilde bastırabilmiş; benzetim ve deneysel sonuçlar önerilen algoritmanın verimliliğini doğrulamıştır. Yang ve arkadaşları, DA-DA *buck* dönüştürücü ile çalıştırılan sabit mıknatıslı DA motorların hız regülasyon problemini, bir çıkış geri beslemeli MPC algoritması kullanarak ele almışlardır [10]. Giriş kısıtı olarak doluluk oranı optimizasyon sürecine dahil edilmiş ve kararlı bir hız regülasyonu elde edilmiştir. Abbasi ve Husain, çift asenkron motor sürücüsü için önerdikleri MPC kontrolörü, farklı çalışma koşulları altında doğrudan tork kontrolü (*direct torque control*) ile karşılaştırmışlardır [11]. İki asenkron motorun paralel çalışması için geliştirilmiş bir sonlu kontrol seti tahmini tork kontrolü (FCS-PTC) yöntemi önerilmiştir. Kontrolörün optimizasyon maliyet fonksiyonunun, dengesiz şartlara yol açmadan aynı anda birden fazla amacı karşılayabildiği gösterilmiştir. Doğrudan tork kontrol yöntemi ile karşılaştırıldığında, MPC, daha

düşük tork ve akı dalgalanması, %5 daha düşük akım toplam harmonik bozulması ve parametre değişiminde ihmal edilebilir etki göstermiştir.

DA motorlar avantajlarından dolayı günümüz endüstriyel kontrolün neredeyse tüm alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle robotik uygulamalarında sıklıkla tercih edilmektedir. Dolayısıyla hem akademi hem endüstride DA motorun sık kullanımı ile DA motor kontrolü önemli bir problem haline gelmiştir [12].

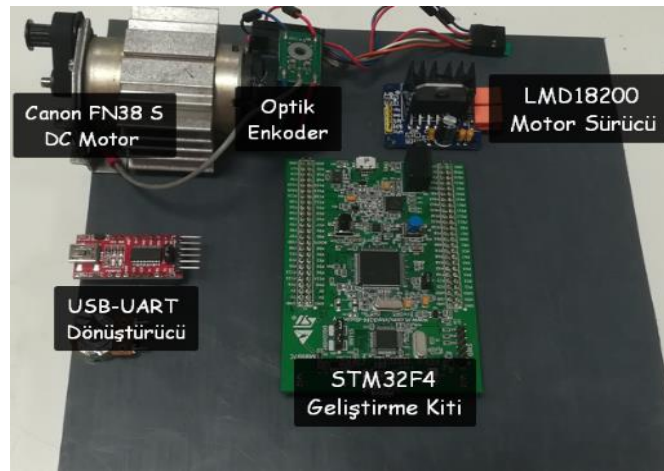
Bu çalışmada DA motor konum kontrolü için kontrol teorisinde önemli bir yere sahip modern kontrol yöntemlerinden biri olan model öngörülü kontrol üzerinde durulmuştur. Model tabanlı kontrol yöntemi için sistem modeli, sistem tanımlama yöntemlerinden kara kutu modeli yaklaşımı ile elde edilmiştir. DA motor konum kontrolünü gerçekleştirmek üzere model öngörülü kontrol modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen model, Matlab destekli Waijung blok seti ve STM32F4 uygulama geliştirme kiti kullanılarak gerçek zamanlı olarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın amacı, model tabanlı modern kontrol yöntemlerinden model öngörülü kontrolün gelişmiş endüstriyel sistemlerde nasıl çalıştığını ve bu denetleyicilerin üstlenebileceği aktif rolü göstermektir. Ayrıca modern kontrol yöntemlerinin kullanımı ile hızlı ve kolay bir şekilde uygulama geliştirilebileceği ve geliştirilen uygulamaların kontrol eğitiminde kolaylıkla kullanılabilmesi de gösterilmektedir. Gelişmiş bir kontrol algoritmasının pratikte kolayca uygulanması ile tahmin öngörülü kontrol yapısının anlaşılabilirliği artırılmıştır. Kontrol teorisinin önemli ve güncel konularından biri olan MPC teori ve deneysel uygulamasının birleştirilmesi gerçekleştirilmiştir.

Gerçekleştirilen çalışma i) sistem tanımlama yaklaşımlarından kara kutu model yaklaşımını ele alarak sistem dinamiğini yüksek oranda yansıtan sistem modeli ile tasarım, ii) tasarlanan kontrol algoritmasının pratiğe dökülmesi ile teorisinin uygulanabilirliği ve geçerliliğinin ispatı, iii) düşük maliyetli ve kolaylıkla kullanılacak STM32F4 geliştirme kiti ve Waijung blok seti ile hızlı ve kolay bir şekilde uygulama geliştirilebileceği ve geliştirilen uygulamaların kontrol eğitiminde kolaylıkla kullanılabilmesini gösterme açısından ön plana çıkmaktadır.

II. MODELLEME VE KONTROL

A. DENEY DÜZENEĞİ

Deneysel çalışmalar, Şekil 1’de görülen deney düzeneği üzerinde gerçek zamanlı olarak test edilmiştir. Deney seti üzerinde 168 PPR dahili enkodere sahip olan Canon FN38 S DA motor, LMD18200 motor sürücüsü, USB-UART dönüştürücü, STM32F4 geliştirme kartı bulunmaktadır.

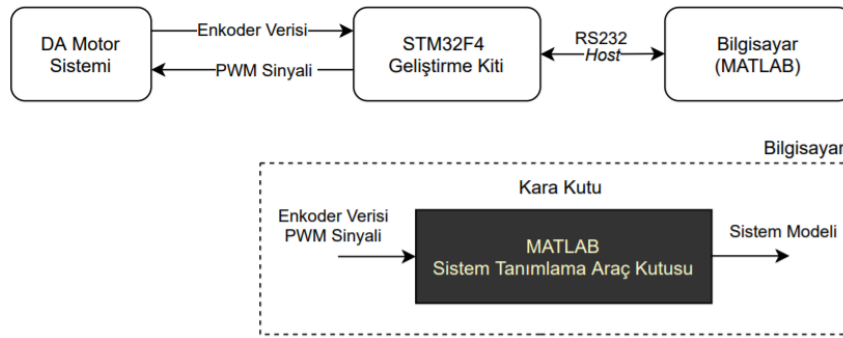


Şekil 1. Deney düzeneği

STM32F4 geliştirme kartı Simulink üzerinden Waijung blok seti ile kullanılmıştır. Waijung blok seti, ARM mimarisine sahip kontrol kartının mimarisi hakkında detaylı bilgi sahibi olmadan Matlab Simulink üzerinden kullanılmasını mümkün kılmaktadır [13]. STM32F4 geliştirme kitinin yüksek performans, gerçek zamanda uygulanabilirlik, uygulamada kolaylık ve düşük maliyet gibi temel özellikleri tercih edilme sebeplerindedir [12].

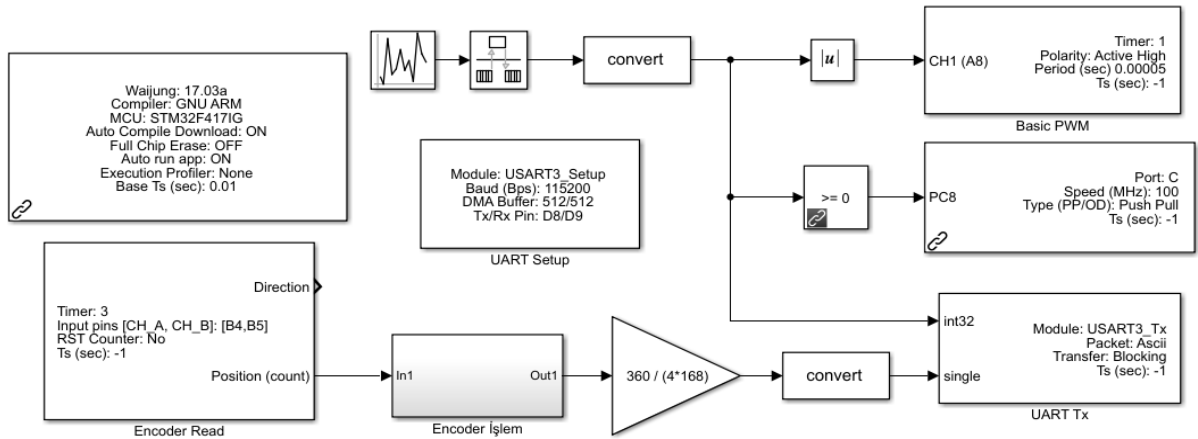
B. SİSTEM TANIMLAMA – KARA KUTU MODEL YAKLAŞIMI

Herhangi bir sistemi tanımlamak için sisteme ait matematiksel modeli üç farklı yöntem ile elde etmek mümkündür. Bu yöntemler: beyaz kutu, gri kutu ve kara kutu modelidir [13]. Beyaz kutu modelinde fiziksel yasalar ve ideal bileşenlerden yararlanılarak matematiksel model elde edilebilir. Gri kutu modeli incelenen model hakkında ön bilginin mevcut olduğu durumlarda kullanılan yaklaşımdır. Bu yaklaşımda sistemin matematiksel modeli çıkarılırken hem fiziksel hem de deneysel verilerden yararlanır. Kara kutu modelinde ise sistem hakkında hiçbir bilgi mevcut değildir, sadece deneysel veriler kullanılır.



Şekil 2. Sistem blok diyagramı

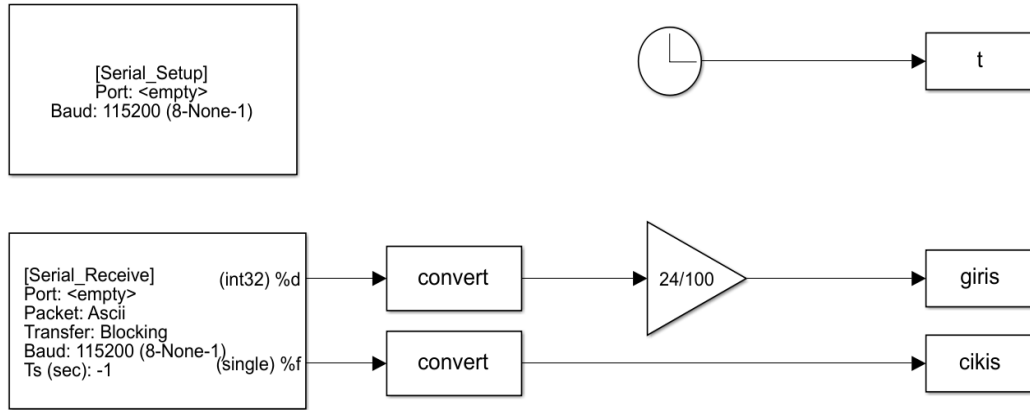
Bu çalışmada, Matlab/System Identification Toolbox (SIT) kullanılarak kara kutu yaklaşımı ile sistemin transfer fonksiyonu elde edilmiştir. Sistemin işleyişi Şekil 2’de verilen blok diyagramında görülmektedir. Deney düzeneği, gerçek zamanlı sistem tanımlaması yapacak şekilde ayarlanmıştır. DA motor, +24 voltluk bir DA güç kaynağı ile çalıştırılır.



Şekil 3. Kara kutu – test modeli

Sistem tanımlamadaki ilk adım, DA motordan veri toplamaktır. Dolayısıyla motor pozisyon ölçümü yapacak, Şekil 3’de görülen Simulink uygulama modeli, derlenerek kite yüklenmiştir. Bu uygulama modelinde STM32F4 kiti, üretilen PWM sinyalini DA motora gönderir; motorun konum bilgisini yakalar ve bunları ana bilgisayara gönderir (Şekil 2). Motor ve ana bilgisayar (host) arasında haberleşme

ise RS232 seri iletişim aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. Gönderilen motor verileri Şekil 4’de görülen host modeli aracılığıyla bilgisayara kaydedilebilir.

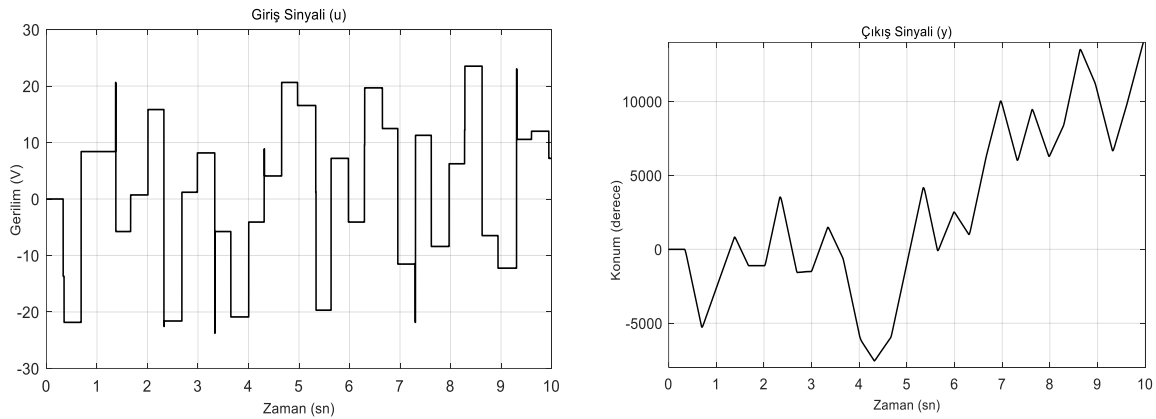


Şekil 4. Kara kutu – host modeli

Bu çalışmada, motordan konum verisi toplamak için sisteme rastgele giriş sinyalleri uygulanmış ve giriş-çıkış sinyalleri, Şekil 3’de görülen “giris” – “cikis” değişkenlerine aktarılarak, bilgisayara kaydedilmiştir. Tasarımcının, yüksek doğruluklu bir sistem tanımlama yapabilmesi için elinde en az 2 veri setinin (giriş-çıkış) olması gerekmektedir. Bir veri seti ile model elde edilirken, diğer veri seti ile elde edilen modelin doğruluğunun test edilmesi gerekmektedir.

Sistemden gerçek zamanlı olarak elde edilen veri seti (giriş-çıkış) Şekil 5’de görülmektedir. Bu veriler SIT aracılığıyla analiz edilerek, DA motor konum transfer fonksiyonu elde edilmiştir. Elde edilen transfer fonksiyonu Eş. 1’de verilmiştir.

$$\frac{\theta(s)}{V(s)} = \frac{6.806 * 10^4}{s^2 + 120.6s + 1.084 * 10^{-4}} \quad (1)$$



Şekil 5. Gerçek zamanlı veri seti (sistem giriş – çıkış)

Kara kutu yönteminin yanı sıra fiziksel yasalar ve ideal bileşenlerden yararlanılarak sistem tanımlaması gerçekleştirilebilir (beyaz kutu). DA motorunun elektriksel ve mekanik yapısı ele alındığında sistem transfer fonksiyonu Eş. 2’de görüldüğü şekilde elde edilir.

$$\frac{\theta(s)}{V(s)} = \frac{K}{s((Js + b)(Ls + R) + K^2)} \quad (2)$$

Tablo 1’de motor kataloğundan elde edilen DA motor parametre değerleri verilmiştir. Eş. 2’de motor parametre değerleri yerine yazılarak deney setinde kullanılan motorun konum transfer fonksiyonu elde edilmiştir (Eş. 3).

Tablo 1. Motor parametreleri

Parametre	Değeri	Birimi
Rotor Direnci (R)	5	(ohm)
Rotor Endüktansı (L)	2.9e-3	(H)
Rotor Atalet Momenti (J)	32e-7	(kgm ²)
Viskoz Sönümlenme (b)	0	(Nm.s)
Motor Tork Sabiti (K_t)	33.8e-3	(Nm/A)
Zıt Emk Sabiti (K_e)	33.8e-3	(V/rad/sn)

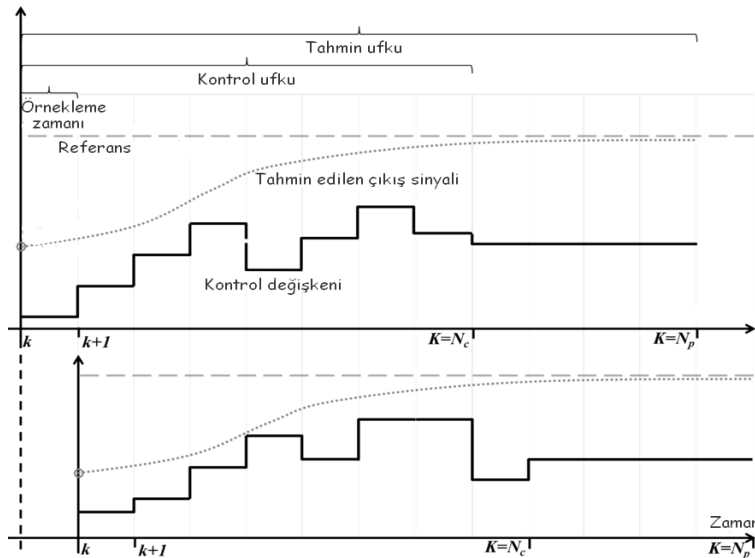
$$\frac{\theta(s)}{V(s)} = \frac{0.0338}{9.28e - 09s^3 + 1.6e - 05s^2 + 0.001142s} \quad (3)$$

Eş. 3 elde edilirken sadece fiziksel yasalarından yararlanılmıştır. Yapılacak motor kontrol uygulamalarının performansı, elde edilen modelin gerçek zamanlı sisteme ne kadar yaklaştığına bağlıdır [10]. Kara kutu yönteminde, farklı tasarım kriterlerine bağlı olarak birden fazla modelin elde edilmesi mümkündür. Bu çalışmada 2 kutup – 0 sifıra sahip bir transfer fonksiyonu elde edilerek gerçek sisteme olabildiğinde yakın bir matematiksel model elde edilmiştir.

C. MODEL ÖNGÖRÜLÜ KONTROL

Dinamik bir optimizasyon problemi olarak formüle edilen optimal kontrol problemi, bir kez çözülen bir optimizasyon problemidir [14]. Dezavantajı, bozucu etki meydana gelir veya referans sinyalde herhangi bir değişiklik meydana gelirse, kontrolör bunların etkisine göre güncellenemez. Dolayısıyla gerekli performansı sağlayamayabilir. Gerçek zamanlı uygulamalarda, bozucu etkiler her zaman sistemde mevcuttur ve sistemi herhangi bir zamanda etkileyebilirler.

Optimum kontrol girişini bir sonraki örnekleme zamanına kadar uygulayıp, ardından optimum çözümü her örnekleme zamanında yeniden hesaplayıp sisteme uygulama, bahsedilen dezavantaj durumunu ortadan kaldıracaktır. Bu yapı ise kayan ufuk stratejisi (sliding horizon strategy) ile elde edilmektedir [3].



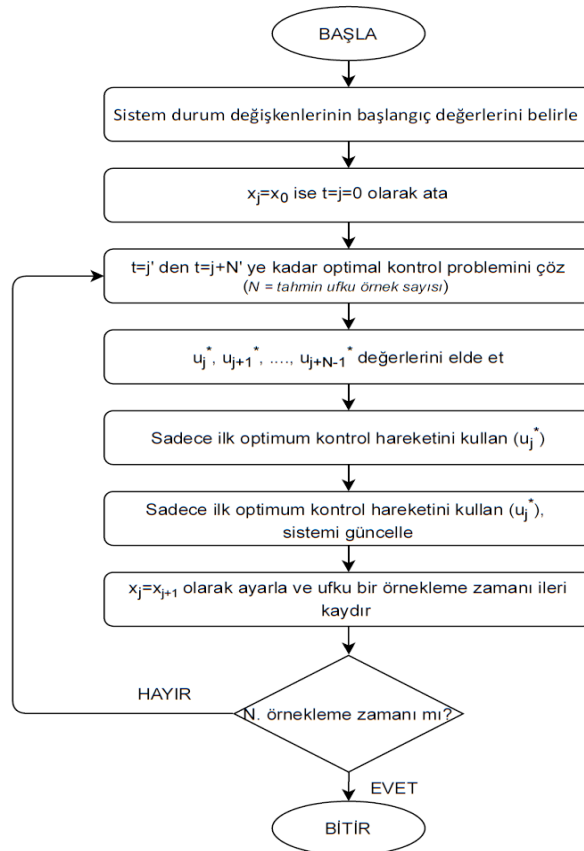
Şekil 6. Kayan ufuk stratejisi [15]

Kayan ufuk stratejisine (Şekil 6) sahip optimal kontrolör, MPC yapısını oluşturmaktadır. Kayan ufuk stratejisiyle, her örnekleme zamanında yeni bir optimal kontrol problemi çözülür. Örneğin, verilen herhangi bir zamanda $t = 0$, optimal kontrol problemi N sayıda optimal kontrol eylemi elde etmek için çözülür ($u_0^*, u_1^*, \dots, u_{N-1}^*$). Ancak elde edilen tüm N sayıdaki kontrol eylemini tüm ufka (N adet örnekleme zamanı) uygulamak yerine, yalnızca ilk kontrol eylemi (u_0^*) uygulanır ve ufuk, bir örnekleme zamanı kaydırılır.

Bir örnekleme zamanı kaydırıldıktan sonra ($t = 1$), sisteme bozucu etki girişi olduğunu varsayalım. Sistemin dinamik davranışı değişecektir. Bu durumda $t = 1$ 'de tamamen yeni bir optimal kontrol problemi üretilir. Yeni oluşturulan kontrol problemi, sistemde oluşan bu değişiklikleri içerecektir. Yeni optimal kontrol problemi ile kontrolör, güncellenmiş optimal kontrol problemini çözerek yeni bir optimum kontrol girişi seti hesaplayacaktır ($u_1^*, u_2^*, \dots, u_N^*$). Bir kez daha, bir örnekleme zamanı ileri kaydırmak için sisteme yalnızca ilk kontrol girişi (u_1^*) uygulanır. Bu süreç her örnekleme zamanında tekrarlanır.

Sistemde herhangi bir değişiklik meydana gelmesi bu “en yeni / güncellenmiş” durumları değiştirdiyse, yeni bir optimal kontrol problemi formüle edilirken bu etki hesaba katılır ve kontrolör, bunu işlemek için yeni bir optimum kontrol hareketi seti oluşturur. Bu, optimal kontrolöre geri bildirim sağlar.

Herhangi bir zamanda bir optimal kontrol problemi oluşturulurken ve çözülürken, örneğin $t = j$ olsun, gelecekteki referans değerleri ($r_{j+1}, r_{j+2}, \dots, r_{j+N}$) ve gelecekteki bilinen bozucu değerleri de ($w_j, w_{j+1}, \dots, w_{j+N-1}$) probleme dahildir. Kontrolör, bu değişkenlerin gelecekte ne olacağına dair önceden bilgiye sahip olduğundan bu durum, optimal denetleyiciye ileri besleme özelliği sağlar. Böylece sistemde değişiklik meydana geldiğinde, sistem çıkışı etkilenmeden önce kontrolör uygun şekilde tepki verebilir.



Şekil 7. MPC akış diyagramı

Sistemin gelecekte nasıl davrandığını tahmin etmek için tahmin ufkundaki her örnekleme zamanındaki sistem durum değişkenlerinin başlangıç (veya mevcut) değeri bilinmelidir. MPC' nin temel işleyiş algoritması özet şeklinde Şekil 7'de verilmiştir.

III. BULGULAR

MPC tasarım parametreleri aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- Örnekleme zamanı
- Tahmin ufku (prediction horizon)
- Kontrol ufku (control horizon)
- Kısıtlar (constraints)
- Ağırlıklar (weights)

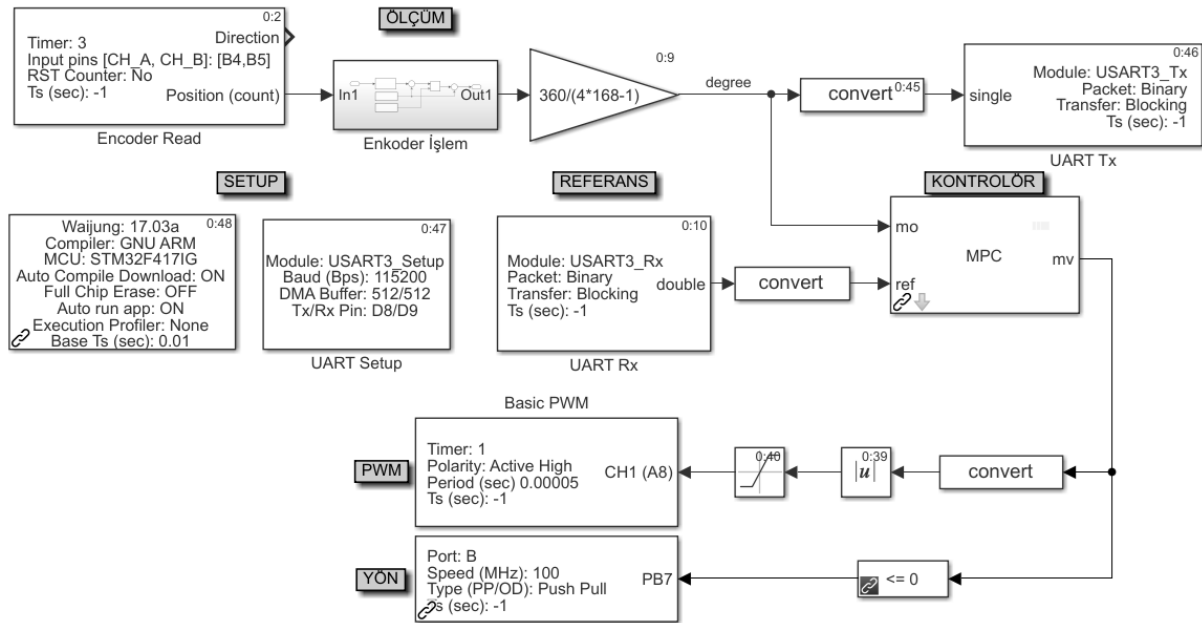
Tasarım sürecinde bu parametrelerin uygun şekilde seçimi kontrolör performansının ve MPC algoritmasının hesapsal karmaşıklığının üzerinde önemli etkiye sahiptir.

MPC denetleyiciye ait standart quadratik maliyet fonksiyon denklemi, Eş. 4'de verilmiştir.

$$J = \sum_{i=1}^{N_p} \|y(k+i|k) - r(k+i|k)\|_Q^2 + \sum_{i=0}^{N_c-1} \|\Delta u(k+i|k)\|_R^2 \quad (4)$$

N_p , tahmin ufkunu; N_c , kontrol ufkunu temsil etmektedir. Ayrıca; y , r ve u sırasıyla, öngörülen çıkışı, referans girişi ve gelecekteki kontrol hareketleri dizisini ifade etmektedir.

Denetleyici tasarımında, Matlab MPC araç kutusundan faydalanılmıştır. Araç kutusu MPC yöntemi ile denetleyici tasarlayabilmek ve simüle edebilmek için tasarımcılara; fonksiyon, Simulink blokları ve bir arayüz sunmaktadır. Arayüzde denetleyici için tüm tasarım parametreleri ve sistem modeli belirlenebilmektedir. Ayrıca, kapalı çevrim simülasyonları çalıştırılarak, denetleyici performansı değerlendirilebilmektedir.

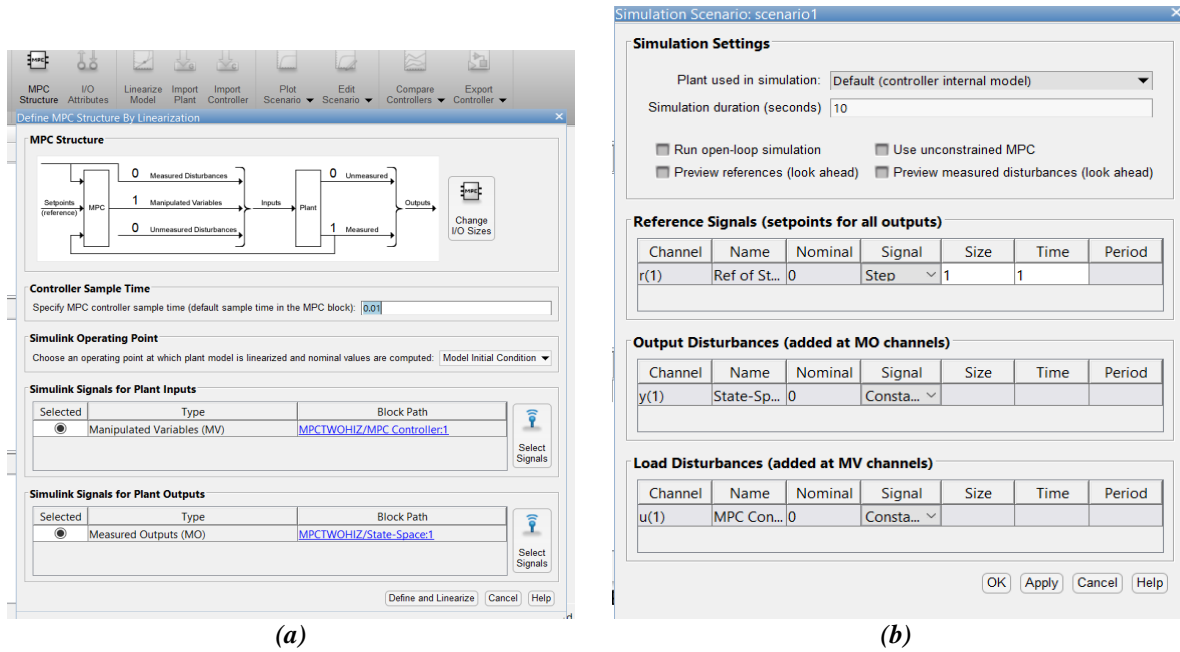


Şekil 8. MPC Simulink modeli

DA motorun MPC denetleyici ile konum kontrolünün gerçekleştirilmesi için geliştirilen Simulink modeli Şekil 8’de görülmektedir. Şekilde görülen MPC bloğu, araç kutusunun sağladığı denetleyici bloğudur. Bu blok ile tasarım için öncelikle sistem modelinin tanımlanması gerekmektedir. Eşt. 1 ile verilen sistem transfer fonksiyonu ile bu adım gerçekleştirilmiştir. Daha sonra ise MPC’ye ait giriş-çıkışların ve parametrelerin tanımlanması gerekmektedir.

Şekil 9-a’da görülen “MPC Structure” kısmında sistem modeli giriş-çıkış boyutu ayarlanmış ve örnekleme zamanı belirlenmiştir. MPC denetleyici tasarımında lineer sistem modeline gereksinim duyulduğundan MPC Araç Kutusunda, “define and linearize” seçeneği mevcuttur.

Şekil 9-b’de ise kapalı çevrim simülasyonu için örnek senaryo ayarlarının yapıldığı pencere görülmektedir. Sisteme istenen giriş sinyali verilerek, tasarlanan denetleyicinin performansı arayüz üzerinde incelenebilmektedir. Öncesinde tüm tasarım parametreleri belirlenmelidir. Kritik olan tasarım parametrelerinden biri kısıtlardır. Sistem, 24 voltluk bir DA güç kaynağı ile çalıştırıldığı için giriş kısıtı bu fiziksel limite göre düzenlenmiştir. Ayrıca konum kontrolü, çıkış kısıtı ile $\pm 360^\circ$ ‘de sınırlandırılmıştır (Şekil 10).



Şekil 9. (a) MPC sistem modelinin araç kutusunda belirlenmesi ve (b) Simülasyon senaryo ayarı

Örnekleme zamanı, 0.01; tahmin ufku uzunluğu, 10; kontrol ufku uzunluğu, 2 olarak belirlenmiştir. (Ara yüzde, bu parametrelerin değişiminin denetleyici performansına etkisi, oldukça kolay bir şekilde tasarımcının analizine sunulmaktadır.)

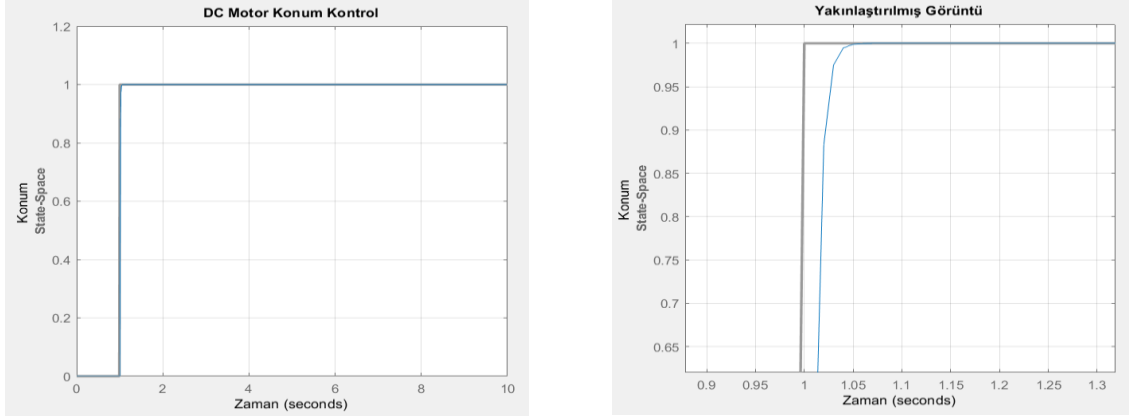
Input Constraints					
Channel	Type	Min	Max	RateMin	RateMax
u(1)	MV	-24	24	-Inf	Inf

+ Constraint Softening Settings

Output Constraints			
Channel	Type	Min	Max
y(1)	MO	-360	360

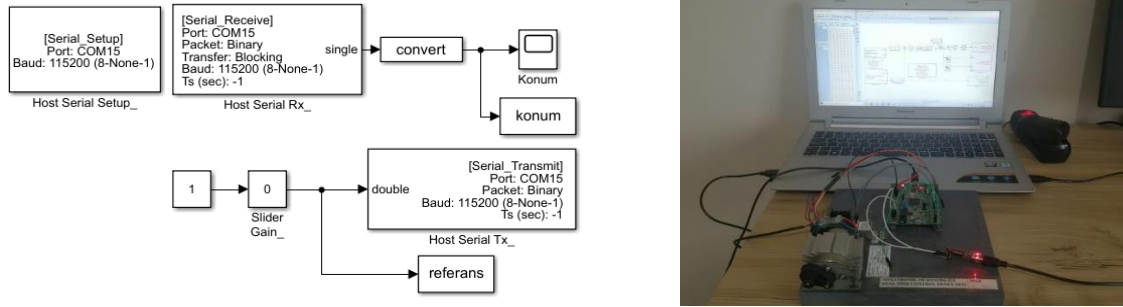
Şekil 10. Sistem giriş-çıkış kısıtları

Öncelikle denetleyici tasarım sonucu araç kutusunda simülasyon ile incelenmiştir. Birim basamak giriş sinyali ayarlandığında, araç kutusu kendi içerisinde oluşturduğu senaryo yapısını çalıştırmış ve Şekil 11’de görülen çıkış elde edilmiştir. Şekilde verilen grafikten görüleceği üzere denetleyici, başarılı bir performans sergilemiştir. Farklı giriş sinyalleri ile denetleyici performansı gözlenebilir.



Şekil 11. MPC araç kutusu simülasyon sonucu

Seri port aracılığıyla sistemden alınan veya sisteme gönderilen verilerin takibinin yapılabilmesi için sunucu bilgisayarda koşacak model Şekil 12’de görülmektedir. Slider Gain parametre ayarında blok çalışma aralığı ± 360 olarak belirlenmiştir. Böylece referans sinyali belirlenen çalışma aralığında olacak şekilde Host Serial Tx aracılığı ile kite gönderilmiştir. Motor konum bilgisi ise kiten Host Serial Rx aracılığı ile alınmıştır.



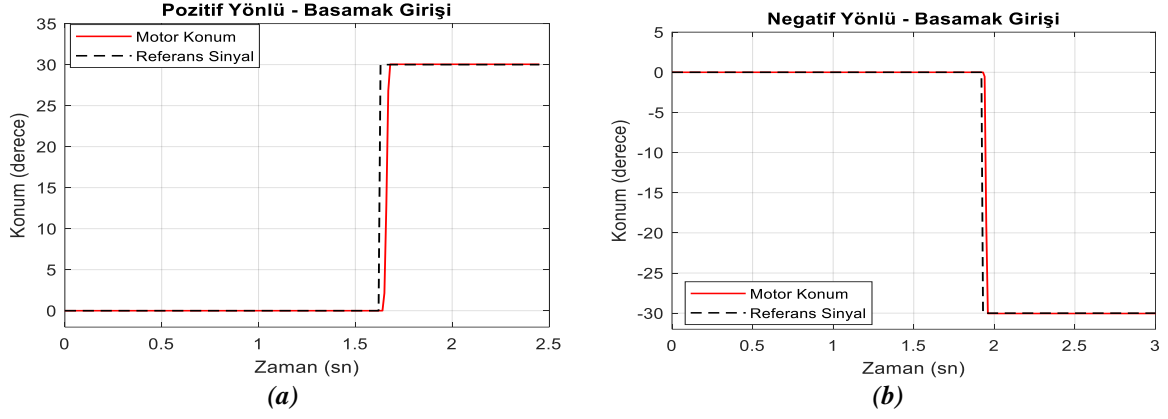
Şekil 12. Host modeli & Test ortamı

Bu çalışmada sabit mıknatıslı fırçalı bir Doğru Akım motorunun konum kontrolü, MPC yöntemi kullanılarak gerçek zamanlı gerçekleştirilmiştir. Kontrolcünün performansının gözlenebilmesi için Şekil 12’de verilen model aracılığıyla gerçek zamanlı olarak test düzeneğine referans giriş sinyali uygulanmış ve sistem yanıtı (DA Motor konum bilgisi) aynı model üzerinden incelenerek veri toplama işlemi gerçekleştirilmiştir.

Kontrolcü performansının test edilebilmesi için sisteme öncelikle her iki yönde basamak girişi uygulanmıştır. Şekil 13’de sisteme uygulanan 30° basamak girişleri görülmektedir. Grafikler incelendiğinde, motor milinin $\pm 30^\circ$ konuma başarı ile vardığı gözlenmiştir.

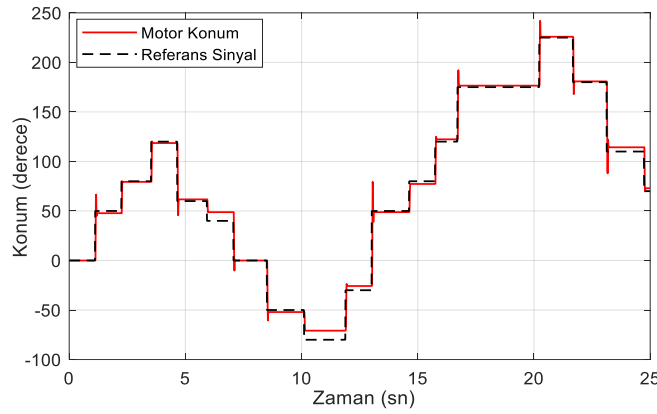
Tablo 2. MPC performans kriterleri (pozitif basamak giriş)

Parametre	Değeri
Yerleşme Zamanı (t_s)	0.06 (sn)
Aşım (os)	0°
Kalıcı Durum Hatası (e_{ss})	0.04°



Şekil 13. (a) MPC pozitif basamak giriş – çıkış sinyali (b) MPC negatif basamak giriş – çıkış sinyali

Denetleyici performans analizi için ikinci olarak sisteme rastgele genlikli basamak referans sinyali uygulanmıştır. Şekil 14’de verilen grafikte referans sinyal ile birlikte sistem çıkışı da görülmektedir. Görüldüğü üzere sistem çıkışı rastgele üretilen referans sinyalini başarı ile takip etmektedir. Sistemin çıkış yanıtı kontrol hedefleri doğrultusunda kontrolör parametrelerinin güncelleştirilmesi ile iyileştirilebilir.



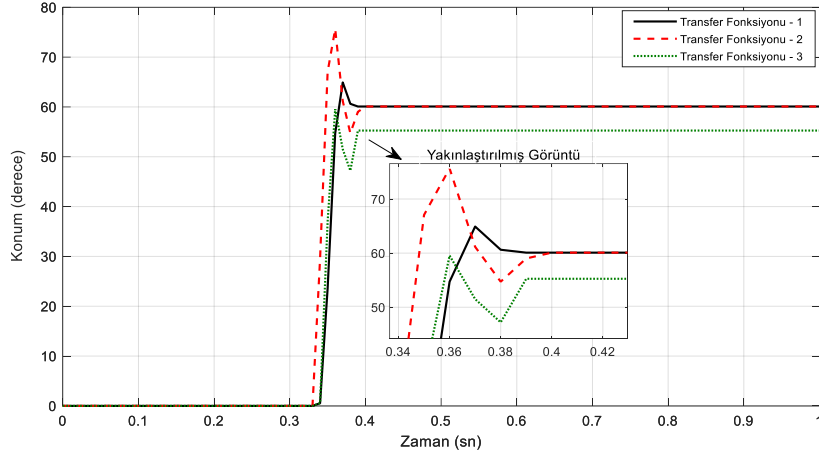
Şekil 14. MPC denetleyici sonucu

Kontrolcü gürbüzlüğü (*robustness*), sistem parametrelerinde herhangi bir değişim meydana geldiğinde, kontrolcünün oluşabilecek istenmeyen etkileri geçersiz kılacak şekilde kontrol performansını sürdürmesi ile belirlenmektedir [8]. Bu çalışmada model parametre değişimlerinin önerilen kontrolcünün başarımını üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

Şekil 15’de sistem tanımlama sonucu elde edilen gerçek sistem modeli (Eş. 1) ve bu modelde parametre değiştirilerek elde edilen iki farklı model üzerinden kontrolcü performansı karşılaştırılmıştır. Eş. 5’de ele alınan sistem modelleri görülmektedir.

Kara kutu yaklaşımı ile gerçek sisteme olabildiğinde yakın sistem modeli elde edilmişti (Eş. 1). Elde edilen transfer fonksiyonu paydasında s^2 li terimin katsayısı 120.6 iken bu parametre, 90 ve 60 olarak değiştirilerek 2 farklı sistem modeli daha elde edilmiştir ($tf2$ ve $tf3$). Bu parametre değişimi sonucu elde edilen transfer fonksiyonları ile modelin doğruluğu azaltılmıştır. Kontrolcünün bu değişime rağmen istenen cevabı sağlayabildiği gözlenmiştir.

$$tf1 = \frac{6.806 * 10^4}{s^2 + 120.6s + 1.084 * 10^{-4}} \quad tf2 = \frac{6.806 * 10^4}{s^2 + 90s + 1.084 * 10^{-4}} \quad tf3 = \frac{6.806 * 10^4}{s^2 + 60s + 1.084 * 10^{-4}} \quad (5)$$

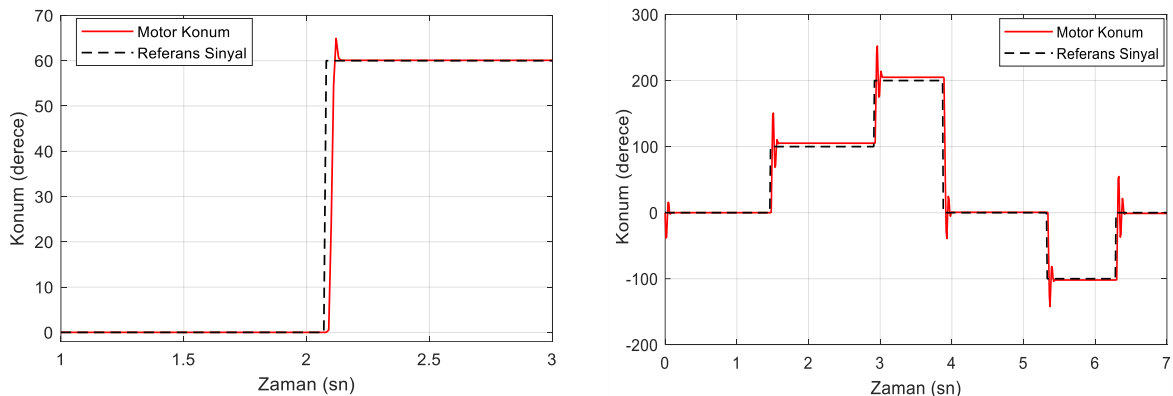


Şekil 15. Parametre değişimi - MPC denetleyici sonucu

Şekil 15’de verilen grafikten görüldüğü üzere sisteme referans olarak 60° basamak girişi uygulanmıştır. Kontrolcü, gerçek sistem modelinde (Transfer Fonksiyonu – 1) düşük bir aşım ile referans noktasına başarıyla varmıştır. Parametre değişimi yapılan ilk sistem modelinde (Transfer Fonksiyonu – 2) aşım oranı artmasına rağmen kalıcı durum hatası meydana gelmemiştir. Parametre değişimi yapılan diğer sistem modelinde (Transfer Fonksiyonu – 3) ise 5° kalıcı durum hatası meydana gelmiştir. Grafikten anlaşılacağı üzere sistemde parametre değişimi meydana gelse dahi sistem çıkışı referans girişi takip etmeyi başarmaktadır.

Klasik kontrol yaklaşımlarından farklı bir tasarım ve uygulama süreci olan MPC denetleyicisinin sisteme uygulanması başarı ile gerçekleştirilmiştir. MPC tasarım sürecinin farkının net bir şekilde ortaya konması açısından klasik kontrol yöntemlerinden PID kontrol tasarım ve uygulama süreci de bu çalışma kapsamında ele alınmıştır.

DA motorların kontrolünde basit yapıları sebebiyle; oran, integral ve türevden oluşan PID kontrolör veya kombinasyonları olan PI, PD kontrolörler tercih edilebilir. PID parametrelerinin ayarlanması amacıyla farklı yöntemler bulunmaktadır. Bu yöntemler başarılı sonuçlar vermekle birlikte; istenen sistem çıkışını elde edebilmek için gerekli olan optimal PID parametre değerlerini bulmak, zaman alıcı ve zahmetlidir. Ayrıca bu değerlerin farklı koşullarda tekrar optimizasyonunun yapılması gerekmektedir [16], [17].



Şekil 16. PID denetleyici sonucu

Bu çalışmada PID parametreleri, kapalı çevrim Ziegler-Nichols [13] yöntemi kullanılarak $K_p = 0,9$; $K_i = 0,45$; $K_d = 0,45$ şeklinde elde edilmiş ve DA motor sistemine uygulanmıştır. MPC testlerinde olduğu gibi sabit ve rastgele genlikli referans girişler uygulanmış ve sonuçlar Şekil 16’da verilmiştir.

PID denetleyici bu iki deneyde başarılı şekilde referans girişi takip etmiştir. Fakat MPC’de gerçekleştirildiği gibi transfer fonksiyonu - parametre değişimi testi gerçekleştirildiğinde ise referans takibi gerçekleştirilememiştir. Böyle bir senaryoda, yapılan değişikliğe göre PID parametrelerinin güncellenmesi gerekmektedir. Bu aşamada MPC denetleyicisinin PID denetleyicisine göre önemli bir üstünlüğü ortaya çıkmaktadır.

Ayrıca Tablo 3’de sabit genlikli referans giriş uygulanması sonucu elde edilen sistem yanıtının detayları görülmektedir. Performans parametreleri açısından da iki denetleyiciyi karşılaştırmak mümkündür (Tablo 2 & Tablo 3).

Tablo 3. PID performans kriterleri (sabit genlikli giriş)

Parametre	Değeri
Yerleşme Zamanı (t_s)	0.08 (sn)
Aşım (os)	4,92 °
Kalıcı Durum Hatası (e_{ss})	0,09 °

IV. SONUC

Bu çalışmada DA motorun pozisyon kontrolü, model tabanlı modern kontrol yöntemlerinden model öngörülü kontrol ile gerçek zamanlı olarak gerçekleştirilmiştir. DA motor konum kontrolünü gerçekleştirmek üzere model öngörülü kontrol modeli Matlab destekli Waijung blok seti yardımıyla geliştirilmiştir. Geliştirilen kontrolcü modelinin gerçek zamanlı uygulanması için ise STM32F4 kiti kullanılmıştır.

Kontrolcü performansının gözlenebilmesi için sisteme, farklı referans konum girişleri uygulanmış ve sistem çıkışının davranışı incelenmiştir. Referans giriş uygulandığında sistem çıkışı, referans girişi başarıyla takip etmektedir. Ayrıca model parametre değişimlerinin önerilen kontrolcünün başarımı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Sistem parametre değişimlerine rağmen motor konum kontrolü başarı ile gerçekleştirilmiştir.

Gerçekleştirilen çalışma ile model öngörülü kontrol yönteminin temel endüstriyel sistemlerde nasıl uygulanabileceği ve bu denetleyicilerin üstlenebileceği aktif rol gösterilmiştir. Ayrıca modern kontrol yöntemlerinin kullanımı ile hızlı ve kolay bir şekilde uygulama geliştirilebileceği ve geliştirilen uygulamaların kontrol eğitiminde kolaylıkla kullanılabilmesi de vurgulanmıştır.

V. KAYNAKLAR

- [1] B. Özkan, “Mekatronik sistemlerde uygulanan belli başlı kontrol yöntemleri,” *TÜBAV Bilim Dergisi*, c. 2, s. 3, ss. 302–316, 2009.
- [2] E. F. Camacho, and C. Bordons, *Model Predictive Control*, London, UK: Springer London, 2007.
- [3] İ. Kaya, ve A. Bawdaka, “DC motor sürücüsü için model öngörülü denetleyici tasarımı,” *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, c. 10, s. 3, ss. 899–910, 2019.
- [4] M. Nikolaou, “Model predictive controllers: A critical synthesis of theory and industrial needs,” *Advances in Chemical Engineering*, vol. 26, pp. 131–204, 2001.
- [5] B. Kouvaritakis, and M. Cannon, *Model Predictive Control*, Denmark: Springer Cham, 2016.
- [6] S. Chai, L. Wang, and E. Rogers, “Model predictive control of a permanent magnet synchronous

- motor with experimental validation,” *Control Eng. Pract.*, vol. 21, no. 11, pp. 1584–1593, 2013.
- [7] G. M. Bone, M. Xue, and J. Flett, “Position control of hybrid pneumatic–electric actuators using discrete-valued model-predictive control,” *Mechatronics*, vol. 25, pp. 1–10, 2015.
- [8] J. Espinoza, “Real-time implementation of model predictive control in a low-cost embedded device,” *J. Syst. Cybern. Informatics*, vol. 16, no. 2, pp. 72–77, 2018.
- [9] K. Xia, Y. Ye, J. Ni, Y. Wang, and P. Xu, “Model predictive control method of torque ripple reduction for BLDC motor,” *IEEE Trans. Magn.*, vol. 56, no. 1, 2020.
- [10] J. Yang, H. Wu, L. Hu, and S. Li, “Robust predictive speed regulation of converter-driven DC motors via a discrete-time reduced-order GPIO,” *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 66, no. 10, pp. 7893–7903, 2019.
- [11] M. A. Abbasi, and A. R. Husain, “Model predictive control of a dual induction motor drive fed by a single voltage source inverter,” *Turkish J. Electr. Eng. Comput. Sci.*, vol. 26, no. 3, 2018.
- [12] T. Yaren, V. Süel, Y. Yeniaydın, B. Sakacı, ve S. Kizir, “STM32F4 kiti ile Simulink tabanlı kontrol eğitimi uygulamaları geliştirme,” *Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı*, 2014, ss. 868–873.
- [13] S. Kizir, T. Yaren, ve E. Kelekçi, *Matlab Simulink Destekli Gerçek Zamanlı Kontrol: Teori ve Mühendislik Uygulamaları*, Ankara, Türkiye: Seçkin Yayıncılık, 2019.
- [14] N. Can, “Optimal kontrol ve optimizasyon,” Yüksek Lisans tezi, Matematik, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir, Türkiye, 2008.
- [15] G. Serale, M. Fiorentini, A. Capozzoli, D. Bernardini, and A. Bemporad, “Model predictive control (MPC) for enhancing building and HVAC system energy efficiency: problem formulation, applications and opportunities,” *Energies*, vol. 11, no. 3, p. 631, 2018.
- [16] İ. Yüksel, *Otomatik Kontrol Sistem Dinamiği ve Denetim Sistemleri*, Ankara, Türkiye: Nobel Akademik Yayıncılık, 2016.
- [17] B. C. Kuo, *Otomatik Kontrol Sistemleri*, İstanbul, Türkiye: Literatür Yayıncılık, 2016.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Şeker Otu (*Stevia rebaudiana* Bertoni) Bitkisinde Kuraklık Stresinin Fiziyojik ve Biyokimyasal Etkileri

 Vesile YALÇIN^a,  Hülya TORUN^{b,*},  Engin EROĞLU^c,  Elmas Ülkühan USTA^d

^a Biyoloji Bölümü, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

^b Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Ziraat Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

^c Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Orman Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

^d Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

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

DOI: 10.29130/dubited.1109502

ÖZ

Kuraklık son yıllarda endişe verici bir şekilde artmakta olup tarımsal ürünlerin verimliliğini sınırlandırmaktadır. Bu durum, kurak koşullara dayanıklı bitkilerin tespit edilmesine yönelik araştırmaların önemini artırmıştır. Bu çalışmada, *Stevia rebaudiana* Bertoni bitkisine ait iki çeşidin (Yalova ve STF-4) kuraklık stresi altında fiziyojik ve biyokimyasal tepkileri araştırılmıştır. Bitkiler kontrollü sera koşullarında 3 ay boyunca yetiştirilmiş ve sonrasında 3 hafta boyunca kuraklığa maruz bırakılmıştır. Üç hafta sonunda hasat edilen bitkilerden yaprak uzunluğu, ozmotik potansiyel, nisbi su içeriği (RWC), klorofil floresansı (Fv/Fm), prolin miktarı, hidrojen peroksit (H₂O₂) miktarı ve lipid peroksidasyonu seviyesi ölçülmüştür. *S. rebaudiana* bitkisinin her iki çeşidinde de kuraklık stresi altında kontrol grubundaki bitkiler ile kıyaslandığında yaprak uzunluğunda azalma belirlenirken en çok azalma Yalova çeşidinde (%25,7) saptanmıştır. Bununla birlikte, her iki çeşit de kuraklık stresi altında su durumlarını korumuşlardır. Fv/Fm değeri STF-4 çeşidinde kuraklıktan etkilenmezken Yalova çeşidinde kontrole oranla düşüş göstermiştir. Prolin miktarında ise çeşitler arasında fark kaydedilmiştir. Kurak koşullar altında STF-4 çeşidinde prolin miktarında değişim gözlenmezken Yalova çeşidinde %42,9 artış meydana gelmiştir. Diğer taraftan, kuraklık stresi, yapraklardaki lipid peroksidasyon seviyesini önemli ölçüde artırmıştır. Bu artış, Yalova çeşidinde %41,2 iken STF-4 çeşidinde %21,1 olarak belirlenmiştir. İki çeşit arasında kuraklık stresine karşı farklı tepki H₂O₂ içeriğinde gözlenmiştir. Kuraklık stresi altında H₂O₂ miktarı Yalova çeşidinde %42,7 oranında azalırken STF-4 çeşidinde %5,5 artmıştır. Sonuç olarak, *S. rebaudiana* bitkisinin STF-4 çeşidinin ölçülen parametreler ışığında kuraklığa daha toleranslı olduğu ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Abiyotik stres, Kuraklık, *Stevia rebaudiana*, Şeker otu

Physiological and Biochemical Effects of Drought Stress in *Stevia rebaudiana* Bertoni

ABSTRACT

Drought has been limiting the productivity of agricultural crops by increasing alarmingly in recent years. This situation has increased the importance of research on the determination of plants resistant to arid conditions. In this study, two cultivars (Yalova and STF-4) of *Stevia rebaudiana* Bertoni plant were investigated physiological

*Bu çalışma 'Permakültür bahçelerinde kullanım potansiyeli olan *Stevia rebaudiana* Bertoni ve *Hypericum perforatum* L. Bitkilerinin Kuraklık Stresi Altında Büyüme Koşullarının Belirlenmesi' isimli yüksek lisans tezinden türetilmiştir.

Geliş: 28/04/2022, Düzeltme: 08/05/2022, Kabul: 12/05/2022

1165

and biochemical responses of under drought stress. Plants were grown in controlled greenhouse conditions for 3 months and then exposed to drought for 3 weeks. The plants harvested after three weeks were measured leaf length, osmotic potential, relative water content (RWC), chlorophyll fluorescence (Fv/Fm), proline amount, hydrogen peroxide (H₂O₂) amount and lipid peroxidation level. In both cultivars of *S. rebaudiana* plant, when compared to the plants in the control group under drought stress, while a decrease in leaf length was detected, the highest decrease was found in Yalova cultivar (25.7%). However, both cultivars maintained their water status under drought stress. While Fv/Fm value was not affected by drought in STF-4 cultivar, Yalova cultivar decreased compared to the control. In the amount of proline was a difference between the cultivars. While STF-4 cultivar under arid conditions no change was observed in the amount of proline, increase of 42.9% occurred in Yalova cultivar. On the other hand, drought stress significantly increased the lipid peroxidation level in leaves. While this increase was 41.2% in Yalova cultivar, it was 21.1% in STF-4 variety. Differential response to drought stress between the two cultivars, was observed in H₂O₂ content. The amount of H₂O₂ under drought stress, while decreased by 42.7% in Yalova cultivar it increased by 5.5% in STF-4 variety. As a result, in the light of the measured parameters the STF-4 cultivar of *S. rebaudiana* plant was revealed that more drought tolerant.

Keywords: Abiotic stress, Drought, *Stevia rebaudiana*, *Stevia*

I. GİRİŞ

Stevia cinsi dünyanın farklı yerlerinde kültürü yapılan sağlık ve gıda sektörü açısından önemli bir endüstri bitkisidir [1]. *Stevia rebaudiana* Bertoni Asteraceae (Compositae) familyasına ait çok yıllık, otsu, çalı formunda önemli bir tıbbi ve aromatik bitki türüdür [2-4]. Yaprak içeriğindeki steviol glikozitler ile karakterize edilen bitki, tatlı yaprak, tatlı ot ve bal yaprak olarak da bilinmektedir [5-7]. Steviol glikozitler, sakkarozdan yaklaşık 250-350 kat daha tatlı olup [8], kalorisiz doğal tatlandırıcı özelliğe sahiptir [3]. Bu sebeple, gıda maddelerinde en çok tercih edilen tatlandırıcılardan biri olacağı varsayılmaktadır [9]. *Stevia* bitkisi steviol glikozitlerin yanı sıra flavonoid, fenolik bileşik ve alkaloid içermesinden dolayı tıbbi açıdan da büyük bir önem taşımaktadır [10,11]. *Stevia* bitkisinin biyoaktif bileşenlerinin kan basıncını ve kan şekerini düşürücü [8], bağışıklığı iyileştirici [12], kardiyovasküler ve renal sistemleri indükleyici [13] ve antitümör, antikaryojenik, antiinflamatuvar [6] etkilerinin olduğu belirlenmiştir.

Sıcak, soğuk, tuzluluk, kuraklık ve ağır metal toksisitesi gibi çeşitli abiyotik stres faktörleri bitkilerin büyümesini ve gelişmesini sınırlandırarak sürdürülebilir tarım açısından tehdit oluşturmaktadır [14]. Özellikle kuraklık, bitkinin yeterli su alımını engelleyerek büyümeyi, besin emilimini, gen ifadesini, ürün verimini ve kalitesini olumsuz etkilemektedir [15]. Kuraklık, bitkide lipid, protein ve karbonhidrat metabolizmasını etkileyerek membran kararlılığı, stoma iletkenliği, transpirasyon, fotosentez ve solunum gibi pek çok fizyolojik olayın aksamasına neden olmaktadır [16-21]. Dolayısıyla, bitkiler yaşamları için uygun olmayan koşullar altında yaşadıkları stres durumunda morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal bir takım stratejiler geliştirmektedir [19]. Sitoplazmada çözünebilir şeker, prolin gibi ozmotik düzenlenmenin sağlanmasında görev alan ozmolitlerin sentezi, antioksidan sistemin uyarılması gibi önemli ve etkili mekanizmalar bitkilerin kuraklık stresi ile mücadele yöntemlerindedir [5,22].

İklim değişikliği nedeniyle daha şiddetli ve uzun süren hava sıcaklıkları kurak alanların yayılmasına neden olmaktadır [23]. Bu durum kuraklığa dayanıklı bitki türlerinin keşfedilmesi için daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir. Kuraklık stresinin *Mentha piperita* L. [24], *Lavandula latifolia* Medik. [25], *Ocimum basilicum* L.[26] ve *Thymus vulgaris* L. [27] gibi tıbbi ve aromatik bitkiler üzerindeki etkisi ile ilgili çeşitli araştırmalar bulunmaktadır. Ancak *Stevia* üzerinde yapılan çalışmalar incelendiğinde, çalışmalar, bitkinin kimyasal bileşimi, sekonder metabolit içeriği ve farmakolojik özellikleri üzerinde yoğunlaşmaktadır. Bu çalışmanın amacı, kuraklık stresi altında yetiştirilen *Stevia rebaudiana* çeşitlerinde stresin meydana getirdiği fizyolojik ve biyokimyasal etkileri ortaya koymaktır. Bu bağlamda, yaprak uzunluğu, ozmotik potansiyel, nispi su içeriği (RWC), klorofil floresansı (Fv/Fm), prolin miktarı, hidrojen peroksit (H₂O₂) içeriği ve lipid peroksidasyonu (TBARS) ölçülerek bitkinin kuraklığa karşı tolerans durumu aydınlatılmaya çalışılmıştır.

II. MATERYAL VE METOT

A. BİTKİ MATERYALİ VE BÜYÜME ŞARTLARI

Çalışmada kullanılan *Stevia rebaudiana* Bertoni bitkisine ait tohumlar Manisa-Akhisar ve Yalova illerinden temin edilmiştir. Çalışma, Düzce Üniversitesi Orman Fakültesi bünyesinde bulunan tam ve kontrollü sera ortamında (18-25 °C ve %60-70 nemde) gerçekleştirilmiştir. Ekim öncesinde tohumlar 15 dakika boyunca %5'lik sodyum hipoklorit solüsyonunda bekletilmiş ardından tohumlar distile su ile yıkanmıştır. Sterilizasyonun ardından tohumlar torf:perlit:kum (1:1:1) karışımının yer aldığı viyollere ekilmiştir. Ekimden 3-4 gün sonra çimlenme gözlemlenmiş ve çimlenmeden itibaren 15 gün sonra homojen fideler seçilerek saksılara şaşırtılmıştır. Toplamda 90 gün boyunca yetiştirilen bitkiler 21 gün boyunca kuraklığa bırakılmıştır. Kontrol bitkilerine iki üç günde bir sulama yapılırken, kuraklık stresine maruz kalan bitkilerde sulama işlemi yapılmamıştır. Hasat öncesi kontrol ve kuraklık stresi altındaki bitkiler fotoğraflanmış ve cetvel ile yaprak uzunlukları ölçülmüştür. 21 gün sonra hasat edilen yapraklar sıvı azot ile (-196 °C) fikse edilerek analizler başlayıncaya kadar -80 °C de muhafaza edilmiştir.

B. YÖNTEM

B. 1. Nisbi Su İçeriği (RWC)

Yapraklara ait nisbi su içeriği Smart ve Bingham [28] tarafından belirlenen yöntemle ölçülmüştür. Hem kontrol hem kuraklık stresi altındaki bitkilerin yapraklarının taze ağırlığı tartıldıktan sonra yapraklar distile su içerisinde bekletilerek turgid ağırlıkları belirlenmiştir. Ardından, yaprakların kuru ağırlığının belirlenmesi için 70 °C'de 72 saat bekletilerek ağırlıkları kaydedilmiştir. Elde edilen veriler aşağıda yer alan formülde yerine konularak RWC değerleri hesaplanmıştır:

$$\text{RWC}(\%) = \frac{(\text{Taze ağırlık} - \text{Kuru ağırlık})}{(\text{Turgid ağırlık} - \text{Kuru ağırlık})} \times 100$$

B. 2. Ozmotik Potansiyel

Ozmotik potansiyel buhar basıncı ozmometresi cihazı ile ölçülmüştür. Her bir deneme grubundan eşit miktarda alınan yaprak örnekleri 2ml'lik endorfıta cam bağıet yardımı ile ezilerek 5000 rpm'de 5 dk satrifüj edilmiştir. Sonuçlar Santa-Cruz ve ark. nın [29] kullandığı yöntemle hesaplanmıştır.

B. 3. Klorofil Floresansı (Fv/Fm)

Fotosistem II fotokimyasının maksimum kuantum verimliliğini (Fv/Fm) belirlemek amacı ile florometre cihazı yardımıyla ölçüm gerçekleştirilmiştir. Ölçüm öncesi kontrol ve kuraklık stresi altındaki yaprakların klips yardımıyla kapatılarak 20 dakika boyunca karanlığa adapte olmaları sağlanmıştır. Süre bitiminde cihaz yardımıyla Fv/Fm değerleri kaydedilmiştir.

B. 4. Prolin İçeriği

Serbest prolin içeriği Bates vd. [30]'e göre belirlenmiştir. Kontrol ve kuraklık stresi altında yetiştirilen bitkilerin yapraklarından 0,5 gr tartılarak %3'lük sülfosalisilik içerisinde homojenize edildikten sonra süzölmüştür. Süzölen özütten 2 mL alınarak üzerine 2 mL asit-ninhidrin çözeltisi ve 2 mL glasiyel asetik asit eklenmiş ve karışım 95 °C'de 1 saat bekletilmiştir. Soğuyan karışıma 4 mL toluen ilave edilmiş ve vortekslenmiştir. Ölçümler spektrofotometre cihazı ile 520 nm dalga boyunda gerçekleştirilmiştir. Prolin konsantrasyonu kalibrasyon eğrisi kullanılarak hesaplanmış ve sonuçlar µmol prolin g⁻¹ taze ağırlık olarak ifade edilmiştir.

B. 5. Hidrojen Peroksit (H₂O₂) İÇeriği

Hidrojen peroksit (H₂O₂) içeriği Liu ve ark. nın [31] belirlediği yöntemle ölçülmüştür. Kontrol ve kuraklık stresi altında yetiştirilen bitkilerin yapraklarından 0,5 gr tartılarak %1'lik trikloroasetik asit içerisinde homojenize edildikten sonra santrifüjlenmiştir. Özütten 1 mL alınarak üzerine 0,5 mL %0,1'lik TiCl₄ ilave edilmiştir. Spektrofotometre cihazı ile 410 nm dalga boyunda absorbands değeri ölçülerek sonuçlar µmol/g H₂O₂ olarak ifade edilmiştir.

B. 6. Lipid Peroksidasyonu

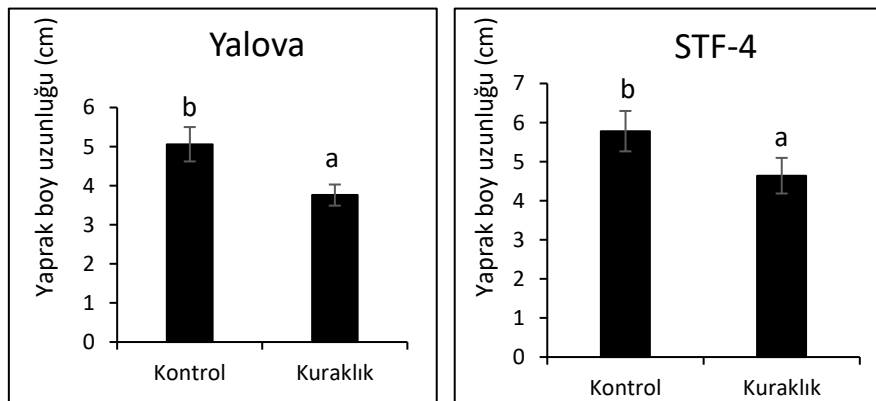
Lipid peroksidasyonu miktarı tiobarbitürik asit reaktif maddelerinin (TBARS) ölçülmesiyle elde edilmiştir [32]. Kontrol ve kuraklık stresi altında yetiştirilen bitkilerin yapraklarından 0,5 gr tartılarak %0,1'lik trikloroasetik asit (TCA) ile homojenize edilmiştir. Özüt %0,5 tiobarbitürik asit içeren %20 TCA ile karıştırılarak 90 °C'de 30 dakika inkübe edilmiştir. İnkübasyon sonrasında karışım buzda bekletilerek reaksiyon durdurulmuştur. Spektrofotometre cihazı ile 532 ve 600 nm dalga boylarında absorbands değerleri ölçülmüştür.

B. 7. İstatiksel Analizler

Kontrol ve kuraklık stresi altındaki bitki örneklerinden gerçekleştirilen her bir deneme 2 kez biyolojik ve 3 kez teknik tekrar (n = 6) olacak şekilde yapılmıştır. Denemelerden elde edilen tüm veriler Tek-Yönlü Varyans Analizi (One way ANOVA) ile analiz edilmiş ve ortalamalar arasındaki farklılıklar Duncan Testi ile karşılaştırılmıştır. $P < 0,05$ olan değerler istatistiksel bakımdan anlamlı kabul edilmiştir. Bütün şekillerdeki hata çubukları ortalama \pm standart sapmayı gösterecek şekilde belirtilmiştir.

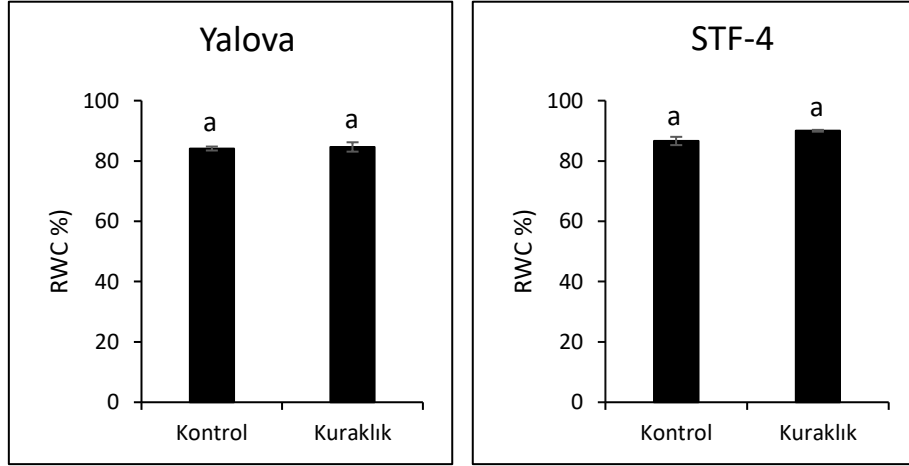
III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Su kıtlığı bitkilerin tüm fizyolojik ve biyokimyasal süreçlerini doğrudan ya da dolaylı olarak etkilemektedir [33]. Bu çalışmada elde edilen veriler kuraklık stresi altında yetişen *Stevia rebaudiana* bitkisinin fizyolojisinin değiştiği ortaya konulmuştur. Kuraklığın en önemli etkileri hücrel su miktarının azalması sonucu turgorun azalması ile sonuçlanan değişimlerdir. *S. rebaudiana* bitkisinin her iki çeşidinde de kuraklık stresi bitkinin morfolojisinde önemli indirgemelere neden olmuştur. Kuraklık stresi yaprak boy uzunluğunu her iki çeşitte de azaltmıştır (Şekil 1). Ancak, kontrol bitkileri ile kıyaslandığında uzunluk %25,7'lik azalma ile Yalova çeşidinde tespit edilmiştir. Sonuçlarımız, polietilen glikol (PEG) uygulaması altında yetiştirilen *S. rebaudiana* ile benzer sonuçlar göstermektedir [34]. Ayrıca, *Triticum aestivum* [35], *Zea mays* [36], *Cephalaria duzceënsis* [37], *Seseli resinolum* [37] ve *Capsicum annuum* [38] bitkilerinde de kuraklık stresi büyüme parametrelerinde azalmaya neden olmuştur.



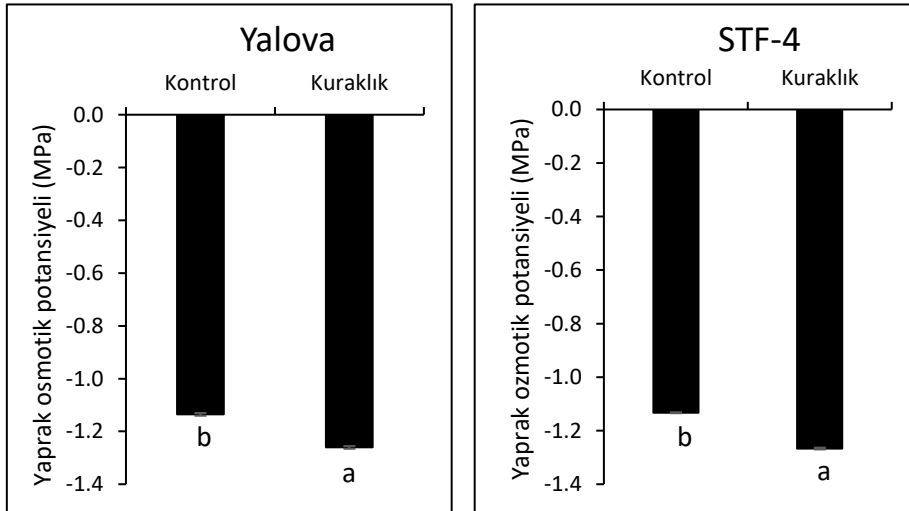
Şekil 1. Kuraklık stresi altındaki *Stevia rebaudiana* çeşitlerinde (Yalova ve STF-4) yaprak boy uzunluğu

Kuraklık stresinin bitkinin içsel su durumuna olan etkisini belirlemek için yaprak nisbi su içeriği (RWC) ölçülmüştür (Şekil 2). *S. rebaudiana*'nın her iki çeşidinde de kuraklık stres altında RWC miktarları kontrol bitkileri ile kıyaslandığında istatistiksel açıdan önemli ölçüde ($P < 0,05$) değişim göstermemiştir. Bu durum, stres koşullarında bitkinin bünyesindeki suyu koruyabildiğinin, yani bitki tarafından alınan su ile transpirasyon ile kaybedilen su arasında bir denge kurulduğunun göstergesi olduğu düşünülmektedir. Çalışma sonuçlarımıza paralel olarak Kıran ve ark. nın [39] kurak koşullarda yetiştirilen dört farklı kavun genotipinde Midyat ve Şemame genotiplerinin yaprak su potansiyellerini önemli ölçüde korudukları kaydedilmiştir.



Şekil 2. Kuraklık stresi altındaki *Stevia rebaudiana* çeşitlerinde (Yalova ve STF-4) yaprak nisbi su içeriği

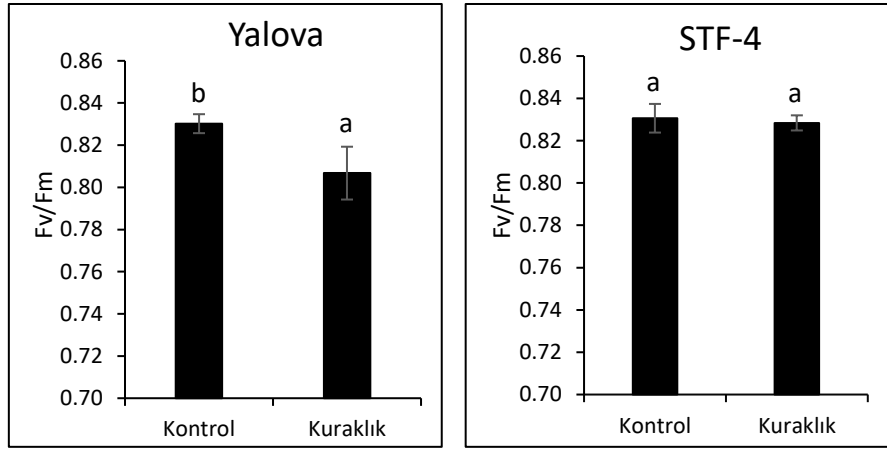
Nisbi su içeriği kuraklık stresi altında önemli değişim göstermezken yaprak ozmotik potansiyeli her iki *S. rebaudiana* çeşidinde de azalmıştır (Şekil 3). Kontrol bitkileri ile kıyaslandığında bu düşüş Yalova çeşidinde %11,1 iken STF-4 çeşidinde %11,8 olarak belirlenmiştir. Çalışmamızla benzer şekilde farklı karpuz çeşitlerinin kuraklık toleranslarının belirlendiği bir çalışmada Splendit çeşitinin yaprak ozmotik potansiyelinin azaldığı tespit edilmiştir [40].



Şekil 3. Kuraklık stresi altındaki *Stevia rebaudiana* çeşitlerinde (Yalova ve STF-4) yaprak ozmotik potansiyeli

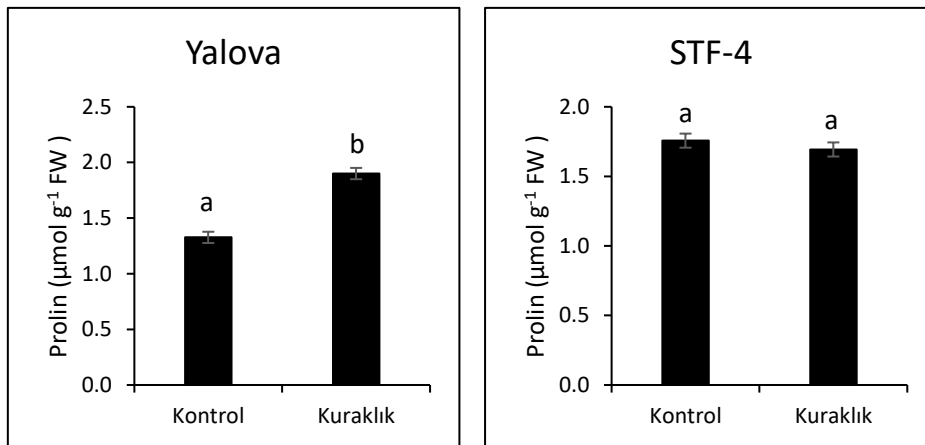
Fotosistem II'nin fotokimyasal etkinliğinin belirlenmesi çevresel streslere karşı bitkilerin tolerans derecelerinin ölçülmesinde kullanılan bir belirteçtir. Bu kapsamda çalışmamızda, kuraklık stresi altında yetişen *Stevia* çeşitlerinde Fv/Fm miktarları ölçülmüştür (Şekil 4). STF-4 çeşidinde kuraklık stresi Fv/Fm içeriğini istatistiksel olarak önemli ölçüde ($P < 0,05$) değiştirmezken Yalova çeşidinde Fv/Fm kontrol bitkileri ile kıyaslandığında %2,8 azalmıştır. Benzer şekilde, Hijahashemi ve Sofu

[41]'nin yaptığı çalışmada PEG-teşvikli kuraklık stresi *S. rebaudiana*'da Fv/Fm değerini düşürmüştür. Bu sonuçlar STF-4 çeşidinin Yalova çeşidine göre kuraklık stresine karşı PSII'yi daha iyi koruduğunu göstermektedir.



Şekil 4. Kuraklık stresi altındaki *Stevia rebaudiana* çeşitlerinde (Yalova ve STF-4) fotosentetik verim (Fv/Fm)

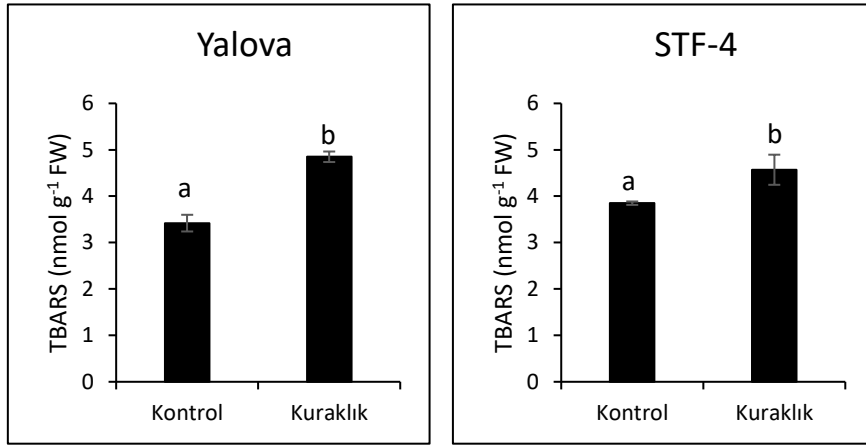
Stres altındaki bitkilerde ozmotik dengenin sağlanması ve hücrel yapıların korunması için amino asitler, şeker alkoller ve glisin betain gibi pek çok ozmolit sentezlenmektedir [42]. Kuraklık stresinde bitkilerde en çok biriktirilen ozmolitlerden biri de prolindir. Prolin miktarındaki artış ozmotik ayarlamaya katkı sağlamanın yanı sıra membranların, proteinlerin ve enzimlerin kararlılığını da sağlamakta ve antioksidan gibi görev yapmaktadır [43]. Çalışmamızda, *Stevia* çeşitleri olan Yalova ve STF-4'ün kuraklık stresi altında prolin birikiminde meydana gelen değişimler Şekil 5'te gösterilmiştir. Prolin miktarı kuraklık stresi altındaki STF-4 çeşidinde kontrol bitkileri ile kıyaslandığında istatistiksel olarak önemli ölçüde ($P < 0,05$) değişmemiştir. Diğer taraftan, Yalova çeşidinde ise prolin miktarı %42,9 artmıştır. Bulgularımızla benzer şekilde, *Oryza sativa* [44], *Populus euphratica* [45] ve *Quinoa* sp. [46] bitkilerinde de kuraklık stresi prolin miktarında artışa neden olmuştur. Stres altındaki prolin miktarında meydana gelen değişimler bitkinin türüne, stres çeşidine ve stresin yoğunluğuna bağlı olarak değişmektedir [47]. Örneğin, *Cenchrus pauciflorus* bitkisine hafif, orta ve şiddetli kuraklık stresi uygulandığında hafif stres altındaki bitkilerde prolin miktarının kontrol bitkileri ile benzer durum gösterdiği rapor edilmiştir [48]. Yalova çeşidinde kuraklık stresi altında prolin seviyesindeki artış, bu çeşitte stresinin ozmotik etkilerini azaltmada yardımcı olmuş ve bu sayede su durumunu korumuş olabilir.



Şekil 5. Kuraklık stresi altındaki *Stevia rebaudiana* çeşitlerinde (Yalova ve STF-4) prolin miktarı

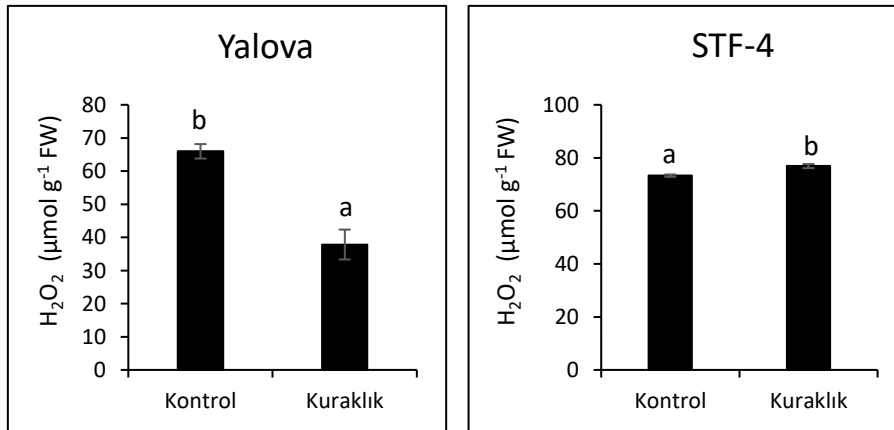
Lipid peroksidasyonu, stresin neden olduğu hasarın en önemli göstergelerinden birisidir. Çalışmamızda, kuraklık stresinin *Stevia* çeşitlerinde meydana getirmiş olduğu hasar tiyobarbitürik asit

reaktif maddelerinin (TBARS) miktarındaki değişimler ölçülerek belirlenmiştir. TBARS içeriğindeki değişimler, membran lipidlerinin peroksidasyon seviyelerinin, kuraklığın neden olduğu oksidatif hasarın şiddetinin ve bitkinin strese toleransının değerlendirilmesinde önemli bir yere sahiptir. Kuraklık stresi altında her iki *Stevia* çeşidinde de lipid peroksidasyonu seviyesi artmıştır (Şekil 6). Bu artış Yalova çeşidinde %41,2 iken STF-4 çeşidinde %21,1 olarak belirlenmiştir. Kontrol bitkileri ile kıyaslandığında stres altındaki STF-4 çeşidindeki düşük TBARS miktarı, Yalova çeşidine göre kuraklığa toleranslı olduğunun ve bu durumun da STF-4 çeşidinde membranların işlevselliğinin korunduğunun göstergesi olabilir. Literatürde çalışmamıza benzer bulgular, *Triticum aestivum* [49], *Mentha pulegium* [50] ve *Gnetum gnemon* [51] gibi pek çok bitkide kaydedilmiştir.



Şekil 6. Kuraklık stresi altındaki *Stevia rebaudiana* çeşitlerinde (Yalova ve STF-4) TBARS miktarı

Kuraklık stresi bitkilerin ozmotik dengesini bozarak fotosentez hızını düşürmekte ve sonuç olarak elektron transferini olumsuz etkileyerek reaktif oksijen türleri (ROS) olarak bilinen maddelerin oluşumuna neden olmaktadır. Hidrojen peroksit (H₂O₂), bir ROS olup, kuraklık stresi altındaki bitkilerde sinyal molekülü olarak işlev görmektedir. Çalışmamızda *Stevia* çeşitleri arasında H₂O₂ miktarındaki değişim açısından iki farklı sonuç gözlenmiştir (Şekil 7). Kuraklık stresi altında H₂O₂ miktarı, kontrol bitkileri ile kıyaslandığında, STF-4 çeşidinde %5,5 artarken Yalova çeşidinde %42,7 azalmıştır. Literatürde, kuraklık stresinin *Phaseolus vulgaris* [52], *Ginkgo biloba* [53], *Vigna mungo* [54] ve *Solanum lycopersicum* [55] bitkilerinde H₂O₂ miktarında artışa neden olduğu rapor edilmiştir. STF-4 çeşidinde kuraklık stresi altında H₂O₂ miktarındaki artış, membran kararlılığının korunduğunu ve stresin meydana getirdiği hasarı tolere edebildiğini göstermektedir.



Şekil 7. Kuraklık stresi altındaki *Stevia rebaudiana* çeşitlerinde (Yalova ve STF-4) H₂O₂ miktarı

IV. SONUC

Bu çalışmada, tıbbi ve aromatik bir bitki olan *Stevia rebaudiana*'nın Yalova ve STF-4 çeşitlerinde kuraklık stresinin bitkide meydana getirdiği fizyolojik ve biyokimyasal değişimler tespit edilmiştir. Kuraklık stresi Yalova çeşidinde yaprak boy uzunluğunu, ozmotik potansiyeli ve klorofil floresansını azaltmıştır. Söz konusu çeşitte su durumunun kuraklık stresi altında korunmasının prolin miktarında görülen önemli orandaki artışla ilişkili olabileceği düşünülmektedir. Bununla birlikte, STF-4 çeşidine kıyasla kuraklık stresi Yalova çeşidinde membran lipidlerinin yüksek oranda peroksidasyonuna neden olmuştur. Diğer taraftan, kuraklık stresi altında yetişen STF-4 çeşidinde suyun korunduğu ve kuraklığın neden olduğu hafif hasarın üstesinden geldiği tespit edilmiştir. Sonuç olarak, bu veriler ışığında, STF-4 çeşidinin Yalova çeşidine kıyasla kuraklık direncinin daha yüksek olduğu belirlenmiş olup ıslah çalışmalarında kullanılabilirliği düşünülmektedir.

TEŞEKKÜR: Bu çalışma Düzce Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından desteklenmiştir (Proje no: 2019.02.01.970). Yazar VY, 100/2000 YÖK doktora bursiyeridir.

V. KAYNAKLAR

- [1] N. Pradhan, P. Singh, P. Dwivedi and D. K. Pandey, "Evaluation of sodium nitroprusside and putrescine on polyethylene glycol induced drought stress in *Stevia rebaudiana* Bertoni under in vitro condition," *Industrial Crop and Products*, vol. 154, 2020.
- [2] J. Ahmad, I. Khan, R. Blundell, J. Azzopardi and M. F. Mahomoodally, "*Stevia rebaudiana* Bertoni.:an updated review of its health benefits, industrial applications and safety," *Trends in Food Science & Technology*, vol. 100, pp. 177-189, 2020.
- [3] N. H. Samsulrizal, K. S. Khadzran, S. HN.Shaarani, A. L. Noh, T. CM. Sundram, M. A. Naim and Z. Zainuddin, "De novo transcriptome dataset of *Stevia rebaudiana* accession MS007," *Data in Brief*, vol. 28, 2020.
- [4] C. Clemente, L. G. Angelini, R. Ascrizzi and S. Tavarini, "*Stevia rebaudiana* (Bertoni) as a multifunctional and sustainable crop for the Mediterranean climate," *Agriculture*, vol. 11, no. 2, pp. 123, 2021.
- [5] S. Hajhashemi and A. A. Ehsanpour, "Influence of exogenously applied paclobutrazol on some physiological traits and growth of *Stevia rebaudiana* under in vitro drought stress," *Biologia*, vol. 68, no. 3, pp. 414-420, 2013.
- [6] V. Peteliuk, L. Rybchuk, M. Bayliak, K. B. Storey and O. Lushchak, "Natural sweetener *Stevia rebaudiana*: functionalities, health benefits and potential risks," *EXCLI Journal*, vol. 20, pp.1412-1430, 2021.
- [7] Y. Sun, X. Xu, T. Zhang, Y. Yang, H. Tong and H. Yuan, "Comparative transcriptome analysis provides insights into steviol glycoside synthesis in stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) leaves under nitrogen deficiency," *Plant Cell Reports*, vol. 40, pp. 1709-1722, 2021.
- [8] Z. Li, L. An, S. Zhang, Z. Shi, J. Bao, M. Tuerhong, M. Abudukeremu, J. Xu and Y. Guo, "Structural elucidation and immunomodulatory evaluation of a polysaccharide from *Stevia rebaudiana* leaves," *Food Chemistry*, vol. 364, pp. 130310, 2021.

- [9] J. Wang, H. Zhao, Y. Wang, H. Lau, W. Zhou, C. Chen and S. Tan, "A review of stevia as a potential healthcare product: Up-to-date functional characteristics, administrative standards and engineering techniques," *Trends in Food Science & Technology*, vol. 103, pp. 264-281, 2020.
- [10] S. Basharat, Z. Huang, M. Gong, X. Lv, A. Ahmed, I. Hussain, J. Li, G. Du and L. Liu, "A review on current conventional and biotechnical approaches to enhance biosynthesis of steviol glycosides in *Stevia rebaudiana*," *Chinese Journal of Chemical Engineering*, vol. 30, pp. 92-104, 2021.
- [11] E. S. Ibrahim, E. M. Ragheb, F. M. Yousef, M. F. Abdel-Aziz and B. A. Alghamdi, "Nutritional value, cytotoxic and antimicrobial activities of *Stevia rebaudiana* leaf extracts," *Journal of Biochemical Technology*, vol. 11, no. 12, pp. 108-115, 2020.
- [12] S. Yu-ming, H. Xiao-lei, Z. Ting, Y. Yong-heng, C. Xiao-fang, X. Xiao-yang and Y. Hai-yan, "Potassium deficiency inhibits steviol glycosides synthesis by limiting leaf sugar metabolism in stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) plants," *Journal of Integrative Agriculture*, vol. 20, no. 11, pp. 2932-2943, 2021.
- [13] E. Yıldız Öztürk, A. Nalbantsoy, O. Tag and O. Yesil Celiktas, "A comparative study on extraction processes of *Stevia rebaudiana* leaves with emphasis on antioxidant, cytotoxic and nitric oxide inhibition activities," *Industrial Crops and Products*, vol. 77, pp. 961-971, 2015.
- [14] M. K. Warsi, S. M. Howladar and M. A. Alsharif, "Regulon: An overview of plant abiotic stress transcriptional regulatory system and role in transgenic plants," *Brazilian Journal of Biology*, vol. 83, 2023.
- [15] R. Guo, L. X. Shi, Y. Jiao, M. X. Li, X. L. Zhong, F. X. Gu, Q. Liu, X. Xia and H. Li, "Metabolic responses to drought stress in the tissues of drought-tolerant and drought-sensitive wheat genotype seedlings," *AOB Plants*, vol. 10, 2018.
- [16] S. S. Gill and N. Tuteja, "Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants," *Plant Physiology and Biochemistry*, vol. 48, pp. 909-930, 2010.
- [17] M. W. Oh and S. Komatsu, "Characterization of proteins in soybean roots under flooding and drought stresses," *Journal of Proteomics*, vol. 114, pp. 161-181, 2015.
- [18] Z. Kolenc, D. Vodnik, S. Mandelc, B. Javornik, D. Kastelec and A. Čerenak, "Hop (*Humulus lupulus* L.) response mechanisms in drought stress: Proteomic analysis with physiology," *Plant Physiology and Biochemistry*, vol. 105, pp. 67-78, 2016.
- [19] Z. Shu-han, X. Xue-feng, S. Yen-min, Z. Jun-lian and L. Chao-zhou, "Influence of drought hardening on the resistance physiology of potato seedlings under drought stress," *Journal of Integrative Agriculture*, vol. 17, no. 2, pp. 336-347, 2018.
- [20] X. Yang, M. Lu, Y. Wang, Y. Wang, Z. Liu and S. Chen, "Response mechanism of plants to drought stress," *Horticulturae*, vol. 7, no. 3, pp. 50, 2021.
- [21] Y. Zheng, Z. Xia, J. Wu and H. Ma, "Effects of repeated drought stress on the physiological characteristics and lipid metabolism of *Bombax ceiba* L. during subsequent drought and heat stresses," *BMC Plant Biology*, vol. 21, 2021.
- [22] M. Karimi, A. Ahmadi, J. Hashemi, A. Abbasi, S. Tavarini, A. Pompeiano, L. Guglielminetti and L. G. Angelini, "The positive role of steviol glycosides in stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) under drought stress condition," *Official Journal of the Societa Botanica Italiana*, vol. 150, no. 6, pp. 1321-1331, 2016.

- [23] S. Backhaus, J. Kreyling, K. Grant, C. Beierkuhnlein, J. Walter and A. Jentsch, "Recurrent mild drought events increase resistance toward extreme drought stress," *Ecosystems*, vol. 17, pp. 1068-1081, 2014.
- [24] H. A. Alhaithloul, M. H. Soliman, K. L. Ameta, M. A. El-Esawi and A. Elkelish, "Changes in ecophysiology, osmolytes, and secondary metabolites of the medicinal plants of *Mentha piperita* and *Catharanthus roseus* subjected to drought and heat stress," *Biomolecules*, vol. 10, no. 1, 2020.
- [25] P. García-Caparrós, M. J. Romeo, A. Llanderal, P. Cermeño, M. T. Lao and M. L. Segura, "Effects of drought stress on biomass, essential oil content, nutritional parameters, and costs of production in six Lamiaceae species," *Water*, vol. 11, 2019.
- [26] A. G. Pirbalouti, F. Malekpoor, A. Salimi, A. Golparvar and B. Hamedi, "Effects of foliar of the application chitosan and reduced irrigation on essential oil yield, total phenol content and antioxidant activity of extracts from green and purple basil," *Acta Sci. Pol. Hortorum Cultus*, vol. 16, no. 6, pp. 177-186, 2017.
- [27] A. Mahdavi, P. Moradi and A. Mastinu, "Variation in terpene profiles of *Thymus vulgaris* in water deficit stress response," *Molecules*, vol. 25, no. 5, 2020.
- [28] R. E. Smart and G. E. Bingham, "Rapid estimates of relative water content," *Plant Physiology*, vol. 53, pp. 258-260, 1974.
- [29] A. Santa-Cruz, M. M. Martinez-Rodriguez, F. Perez-Alfocea, R. Romero-Aranda, and M. C. Bolarin, "The rootstock effect on the tomato salinity response depends on the shoot genotype," *Plant Science*, vol. 162, pp. 825-831, 2002.
- [30] L. S. Bates, R. P. Waldren, and I. D. Teare, "Rapid determination of free proline for water stress studies," *Plant Soil*, vol. 39, pp. 205-207, 1973.
- [31] J. Liu, B. Lu, and A. L. Xun, "An improved method for the determination of hydrogen peroxide in leaves," *Progress in Biochemistry and Biophysics*, vol. 27, pp. 548-551, 2000.
- [32] K. V. Madhava Rao and T. V. S. Sresty, "Antioxidative parameters in the seedlings of Pigeonpea (*Cajanus cajan* L. Millspaugh) in response to Zn and Ni stresses," *Plant Science*, vol. 157, pp. 113-128, 2000.
- [33] Z. Ahmad, S. Anjum, E. A. Waraich, M. A. Ayub, T. Ahmad, R. M. S. Tariq, R. Ahmad and M. A. Iqbal, "Growth, physiology, and biochemical activities of plant responses with foliar potassium application under drought stress – a review," *Journal of Plant Nutrition*, vol. 41, no. 13, pp. 1734-1743, 2018.
- [34] S. Hajhashemi and J. M. C. Geuns, "Gene transcription and steviol glycoside accumulation in *Stevia rebaudiana* under polyethylene glycol-induced drought stress in greenhouse cultivation," *FEBS Open Bio*, vol. 6, pp. 937-944, 2016.
- [35] R. Ayrancı, "Farklı kuraklık tiplerinde ekmeklik buğday genotiplerinin fizyolojik, morfolojik, verim ve kalite özellikleri yönüyle ıslahta kullanılabilirlik uygun parametrelerin belirlenmesi," Doktora tezi, Tarla Bitkileri, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye, 2012.
- [36] B. Jiang, P. Wang, S. Zhuang, M. Li, Z. Li and Z. Gong, "Detection of maize drought based on texture and morphological features," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 151, pp. 50-60, 2018.

- [37] H. Aydın, H. Torun ve E. Eroğlu, “*Cephalaria duzceënsis* N. Aksoy & R. S. Göktürk ve *Seseli resinolum* Freyn & Sint. endemik taksonlarının morfolojik ve fizyolojik özellikleri ile bitkilendirmede kullanılabilir potansiyelleri,” *D.Ü. Ormanlık Dergisi*, c. 16, s. 2, ss. 89-104, 2020.
- [38] Md. R. Molla, Md. M. Rohman, M. B. Monsur, M. Hasanuzzaman and L. Hassan, “Screening and assessment of selected Chilli (*Capsicum annuum* L.) genotypes for drought tolerance at seedling stage,” *Phyton-International Journal of Experimental Botany*, vol. 90, no. 5, 2021.
- [39] S. Kıran, F. Özkay, Ş. Ellialtıoğlu ve Ş. Kuşvuran, “Kuraklık stresi uygulanan kavun genotiplerinde bazı fizyolojik değişimler üzerine araştırmalar,” *Toprak Su Dergisi*, c. 3, s. 1, ss. 53-58, 2014.
- [40] H. Y. Daşgan, M. Kılınç, S. Dere ve B. İkiz, “Çukurova ekolojik koşullarına uygun bazı karpuz çeşitlerinin kuraklığa tolerans seviyelerinin belirlenmesi,” *Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi*, c. 7, s. 3, ss. 388-403, 2021.
- [41] S. Hajhashemi and A. Sofo, “The effect of polyethylene glycol-induced drought stress on photosynthesis, carbohydrates and cell membrane in *Stevia rebaudiana* grown in greenhouse,” *Acta Physiologiae Plantarum*, vol. 40, 2018.
- [42] M. Ashraf and M. Foolad, “Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance,” *Environmental and Experimental Botany*, vol. 59, no. 2, pp. 206-216, 2007.
- [43] N. Verbruggen and C. Hermans, “Proline accumulation in plants: a review,” *Amino Acids*, vol. 35, pp.753-759, 2008.
- [44] D. C. Dien, T. Mochizuki and T. Yamakawa, “Effect of various drought stresses and subsequent recovery on proline, total soluble sugar and starch metabolisms in Rice (*Oryza sativa* L.) varieties,” *Plant Production Science*, vol. 22, no. 4, pp. 530-545, 2019.
- [45] C. Y. Zhao, J. H. Si, Q. Feng, T. F. Yu, H. Luo and J. Qin, “Ecophysiological responses to drought stress in *Populus euphratica*,” *Sciences in Cold and Arid Regions*, vol. 13, no. 4, pp. 326-336, 2021.
- [46] F. Nadali, H. R. Asghari, H. Abbasdokht, V. Dorostkar and M. Bagheri, “Improved Quinoa growth, physiological response, and yield by hydropriming under drought stress conditions,” *Gesunde Pflanzen*, vol. 73, no. 1, pp. 53-66, 2021.
- [47] Z. Adamipour, M. Khosh-Khui, H. Salehi, H. Razi, A. Karami and A. Moghadam, “Metabolic and genes expression analyses involved in proline metabolism of two rose species under drought stress,” *Plant Physiology and Biochemistry*, vol. 155, pp. 105-113, 2020.
- [48] L. Zhou, X. Tian, B. Cui and A. Hussain, “Physiological and biochemical responses of invasive species *Cenchrus pauciflorus* benth to drought stress,” *Sustainability*, vol. 13, no. 11, 2021.
- [49] M. Rehman, S. Syed, Q. Ali, Z. Haider, S. Kamal and M. Azeem, “Morphological and biochemical investigations of selected wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars for the drought tolerance potential: photosynthetic pigments and lipid peroxidation,” *Fresenius Environmental Bulletin*, vol. 30, no. 6, pp. 6155-6164, 2021.
- [50] N. Azad, M. Rezayian, H. Hassanpour, V. Niknam and H. Ebrahimzadeh, “Physiological mechanism of salicylic acid in *Mentha pulegium* L. under salinity and drought stress,” *Brazilian Journal of Botany*, vol. 44, pp. 359-369, 2021.

- [51] T. A. Siswoyo, L. S. Arum, B. R. L. Sanjava and Z. S. Aisyah, "The growth responses and antioxidant capabilities of melinjo (*Gnetum gnemon* L.) in different durations of drought stress," *Annals of Agricultural Sciences*, vol. 66, no. 1, pp. 81-86, 2021.
- [52] S. Caşka Kılıçarslan, E. Yıldırım, M. Ekinci ve R. Kul, "Kuraklık stresinin fasulyede bitki gelişimi, bazı fizyolojik ve biyokimyasal özellikler üzerine etkisi," *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 36, s. 2, 2020.
- [53] B. Chang, K. Ma, Z. Lu, J. Lu, J. Cui, L. Wang and B. Jin, "Physiological, Transcriptomic and metabolic responses of *Ginkgo biloba* L. to drought, salt and heat stress," *Biomolecules*, vol. 10, no. 12, 2020.
- [54] K. Jothimani and D. Arulbalachandran, "Physiological and biochemical studies of black gram (*Vigna mungo* (L.) Hepper) under polyethylene glycol induced drought stress," *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, vol. 29, 2020.
- [55] S. Sundararajan, R. Shanmugam, V. Rajendran, H. P. Sivakumar and S. Ramalingam, "Sodium nitroprusside and putrescine mitigate PEG-induced drought stress in seedlings of *Solanum lycopersicum*," *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 2021, doi: 10.1007/s42729-021-00710-x.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

COVID-19 Pandemi Dönemi Online Eğitim Alan Peyzaj Mimarlığı Bölümü Öğrencilerinin Bilişsel Yetenek Düzeylerinin Araştırılması: MAKÜ Peyzaj Mimarlığı Bölümü Örneği

 Hatice YILDIRIM ^{a,*},  Latif Gürkan KAYA ^b

^a *Mekansal Planlama ve Tasarım Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Burdur, TÜRKİYE*

^b *Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Burdur, TÜRKİYE*

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: yildirim.tugba@hotmail.com

DOI: 10.29130/dubited.1069036

Öz

Küresel etkileriyle Dünya'yı etkisi altına alan COVID-19 salgını, yükseköğretim kurumları ve eğitimciler üzerinde yeni bir düzenin kurulmasına neden olmuştur. Alışlagelmiş olan yüz yüze öğretimin yerine uzaktan öğretim sistemleri devreye girmiş ve çevrimiçi sınıflar yeni eğitim sahaları olarak işlev kazanmıştır. Yüz yüze eğitim sistemiyle eğitim hayatlarına devam eden öğrenciler için uzaktan (çevrimiçi) eğitime geçilmesi bilginin farklı sunum yollarıyla aktarılmasını da beraberinde getirmiştir. Bu çalışmada, daha az etkileşimli bilgi ve çevrimiçi eğitimlerin tasarım ağırlıklı bölüm öğrencilerine olan etkileri araştırılmıştır. Çalışmada, öğrencilerin öğrenme süreçlerini etkileyen bilişsel yetenek düzeylerinin değerlendirilmeleri yapılmıştır. Bu amaçla yüz yüze eğitim alan Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü birinci sınıf öğrencileri ve pandemi sürecinde çevrimiçi eğitim alan Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü üçüncü sınıf öğrencilerinin bilişsel yeteneklerinin ölçülerek karşılaştırılabilmesi için 'Bilişsel Yetenek Ölçüm Testi' oluşturulmuştur.

Anahtar Kelimeler: *Bilişsel yetenek, COVID-19 pandemisi, Peyzaj mimarlığı, Uzaktan (çevrimiçi) eğitim*

Investigation of Cognitive Ability Levels of Landscape Architecture Department Students Taking Online Education during the COVID-19 Pandemic Period: The Case of Landscape Architecture Department at Mehmet Akif Ersoy University, Turkey

ABSTRACT

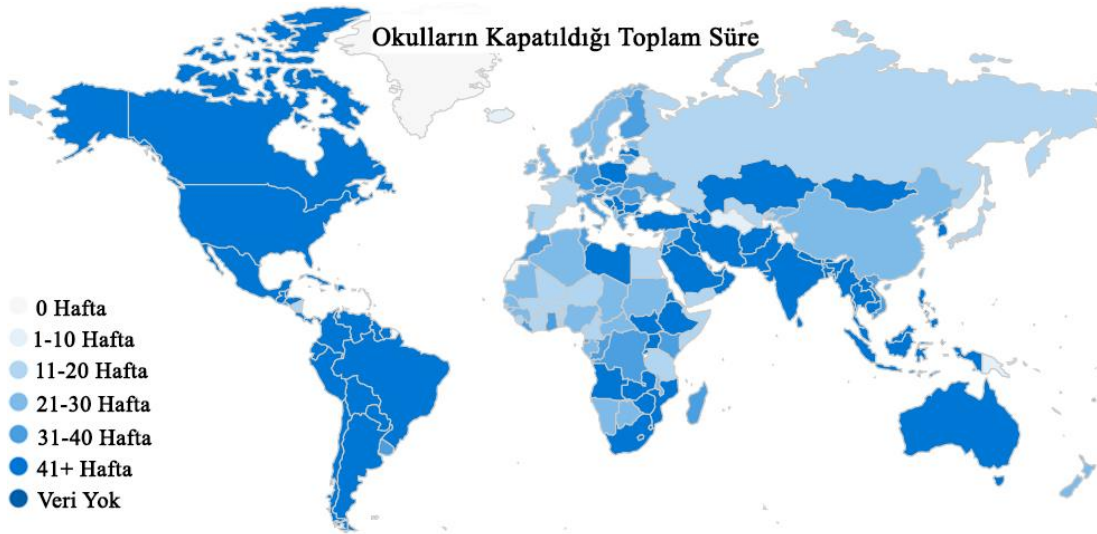
The COVID-19 epidemic, which affected the world with its global effects, caused a new order to be established on higher education institutions and educators. Instead of the traditional face-to-face teaching, distance education systems have come into play and online classes have functioned as new education fields. The transition to online education for students who continue their education life with the face-to-face education system has brought about the transfer of information through different presentation ways. The aim of the study, which investigated the effects of providing information through online training with less interaction, on design-oriented department students, is to evaluate the cognitive ability levels that also affect the learning processes. For this purpose, the 'Cognitive

Ability Measurement Test' was created to measure and compare the cognitive abilities of the first-year students of Burdur Mehmet Akif Ersoy University Landscape Architecture Department who received face-to-face education and the third-year students of Burdur Mehmet Akif Ersoy University Landscape Architecture Department who received online education during the pandemic process.

Keywords: Cognitive ability, COVID-19 pandemic, Landscape architecture, Online education

I. GİRİŞ

Dünya ülkelerinde halk sağlığı krizi haline gelen COVID-19 nedeniyle her alanda yeni düzenlemeler getirilmek zorunda kalmıştır. Dünya Sağlık Örgütü (WHO), 2020 yılı başında ülkelerin yeni bir koronavirüs hastalığıyla karşı karşıya geldiğini ve 2020 yılı mart ayında ise yeni tip COVID-19'un pandemi haline geldiğini rapor etmiştir [1]. 20.07.2022 tarihi itibarıyla 565,190,546 onaylanmış vaka; 6,374,336 ölüm gerçekleşmiştir [2]. Yetersiz sosyal mesafe ve etkileşim nedeniyle hastalığın bulaş riski artmış ve yayılım hızı yükselmiştir. Kurumlar maske ve mesafe benzeri bulaş önleyici önlemler almaya çalışmış fakat etkin korunmayı sağlayamamıştır. Etkileşimin düşürülmesi amacıyla eğitim kurumları Türkiye'de 2020 yılı Mart ayından itibaren uzaktan uygulamalara geçiş yapmıştır. İlk etapta 16 Mart 2020 tarihinde Yükseköğretim Kurumu (YÖK) tarafından üniversitelerde eğitime üç hafta ara verilmiştir. Pandeminin seyrinin şiddetlenerek devam etmesinden dolayı eğitim kurumlarında uzaktan eğitime tamamen geçilmiştir. Ülkelerin COVID-19 pandemisine karşı aldıkları kararların başında ilköğretimden yükseköğretime kadar eğitim kurumlarını kapatmaları, sosyal alanların kısıtlanması, iş saatlerinin düşürülmesi ilk sırada gelmiştir. 08.02.2022 itibarıyla Türkiye'de 49 hafta, Amerika Birleşik Devletleri'nde 71 hafta, Kanada'da 51 hafta, Almanya'da 38 hafta, Japonya'da 11 hafta okulların kapatıldığı toplam sürelerdir. Tüm Dünya ülkelerinde okulların kapalı kaldığı toplam süreler Şekil 1'de verilmiştir [3].



Şekil 1. COVID-19 pandemi sürecinde ülkelere göre okulların kapatıldığı toplam süreler [3].

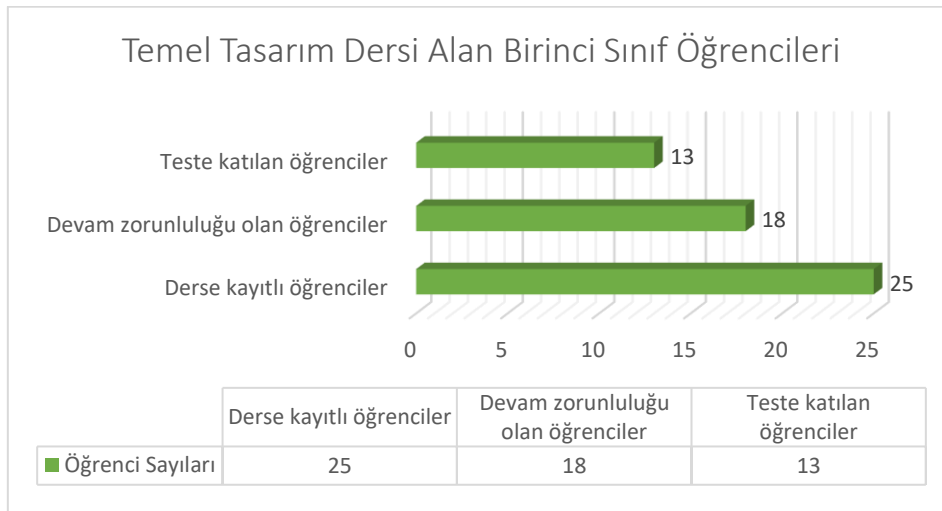
Türkiye'de üniversitelerin büyük bir çoğunluğu uzaktan eğitim donanımına sahip olmasına rağmen eğitimciler ve öğrenciler tarafından pandemi dönemine kadar aktif olarak kullanılmaması nedeniyle pandeminin özellikle ilk aylarında yaşanan adaptasyon süreci öğrenciler üzerinde çeşitli problemlere neden olmuştur. Doğru bilginin öğrencilerin algılayabileceği eğitim araçlarıyla verilebilmesi için ek programlara ihtiyaç duyulmuş ve ilerleyen süreçlerde yaşanan problemlerde eğitimciler tarafından yeni yöntemlerle çözülmeye çalışılmıştır. Bu problemlerin başında iletişimde zorluk [4], derslerin öğrenilememesi, motivasyon kaybı, uzun süreli ekrana maruz kalma, internet altyapısında yaşanan kesintiler, öğrencilerin ekipman eksiklikleri [5] ve motor becerilerde azalma [6] ilk sırada gelmektedir [7]. Sakarya (2019) tarafından yürütülen çalışmada pandemi sürecinde uzaktan eğitim ile yürütülen

teknik resim dersiyle ilgili değerlendirme yapılmıştır. Çukurova Üniversitesi Mimarlık Fakültesi İç Mimarlık Bölümünde 2019-2020 Eğitim Öğretim Dönemi Bahar Yarıyılında yürütülen ICM 120 Teknik Resim ve Tasarı Geometri-2 dersine kayıtlı 59 öğrenci ile gerçekleştirilen çalışmada öğrencilere Uzaktan Eğitim Değerlendirme Ölçeği uygulanmıştır. Öğrenciler uzaktan öğretim yöntemini olumlu olarak değerlendirmesine rağmen stüdyo yöntemini tercih ettiklerini ifade etmişlerdir [8]. Bingöl (2020), COVID-19 sürecinde Peyzaj Mimarlığı öğrencilerinin acil uzaktan öğretim sistemi üzerine görüşlerini değerlendirebilmek için çevrimiçi anket tasarlamıştır ve 136 lisans öğrencisi içerisinde basit tesadüfi yöntem ile 63 öğrenci ankete katılım sağlamıştır. Yapılan çalışma sonucunda acil uzaktan öğretimin bilgisayar destekli tasarım dersleri hariç uygulamalı derslerde uygun olmayacağına ulaşılmıştır [9]. İzmir Katip Çelebi Üniversitesi bünyesinde sanat ve tasarım eğitimi alan 45 öğrenci ile yürütülen çalışmada pandeminin eğitim üzerinde etkileri araştırılmış ve öğrencilerde motivasyon kaybı, sosyal faaliyetlerin azalması ve pratik gerektiren derslerin etkin yürütülemediği sonuçlarına ulaşılmıştır [10]. Çevrimiçi eğitim hangi yönlerden eğitimde daha etkilidir sorusunu araştırmak için yapılan çalışmalardan bazıları yaş gruplarına göre değiştiğini işaret etmektedir. Yaş grubu küçüldükçe dikkat dağınıklığının daha yoğun yaşandığı gözlenmektedir. Yaş grubu arttıkça doğru teknolojiyi kullanma becerisi artmakta ve geleneksel sınıf ortamı eğitimine göre %40-60 daha az zaman gerekmektedir [11]. Yeni eğitim araçlarının tecrübe edilmesi [12], zamanın etkin yönetimi ve online eğitimin istenilen mekanda istenilen saatte alınabilmesi de uzaktan eğitimin avantajları arasındadır [13,14,15].

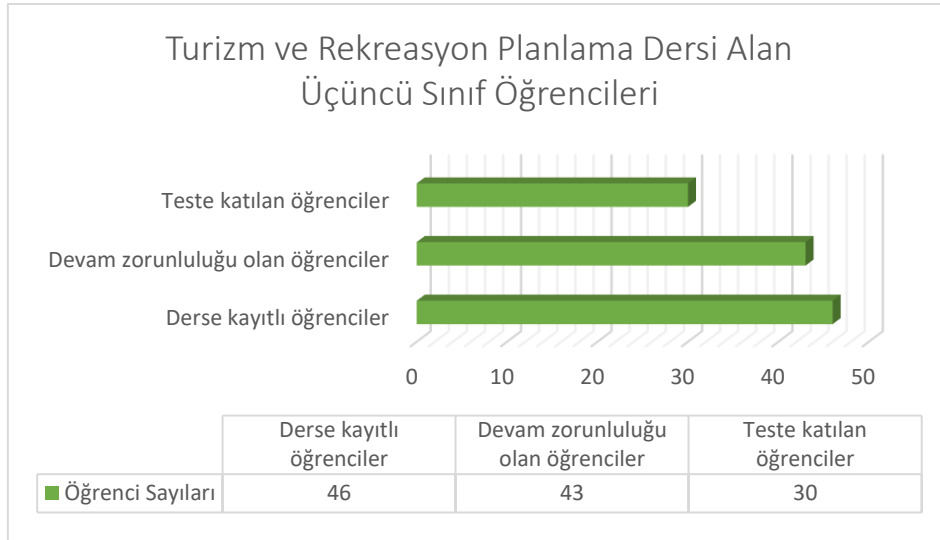
II. MATERYAL VE METOT

A. ÖRNEKLEM GRUBU-KATILIMCILAR

Çalışmada, pandemi döneminde uzaktan eğitim alan öğrencilerin bilişsel yeteneklerinde meydana gelen değişimlerin araştırılabilmesi için iki farklı örneklem grubu belirlenmiştir. Yüz yüze eğitim gören Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü Temel Tasarım dersi alan birinci sınıf öğrencileri ve yaklaşık on sekiz ay uzaktan eğitimle öğrenimlerine devam eden Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü Turizm ve Rekreasyon dersi alan üçüncü sınıf öğrencileri örneklem gruplarını oluşturmaktadır. Testin uygulanması için ideal zaman aralıklarında yer alması ve öğrenci sayılarının yüksek olması nedeniyle Temel Tasarım ve Turizm ve Rekreasyon dersleri seçilmiştir. Bilişsel yetenek düzeylerinin ölçümü amacıyla tasarlanan Bilişsel Yetenek Ölçüm Testi'ne katılım sayıları Şekil 2'de verilmiştir. Ders katılım sağlayan birinci sınıf öğrencilerinde teste katılım oranı %72,2; üçüncü sınıf öğrencilerinde %69,7'dir.



Şekil 2. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü Birinci ve Üçüncü Sınıf Öğrencileri Bilişsel Yetenek Testi Katılım Sayıları



Şekil 2. (devam) Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü birinci ve üçüncü sınıf öğrencileri bilişsel yetenek testi katılım sayıları

B. VERİ TOPLAMA YÖNTEM VE ARACI

İngilizce ‘Cognitive’ kelimesi Türkçe’ye ‘Bilişsel’ olarak çevrilmiştir ve zekanın işleyişini ifade etmektedir [16]. Duyularla çevreden alınan uyarıların beynimizde anlamlı hale getirilmesi, bilginin öğrenilmesi, problemlere karşı geliştirilen çözüm yolları, karar verme, hafıza ve bellek gibi zihinsel yetilerin toplamı bilişsel yeteneği oluşturmaktadır. Bilişsel yetenekleri yüksek olan bireylerin eğitim hayatından çalışma hayatına daha başarılı ve sosyal insanlar olduğu savunulmaktadır [17]. Araştırmacılara göre beynin çalışma kapasitesinin eğitimle artırılacağı düşünülmektedir. Bazı araştırmacılar ise zekanın genetik miras olduğunu savunmakta ve genlerle aktarıldığını ifade etmektedir [18]. Beynin bilişsel kapasitesinin artırılması ve hızlanması için yapılması gerekenlerin başında sağlıklı beslenmek ve egzersiz yapmanın yanı sıra hayal gücünün de gelişmesini sağlayan kitap okumak, yeni bir müzik aleti öğrenmek, şifrelenmiş bulmacalar çözmek, dil öğrenmek ve hayranlık duygusu uyandıran deneyimlerde bulunmak yer almaktadır [19]. Ramsden ve arkadaşları (2011) tarafından University College London’da yürütülen çalışmada ergenlik dönemlerinde bulunan 12-16 yaş arası 33 kişi test edilmiştir. Aynı katılımcılar dört yıl sonunda 15-20 yaş aralığında yeniden test edilmiş ve manyetik rezonans görüntüleme (MRI) kullanarak deneklerin yapısal beyin taramalarını yapmışlardır. IQ seviyelerinde farklılıklarla beraber nöro-görüntüleme teknolojisiyle beyin yapılarında da farklılıklar olduğu ortaya çıkmıştır. Bu çalışmada dört yılın sonunda IQ puanı 21 puan artan ya da 18 puan düşen katılımcılar olmuştur ve beyin yapılarında ki değişimlerle doğru korelasyon göstermektedirler [20]. İnsan vücudunda yer alan kasların egzersizle gelişim göstermesine benzer olarak beyin yapısının da geliştirilebileceği ya da tam tersi gerileyebileceği öngörülmektedir. Bilişsel yeteneklerimizin toplamından oluşan zeka değerimiz de çevresel ve bireysel etkenlerle değişim göstermektedir [19].

COVID-19 nedeniyle yaşanan pandemi sürecinde uzaktan eğitimin bireylerin bilişsel yetenekleri üzerinde ki etkilerini araştırmak için ‘Bilişsel Yetenek Ölçüm Testi’ geliştirilmiştir. Toplam 25 sorudan oluşan test için öğrencilere 40 dakika süre verilmiştir. Doğru cevaplandırılmış her soru 4 puandır ve yanlış verilen cevaplar doğru cevapları etkilememektedir. Teste katılan öğrencilerin görsel algı ve dikkati, işlem gücü, problem çözme gücü, düşünce gücü, üç boyutlu ve iki boyutlu hayal edebilme yetisi, sözel ve sayısal mantığı ölçmek için 9 soru türü kullanılmıştır (Tablo 1).

Tablo 1. Bilişsel yetenek ölçüm testi içeriği

SORU TÜRLERİ:	TEST İÇİ SORU NUMARALARI:	HEDEFLER:
RAKAM DİZİLERİ SORULARI	1., 2. ve 13. Sorular (Toplam 3 Soru)	➤ Görsel Algı ve Dikkat ➤ İşlem Gücü ➤ Ayrıntılama
HARF DİZİLERİ SORULARI	7. Soru (Toplam 1 Soru)	➤ İpuçları Üzerinden Detaylandırma ➤ Ayrıntılama ➤ Görsel Algı ve Dikkat
MANTIK YÜRÜTME KARE SORULARI	12. Soru (Toplam 1 Soru)	➤ Hareketli Parçaların İlişkilendirilmesi
İŞLEM VE PROBLEM SORULARI	5., ve 8. Sorular (Toplam 2 Soru)	➤ İşlem Yeteneği ➤ Problem Çözme Gücünün Ölçülmesi
AĞIRLIK SORULARI	6. Soru (Toplam 1 Soru)	➤ İşlem Yeteneği
GÖRSEL BULMACA SORULARI	4. ve 14. Sorular (Toplam 2 Soru)	➤ Çeşitli Şekiller İle İlgili Şifrelenmiş Görsellerin Çözümü ➤ Görsel Yargılama ➤ Görsel Algı ve Dikkat Ölçümü
SÖZEL VE SAYISAL MANTIK SORULARI	Sayısal Mantık Soruları: 20. ve 21. Sorular Sözel Mantık Soruları: 22., 23., 24., 25. Sorular (Toplam 6 Soru)	➤ Sözel ve Sayısal Mantık Soruları Üzerinden Düşünce Gücünün Ölçülmesi ve Belli Süreler İçerisinde Problem Çözme
ÜÇ BOYUTLU DÜŞÜNEBİLME (KÜP) SORULARI	3., 16., 17., 18. Sorular (Toplam 4 Soru)	➤ Üç Boyutlu Düşünebilme, Algılama ve Hayal Edebilme Yeteneği
İKİ BOYUTLU ŞEKİL SORULARI	9., 10., 11., 15., 19. Sorular (Toplam 5 Soru)	➤ Zemin Üzerinde İki Boyutlu Düşünebilme, Algılama ve Hayal Edebilme Yeteneği

BİLİŞSEL YETENEK ÖLÇÜM
TEST SORULARI İÇERİK ANALİZİ

C. TESTLERİN UYGULANMASI

Birinci örneklem grubu yüz yüze eğitim gören Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü birinci sınıf öğrencileridir. Birinci gruba testlerin uygulaması 2021-2022 Eğitim ve Öğretim Yılı'nın Birinci Dönemi'nin üçüncü haftasında 12.10.2021 tarihinde 'Temel Tasarım' dersinde saat 13.00'de gerçekleştirilmiştir. Testlere toplam 13 öğrenci katılmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü birinci sınıf öğrencileri

İkinci örneklem grubu uzaktan eğitim gören Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü üçüncü sınıf öğrencileridir. İkinci gruba testlerin uygulaması 2021-2022 Eğitim ve Öğretim Yılı'nın Birinci Dönemi'nin üçüncü haftasında 19.10.2021 tarihinde 'Turizm ve Rekreasyon Planlama' dersinde saat 13.00'de gerçekleştirilmiştir. Testlere katılan öğrenci sayısı 30'dur (Şekil 4).

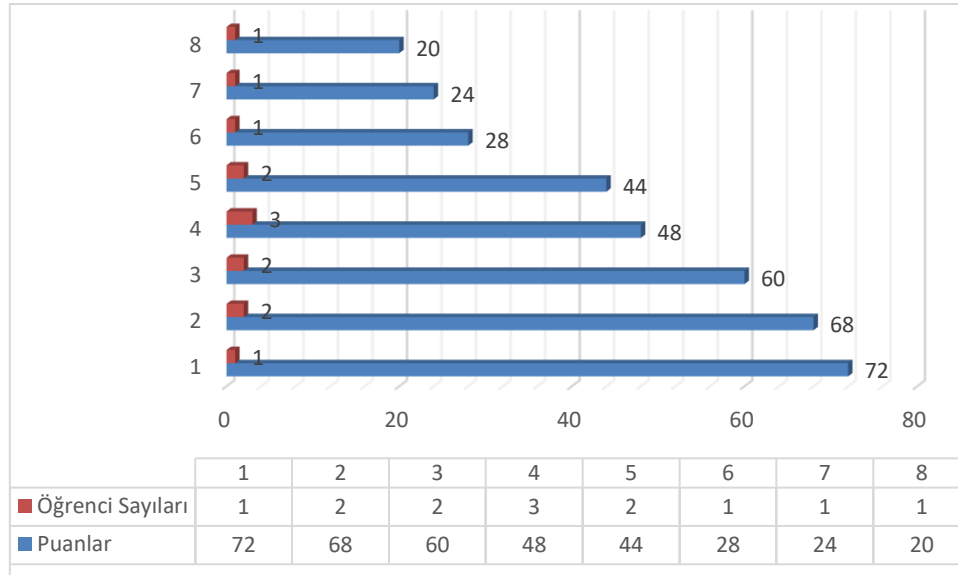


Şekil 4. Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü üçüncü sınıf öğrencileri

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

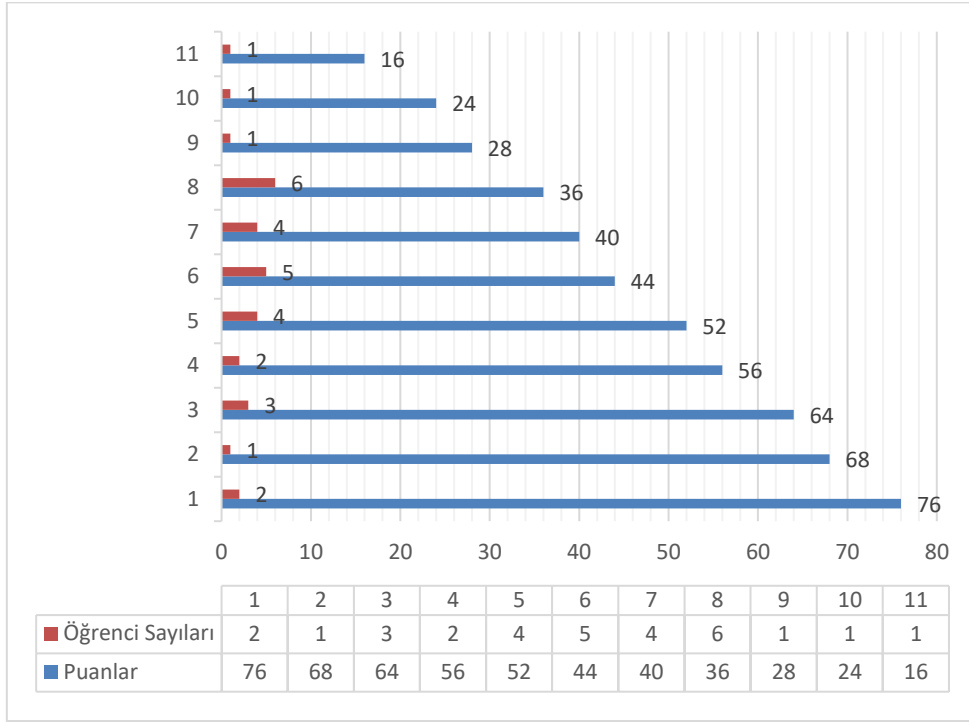
Birinci sınıf öğrencilerine uygulanan Bilişsel Yetenek Ölçüm Testi sonucunda öğrencilerin puan dağılımları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Birinci sınıf bilişsel yetenek testi sonuçları



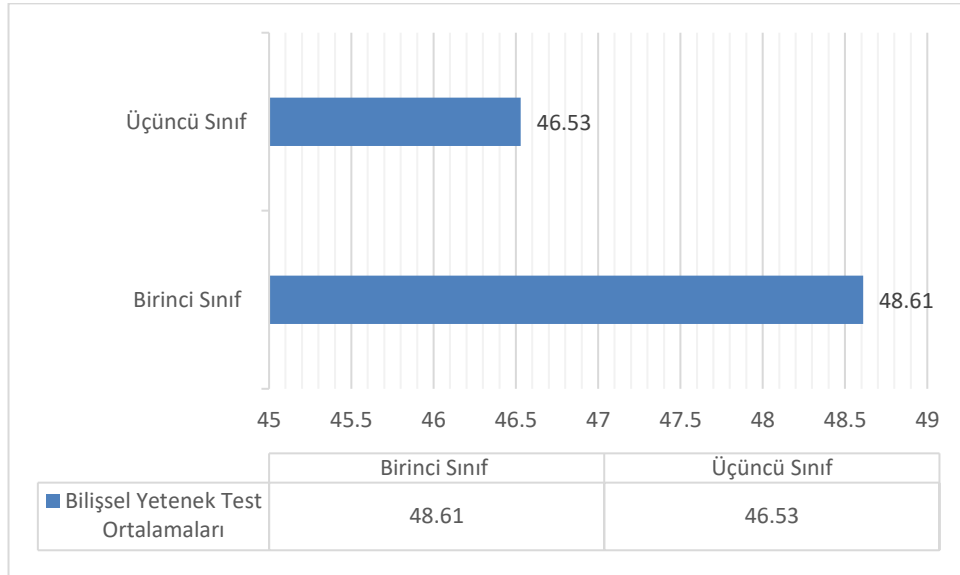
Pandemi sonrası yüz yüze eğitimlerine devam eden üçüncü sınıf öğrencilerine uygulanan test sonrasında öğrencilerin puan dağılımları Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Üçüncü sınıf bilişsel yetenek testi sonuçları



Yüz yüze eğitimle birinci sınıfa başlayan Peyzaj Mimarlığı Bölümü öğrencileriyle pandemi sonrası yüz yüze eğitimlerine devam eden üçüncü sınıf öğrencilerine uygulanan test sonrasında öğrencilerin ortalama puan dağılımları Tablo 4’de verilmiştir. Birinci sınıf öğrencilerin Bilişsel Yetenek Testi Puan Ortalamaları 48,61; Üçüncü sınıf öğrencilerin Bilişsel Yetenek Testi Puan Ortalamaları 46,53 puandır.

Tablo 4. Birinci ve üçüncü sınıf bilişsel yetenek test ortalamaları



IV. SONUC

Pandemi nedeniyle öğrenimlerinin yaklaşık 18 ayını online eğitimle devam ettiren üçüncü sınıf öğrencilerinin bilişsel yetenek test ortalamaları eğitime yüz yüze başlayan birinci sınıf öğrencilere göre

daha düşük çıkmıştır. Uygulama ağırlıklı ders içeriklerine sahip olan peyzaj mimarlığı bölümünün yüz yüze eğitimde daha etkin olduğu sonucuna varılmıştır. Online eğitimle teorik derslerin yürütülmesinde hem eğitimci hem de öğrenci tarafından zaman yönetimi, bilginin kayıt altına alınması ve istenildiğinde yeniden ulaşılabilirliği yönlerinden avantajlar bulunmaktadır. Öğrenci özellikle teorik derslerde kendi istediği zamanlarda sistem üzerinden ilgili ders içeriklerine ulaşabilmektedir. Stüdyo ortamında verilen proje derslerinin uzaktan eğitimle verilmesinde hem eğitimci hem de öğrenci için zorluklar yaşanmaktadır. Stüdyo ortamı sadece bilginin öğretilmesi değil aynı zamanda eğitimci-öğrenci ve öğrenci-öğrenci etkileşimlerinin yaşandığı, karşılıklı beyin fırtınasının yapılarak kritik alındığı, öğrencinin motivasyonunun yüksek kalmasını sağlayan etkinliklerin planlandığı entelektüel bir hareket alanıdır. Uzaktan eğitimle yürütülen uygulama derslerinde bu etkileşimler sınırlandırıldığı için bilişsel yeteneklerin de kullanımı azalmıştır. Tasarım ağırlıklı bölümlerde amaçlanan öğrencilerin problem çözme gücünün, görsel algı ve dikkatlerinin, üç boyutlu ve iki boyutlu hayal edebilme yetilerinin arttırılmasıdır. Üniversite eğitimi sürecinde kazandırılan bilgi ve donanımın yanında daha yaratıcı ve özgün çalışmaların ortaya çıkartılmasını sağlayan bilişsel yetenekler gelecekte de mesleğin başarılı sürdürülebilmesinde faydalı olacaktır. Ayrıca yüz yüze eğitimde de stüdyo ortamında verilen derslerde etkili öğretim için eğitimci-öğrenci sayıları, ders süreleri ve mekânsal olarak stüdyoların büyüklüğü ve donanımı iyi bir şekilde planlanmalıdır.

Bu çalışmanın sınırlayıcı yönlerinden biri katılımcıların sadece Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü öğrencilerinden oluşması ve sınırlı sayıda katılımcının yer almasıdır. Daha fazla katılımcının çalışmada yer alması için peyzaj mimarlığı alanında farklı üniversitelerden katılımcılar da uygulamaya dâhil edilmeli ve sonuçlar yeniden değerlendirilmelidir.

TEŞEKKÜR: 100/2000 Doktora Burs Projesi'nden dolayı YÖK'e ve desteklerinden dolayı TÜBİTAK'a teşekkür ederiz.

V. KAYNAKLAR

- [1] A. Sarp, C. Yücedağ ve L. G. Kaya, "Covid-19 pandemi sürecinde parklar üzerine kullanıcıların görüşleri: Antalya-Konyaaltı örneği," *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 12, s. 1, ss. 69–75, 2021.
- [2] WHO. (2022, July 19). *WHO Coronavirus (COVID-19) Dashboard* [Online]. Available: <https://covid19.who.int/>
- [3] UNESCO. (2022, Feb 08). *COVID-19: Total duration of school closures* [Online]. Available: <https://en.unesco.org/covid19/educationresponse#durationschoolclosures>
- [4] F. Us, "Mimarlıkta uzaktan eğitim: mimari tasarım stüdyosunda acil durum uzaktan eğitimi ve bir örnek üzerinden değerlendirilmesi," *The Turkish Online Journal of Design Art and Communication*, c. 11, s. 3, ss. 886–897, 2021.
- [5] A. Yıldız ve R. Akar Vural, "Covid-19 pandemisi ve derinleşen eğitim eşitsizlikleri," *Türk Tabipler Birliği, Türkiye, Türk Tabipleri Birliği Covid19 Pandemisi Altıncı Ay Değerlendirme Rap. 09*, 2020.
- [6] İ. Turan and Y. Erkan Yazıcı, "Design recommendations for the use of primary schools during the pandemic and post-pandemic," *Journal of Interior Design and Academy*, vol. 1, no. 1, pp. 14–33, 2021.
- [7] Y. Şekerci, H. Mutlu Danacı ve Z. Kaynakçı Elinç, "Uzaktan eğitimin uygulamalı derslerde sürdürülebilirliği: mimarlık bölümleri örneği," *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 12, s. 1, ss. 54–68, 2021.

- [8] K. Sakarya, "Pandemi sürecinde uzaktan eğitim ile yürütülen teknik resim dersine dair bir değerlendirme: Çukurova Üniversitesi İç Mimarlık Bölümü örneği," *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, s. 25, ss. 282–290, 2021.
- [9] B. Bingöl, "Covid-19 sürecinde peyzaj mimarlığı öğrencilerinin acil uzaktan öğretim sistemi üzerine görüşleri: Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi örneği," *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, s. 20, ss. 890–897, 2020.
- [10] S. Dilmaç, "Students' opinions about the distance education to art and design courses in the pandemic process," *World Journal of Education*, vol. 10, no. 3, pp. 113–126, 2020.
- [11] C. Li and F. Lalani. (2020, Apr 29). *Students' opinions about the distance education to art and design courses in the pandemic process* [Online]. Available: <https://www.weforum.org/agenda/2020/04/coronavirus-education-global-covid19-online-digital-learning/>
- [12] Y. Özgüven, A. Kumsal Şen Bayram ve E. Cantürk, "Mimari tasarım stüdyosunda bir tamir deneyimi: Covid-19 ve uzaktan eğitim süreci," *Ege Mimarlık*, c. 4, s. 108, ss. 64–69, 2020.
- [13] A. Bozkurt, "Türkiye’de uzaktan eğitimin dünü, bugünü ve yarını," *Açıköğretim Uygulamaları ve Araştırmaları Dergisi*, c. 3, s. 2, ss. 85–124, 2017.
- [14] H. İ. Solak, G. Ütebay ve B. Yalçın, "Uzaktan eğitim öğrencilerinin basılı ve dijital ortamdaki sınav başarılarının karşılaştırılması," *Açıköğretim Uygulamaları ve Araştırmaları Dergisi*, c. 6, s. 1, ss. 41–52, 2020.
- [15] E. Kavuk, H. Demirtaş, "Covid-19 pandemisi sürecinde öğretmenlerin uzaktan eğitimde yaşadığı zorluklar," *E-International Journal of Pedagogogy (e-ijpa)*, c. 1, s. 1, ss. 55–73, 2021.
- [16] Türk Dil Kurumu Sözlükleri. (2019). *Genel Türkçe Sözlük* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://sozluk.gov.tr/>
- [17] D. Eagleman, "Bir rakipler takımı olarak beyin," *Beynin Gizli Hayatı (Incognito)*, 28. baskı, İstanbul, Türkiye: Domingo Yayın Evi, 2018, böl. 5, ss. 103-153.
- [18] A. O. Engin, M. Calapoğlu, M. A. Seven ve A. Yörük, "Davranışlarımızın genetik ve çevresel boyutları," *Kafkas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 1, s. 2, ss. 37-56, 2008.
- [19] E. Esen, "Beynimizi zinde tutmak," *Osmangazi Tıp Dergisi*, c. 38, s. 1, ss. 13-16, 2016.
- [20] S. Ramsden, F. Richardson, G. Josse et al. "Verbal and non-verbal intelligence changes in the teenage brain," *Nature*, vol. 479, pp. 113–116, 2011.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Sıcak Yırtılmanın Alüminyum Alaşımlarının Metal Kalitesine Etkisinin İncelenmesi ve Alaşımların Titreşim Karakteristiğinin Belirlenmesi

Engin TAN ^{a,*}, Derya DIŞPINAR ^b, Ali Tekin GÜNER ^c, Gökmen ATLIHAN ^d

^a Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, TÜRKİYE

^b Global R&D Non Ferrous Metal Treatment Center, Foseco, Enschede, NEDERLAND

^c Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, TÜRKİYE

^d Makine Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, TÜRKİYE

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

DOI: 10.29130/dubited.1013025

ÖZ

Alüminyum alaşımlarının döküm yoluyla üretilmesindeki önemli kusurlardan birisi sıcak yırtılmadır. Bu çalışmada, farklı özelliklere sahip 1050 ve 5083 döküm alaşımlarının sıcak yırtılmaları araştırılmış ve sıcak yırtılmaya neden olan tasarım parametreleri ile döküm koşulları belirlenmiştir. Ayrıca sıcak yırtılmanın metalografik ve mekanik özellikler üzerindeki etkileri de araştırılmıştır. Bununla birlikte, Vakum Altında Katılma Testi (VAKT) ile bifilm indeks ölçümleri gerçekleştirilerek sıcak yırtılmanın metal kalitesi üzerindeki etkileri, döküm alaşımlarının yapısındaki porozitelerin varlığına bağlı olarak incelenmiştir. Son olarak, döküm alaşımlarının doğal frekans analizleri ve titreşim testleri yapılmış, serbest titreşim ve burkulma karakteristikleri farklı sınır koşulları altında ayrı ayrı incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sıcak yırtılma, Alüminyum alaşımı, Bifilm, Metal kalitesi, Titreşim

Investigation of the Effect of Hot Tearing on the Metal Quality of Aluminum Alloys and Determination of the Vibration Characteristics of Alloys

ABSTRACT

One of the major defects in the production of aluminum alloys by casting is hot tearing. In this study, hot tearing of 1050 and 5083 casting alloys with different properties were investigated and the design parameters and casting conditions caused hot tearing were determined. In addition, the effects of hot tearing on metallographic and mechanical properties were also investigated. In addition, the effects of hot tear on metal quality were investigated depending on the presence of porosities in the structure of the casting alloys by performing bifilm index measurements with the RPT method. Finally, natural frequency analyzes and vibration tests of casting alloys were carried out, and free vibration and buckling characteristics were investigated separately under different boundary conditions.

Keywords: Hot tearing, Aluminum alloy, Bifilm, Metal quality, Vibration

I. GİRİŞ

Günümüzde alüminyum ve alaşımları; hafiflik ve yüksek şekillenme kabiliyeti özelliklerinden dolayı, otomotiv endüstrisi, havacılık ve uzay sanayi, çeşitli deniz yapıları, gıda ve mutfak endüstrisi gibi birçok endüstriyel uygulamada kullanılmaktadır. Alüminyum alaşımlarının döküm yolu ile üretiminde çeşitli zorluklar ve hatalar ile karşılaşmaktadır. Döküm prosesinde, hammadde, ergitme parametreleri, kalıp malzemesi ve tasarımı ile farklı katılma koşullarına bağlı olarak yüzden fazla hatayla karşılaşıldığı bilinmektedir [1]. Bu hatalar, nihai ürünün mekanik özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir. Döküm yolu ile üretimde karşılaşılan hatalardan en önemli iki hata porozite ve sıcak yırtılmadır [2]. Sıcak yırtılma, katılma esnasında meydana gelmektedir ve “döküm alaşımının geometrisine bağlı olarak, dökümün kritik bölgelerinde (özellikle kesit farklılığı olan bölgelerde) en son kalan sıvının ayrışması” olarak tanımlanmaktadır [3, 4]. Farklı kalınlardaki kesitlerin soğuması esnasında, soğuma hızlarının farklılığından dolayı kritik kesitlerde görülen sıcak yırtılmalar döküm prosesinde karşılaşılan en önemli problemlerden birisidir. Sıcak yırtılma hatasını karakterize eden bazı özellikler bulunmaktadır. Sıcak yırtılma, her alaşımda ve her zaman aynı koşullarda görülmeyip tamamen rastgele oluşmaktadır, dağınık, dallanmış çatlaklar halinde şekillenerek çatlak ilerlemesi genellikle tanelerarası (transgranular) gerçekleşmektedir, yüzey morfolojisi genel olarak dendritiktir ve hata yüzeyi yoğun oksit tabakaları içermektedir [5, 6]. Demir dışı metallerde sıcak yırtılmaya etki eden başlıca faktörler; alaşımın kompozisyonu, tane yapısı, boyutu ve morfolojisi, döküm ve kalıp sıcaklıklarıdır [3]. Sıcak yırtılma analizleri CRC (Constrained Rod Casting-Sınırlanmış Döküm Çubuk) kalıbı, T şekilli ve yük hücre modifiyeli T şekilli kalıp, backbone (omurga), ring mould (halka kalıp), WPI (Worcester Polytechnic Institute) kalıbı, cold finger (soğuk parmak) gibi çok farklı kalıp tasarımlarıyla test edilebilmektedir [7-14].

Alüminyum alaşımlarının kaliteli üretiminde en temel iki husus, içsel ve dışsal hatalar olarak adlandırılacak hataların ortadan kaldırılmasıdır. İçsel hatalar mikroyapıdan kaynaklanan *sıcak yırtılma*, tane boyutu, segregasyon ve benzeri hatalar iken, dışsal hatalar ise üretim sırasında potadan karışan inklüzyon veya hava ile reaksiyon sonucu yüzeyde oluşan oksitlerin ergiyiğe karışması olarak değerlendirilebilmektedir [15, 16]. Dışsal hatalardan en önemlileri bifilmelerdir. Çift film olarak da adlandırılan bu hatalar, alüminyum ve alaşımlarının dökümü esnasında, ergimiş metal ile havadaki rutubet arasındaki reaksiyon sonucu yüzeyde oluşan oksit filmlerinin, başta türbülans olmak üzere çeşitli sebeplerle parçalanıp katlanarak sıvı metal içerisine dağılmaları ve aralarına bir miktar da havanın difüze olmasıyla meydana gelirler [17-19]. Bifilmeler, porozite gibi hataların temelini oluştururlar ve mikroyapıda çatlak görevi görerek düşük mekanik özelliklere neden olurlar [20, 21]. Bifilm-porozite ilişkisini açıklayabilecek deneysel yöntem Vakum Altında Katılma Testi – VAKT (Yaygın literatür ifadesi: RPT – Reduced Pressure Test)’dir. 1950’li yıllardan bugüne kadar sıvı metal içerisindeki hidrojen içeriğini belirlemek üzere kullanılan [22] bu yöntem, ilk kez olarak Dışınar ve Campbell’in öncülüğünde [20, 21, 23] yapılan çalışmalarda bifilm içeriğini tespit etmek için kullanılmıştır. Bu çalışmalarda VAKT’nin bifilm içeriğini tespit etmede başarılı bir şekilde kullanılabildiğini ispatlamışlardır. VAKT yönteminin temel prensibi; yaklaşık olarak 100 g ağırlığındaki sıvının vakum odası içindeki bir kalıba dökülerek, seçilmiş uygun vakum değeri altında katılmasıdır. Kaliteli alaşımlarda, katılma sonrası döküm parçası yüzeyindeki bifilm miktarı düşük iken, hatalı alaşımlarda yüksek miktarda bifilm görülmektedir ve bifilm miktarlarının ölçülmesiyle metal kalitesi belirlenebilmektedir [24, 25].

Alüminyum alaşımlarının kullanıldıkları sektörler ileri teknoloji gerektiren ve güvenlik faktörlerinin üst derecede önemli olduğu sektörlerdir. Bu nedenle bu sektörlerde kullanılan araçların ve ekipmanların güvenlik unsurlarının belirlenmesinde hatasız bir üretim ile birlikte, mukavemet ve rijitlik unsurları da oldukça önemlidir. Üretilen parçalarda bulunan sıcak yırtılma, porozite vb. döküm hataları, parçanın rijitliğinde azalmalara ve buna bağlı olarak doğal frekansta düşüslere neden olacaktır. Eğer bir parçanın doğal frekansı çalışma frekansı ile çakışırsa parçada rezonans meydana gelecektir ve büyük hasarlarla sonuçlanacaktır. Bu nedenlerle, düşük yoğunluk ve yüksek dayanıma ek olarak sağladığı darbe dayanımı, titreşim sönmüleme veya ısı iletim yetenekleri gibi ilave gelişmiş özellikler ile işlevsel malzemelere yönelik çalışmalar artmaktadır [26-30].

Bu çalışmada, 1050 ve 5083 alaşımlarının döküm yolu ile üretiminde meydana gelen sıcak yırtılmalar CRC (Constrained Rod Casting-Sınırlandırılmış Döküm Çubuk) kalıp yöntemi kullanılarak test edilmiştir. Sıcak yırtılma bölgelerinin metalografik karakterizasyonu SEM analizleri ile belirlenmiştir. Sıcak yırtılmanın mekanik özelliklere etkileri ise sertlik ölçümleri ve çekme testleri ile incelenmiştir. Sıcak yırtılma ile metal kalitesi arasındaki ilişkiyi belirlemek üzere alaşımlara VAKT testleri uygulanmış ve bifilm indeks ölçümleri gerçekleştirilmiştir. İlave olarak, üretilen döküm alaşımlarının titreşimleri doğal frekans analizleri ile deneysel olarak belirlenmiş ve farklı sınır şartlarında serbest titreşim ve burkulma karakteristikleri incelenmiştir.

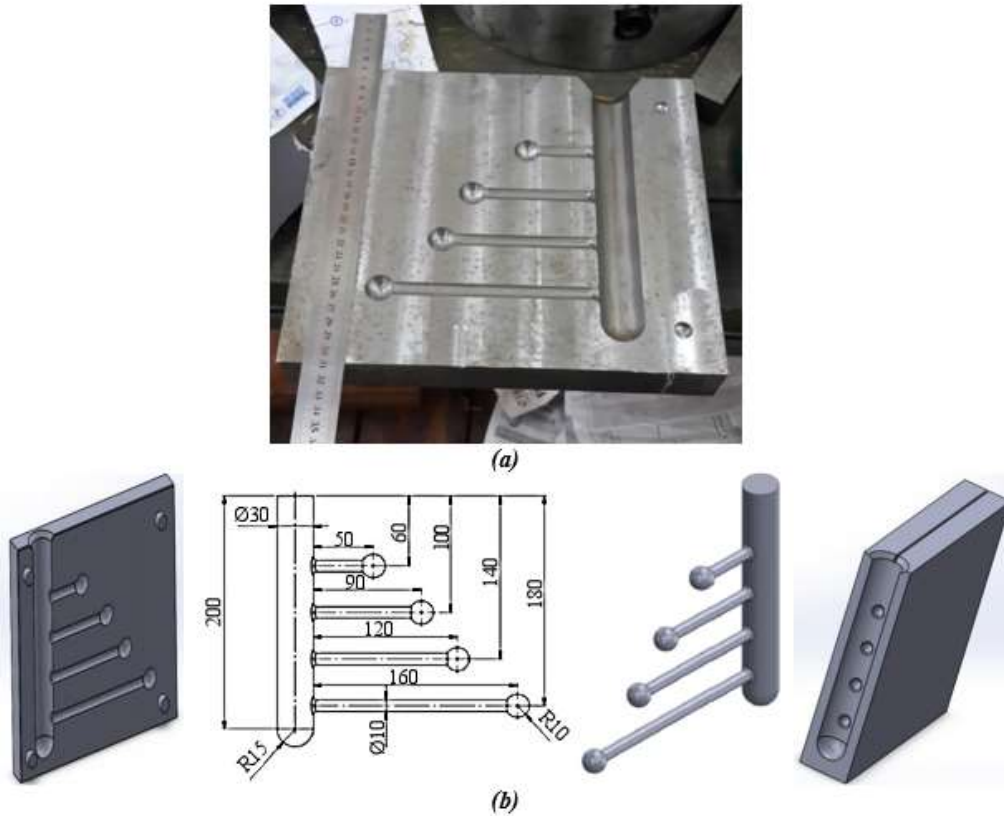
II. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada, 1050 ve 5083 alüminyum alaşımlarının sıcak yırtılma özellikleri incelenmiştir. Çalışmada kullanılan alaşımların kimyasal bileşimleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan alaşımların kimyasal bileşimleri (%).

Alaşım	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Ga	V	Al
1050	0,104	0,265	0,000	0,014	0,001	0,000	0,002	0,001	0,020	0,009	0,008	Kalan
5083	0,14	0,22	0,035	0,64	4,64	0,092	0,005	0,023	0,033	0,01	0,015	Kalan

Çalışmada alaşımların sıcak yırtılma karakteristikleri CRC (Constrained Rod Casting-Sınırlandırılmış Döküm Çubuk) kalıp yöntemi kullanılarak test edilmiştir. Şekil 1’de alt ve üst derece olarak iki adet imalatı gerçekleştirilen sıcak yırtılma kalıbının fotoğrafları ve Solidworks programında oluşturulan katı modeli ile boyutları literatürde [14] yer alan kalıp tasarımlarına uygun olarak verilmiştir.



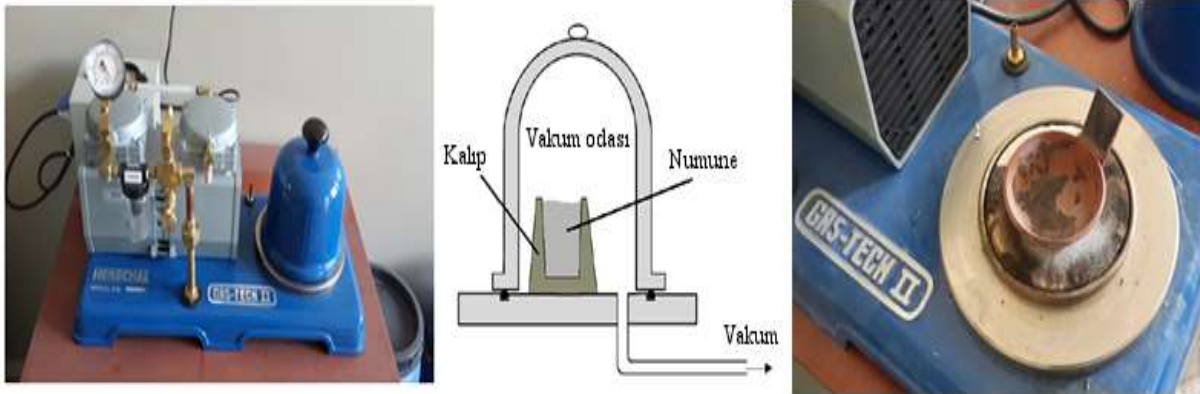
Şekil 1. Sıcak yırtılma kalıbı (a) İmal edilmiş (b) Katı modeli ve boyutları.

Ticari olarak temin edilen alaşımlar, 10 kg kapasiteli ergitme fırınında 730 °C sıcaklıkta ergitilmiştir. Ergitme fırınında sıvı hale getirilen malzeme, Şekil 1’de verilen kalıba dökülmeden önce, kokil kalıba ön ısıtma işlemi yapılmıştır. Bu ön ısıtma işlemi, viskozitesi yüksek olan alüminyum alaşımının, ince çubukları tam olarak doldurmadan katılaşmasını önlemek amacıyla uygulanmaktadır. Bununla birlikte, döküm parçanın katılaştıktan sonra kalıptan kolay ayrılması için kalıp boyası ve bor karbür (B₄C) sprej uygulanmıştır. Ön ısıtma işlemi sonrası döküm işlemi, Şekil 2’de gösterildiği gibi gravity olarak gerçekleştirilmiştir. Döküm sonrası parça, kalıp içinde soğumaya bırakılmıştır.



Şekil 2. Sıcak yarıtlma kalıbına döküm işleminin gerçekleştirilmesi.

Sıcak yarıtlma ile metal kalitesi arasındaki ilişkiyi belirlemek üzere, VAKT testleri Şekil 3’te verilen VAKT test cihazında gerçekleştirilmiştir. Vakum basıncı olarak 0,9 bar sabit basınç seçilmiştir. Sıvı metal, belirlenen sabit vakum basıncı altında yine Şekil 3’te verilen kalıba dökülerek hazırlanmıştır. Numuneler hazırlandıktan sonra manuel kesme cihazı ile kesilerek kesit görüntüleri alınmıştır. Kesit görüntülerinden bifilm uzunlukları hesaplanarak, sonuçları karşılaştırmak üzere bifilm indeks ölçümleri yapılmıştır.



Şekil 3. VAKT test cihazı ve şematik gösterimi [19].

Alaşımın mekanik özelliklerini incelemek için sertlik ölçümleri ve çekme testleri uygulanmıştır. Sertlik ölçümleri Matsuzawa DXT Rockwell sertlik ölçüm cihazında HRA skalası kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çekme testi numuneleri ASTM E8/E8M-09 standardına göre silindirik çekme numunesi olarak işlenmiştir ve çekme testleri 100 kN kapasiteli Hardway WDW100 serisi çift kolon çekme-basma test cihazında gerçekleştirilmiştir. Sıcak yırtılma bölgelerinin SEM analizleri, Jeol marka JSM 5600 model SEM cihazı ile gerçekleştirilmiştir.

Çalışma kapsamında, metal kalitesiyle titreşim karakteristikleri arasındaki ilişkiyi belirlemek üzere serbest titreşim testleri DEWE – 43 veri toplama sistemi ve MSI – BR – ACC ivmeölçer kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında burkulma testleri, Instron marka universal test cihazında gerçekleştirilmiştir. Serbest titreşim testleri tutulu-serbest (C-F), burkulma testleri ise tutulu-tutulu (C-C) sınır şartları altında homojen Timoshenko kiriş teorisine göre [31-33] uygulanmıştır.

Titreşim ve burkulma testlerinde her alaşım için üçer numune hazırlanmıştır ve burkulma yükleri Eş. 1’de, serbest titreşim analizi sonucu temel frekans değerleri de Eş. 2’de verilen bağıntılarla boyutsuz değerlere dönüştürülmüştür.

$$\alpha = \frac{PL^2}{EI} \quad (1)$$

$$\bar{\omega} = \omega L^2 \sqrt{\left(\frac{\rho A}{EI}\right)} \quad (2)$$

Verilen bağıntılarda; P burkulma yükünü, E elastisite modülünü, L numune boyunu, I atalet momentini, ω dairesel temel frekans değerini, ρ yoğunluğu, A ise numune kesit alanını ifade etmektedir [31, 34].

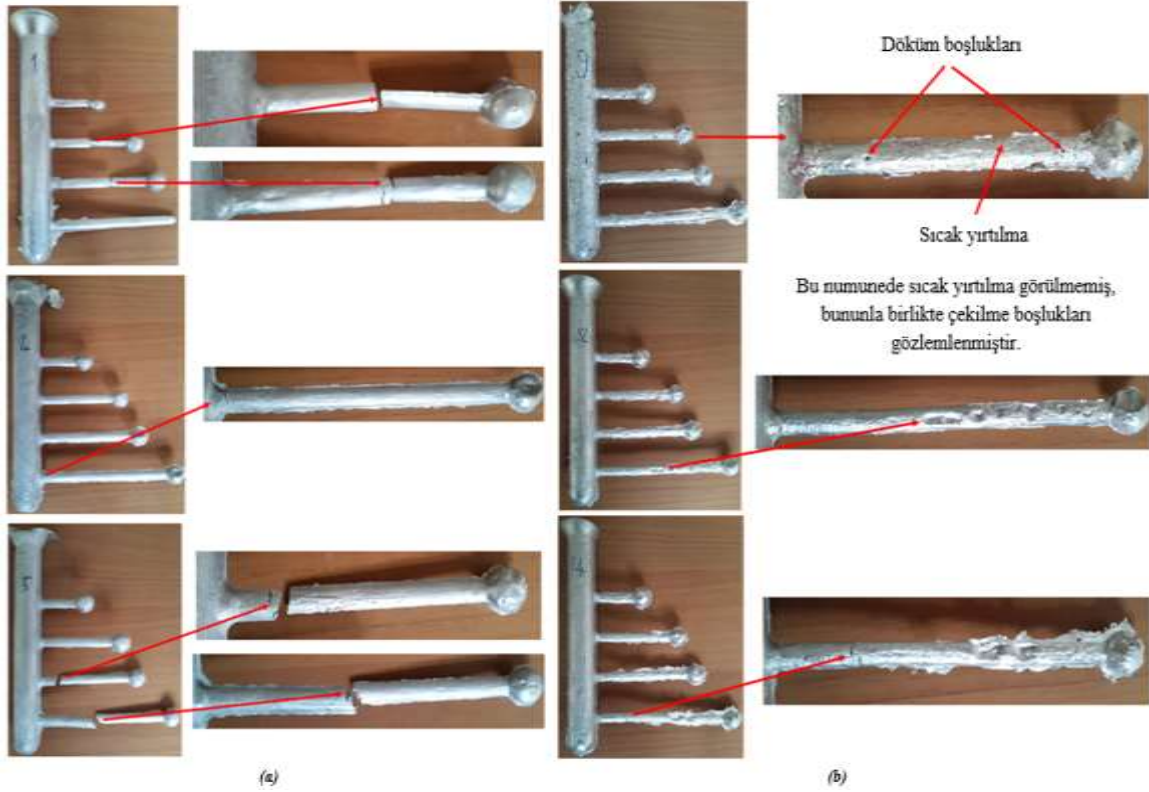
III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Şekil 4’te 1050 ve 5083 alaşımından çubukların sıcak yırtılma bölgeleri gösterilmiştir. Verilen şekillerde görüldüğü üzere, her numunede çubukların farklı bölgelerinde ve farklı şiddetlerde yırtılma meydana gelmiştir. Nitekim dökümde karşılaşılan sıcak yırtılma hataları, literatürde “gelişigüzel, rastgele oluşan, her zaman aynı şartlarda oluşmayan” şeklinde tanımlanmaktadır [3]. Bununla birlikte tüm numunelerde döküm çubuklarının tam olarak dolmadığı ve yer yer döküm boşluklarının bulunduğu gözlemlenmiştir. Bu durum, 5083 alaşımının akıcılığının oldukça düşük olması ve bu nedenle kalıbı tam olarak doldurmadan katılaşması ile açıklanmaktadır. Ayrıca bu sonuç, literatürde de birçok döküm probleminin sorumlusu olarak kabul edilen bifilmelerin etkisi ile ilişkilendirilmektedir [5]. Genel olarak, dikey yolluğun kollarla bağlantı noktalarındaki büzülme oranlarının da sıcak yırtılmayı tetiklediği ve bu bölgelerde görülen sıcak noktaların, genellikle ötektik katılaşma sonucu bifilmelerin bu bölgelere itilmesi ve porozite oluşurmasıyla meydana geldiği değerlendirilmiştir.

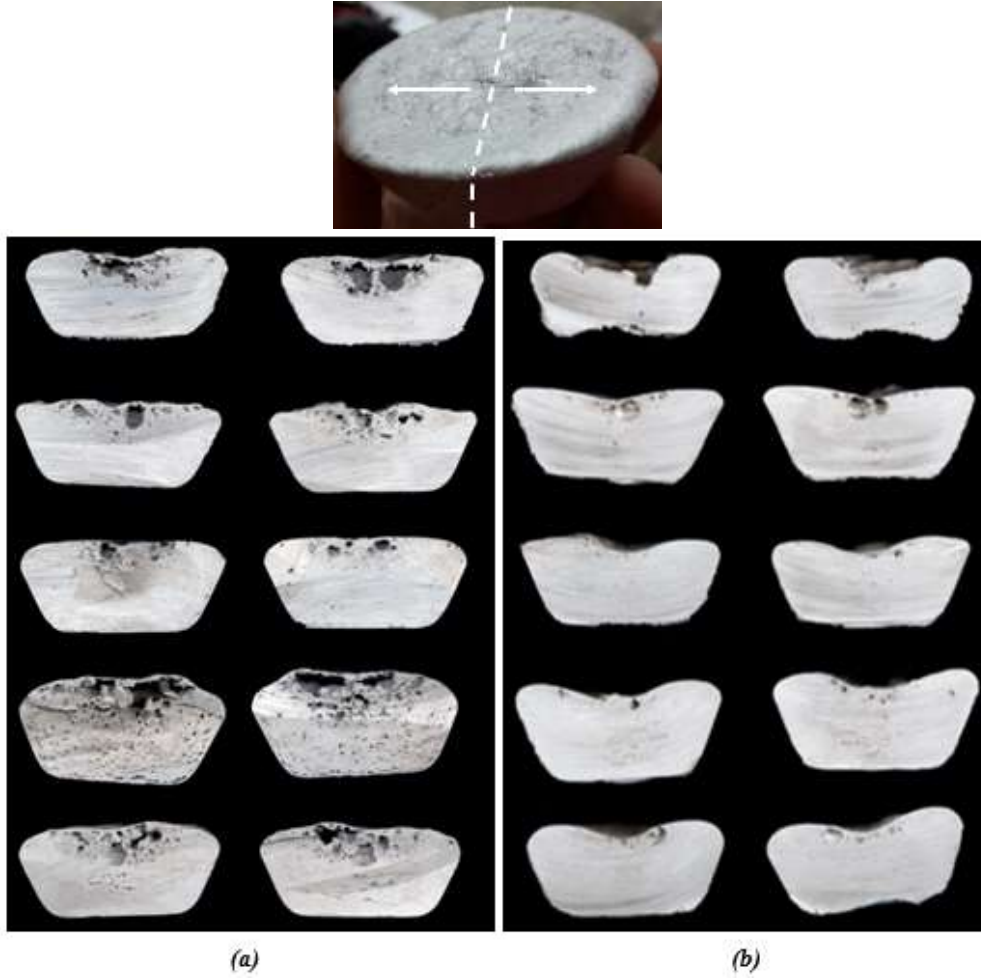
Katılaşma sonrası döküm parçalarda oluşan poroziteleri belirlemek ve bu poroziteleri sıcak yırtılma hasarları ile ilişkilendirmek üzere VAKT testi gerçekleştirilmiştir. Şekil 5’te 1050 ve 5083 alaşımlarına ait farklı dökümlerden elde edilen VAKT numunelerinin ve bu numunelerde oluşan porozitelerin görüntüleri verilmiştir. VAKT numuneleri Şekil 5’te gösterilen kesikli çizgiler boyunca düşey yönde kesildikten sonra, oklar yönünde porozite görüntüleri alınmıştır.

1050 alaşımında VAKT testi sonucunda oluşan porozitelerin miktarı oldukça fazladır. Bu durum 1050 alaşımından hazırlanan sıcak yırtılma çubuklarında oldukça yüksek miktarda sıcak yırtılmaların meydana gelmesi ve hatta birçoğunda kırılmalar şeklinde sonuçlanmıştır. Şekil 5’te karşılaştırmalı olarak verildiği üzere, 5083 alaşımında meydana gelen poroziteler, 1050 alaşımına göre oldukça düşük miktardadır. Porozitelerin miktarlarının sayısal karşılaştırması ise, Şekil 6’da verilen bifilm indeks değerleri ile yapılabilmektedir. Bifilm indeks değeri arttıkça porozite miktarı artmaktadır.

Sıcak yırtılmalarla bifilmliğin ilişkisini gösteren bir diğér gösterge, bifilmliğin yoğun olduğu bölgelerde bifilmliğin açılıp poroziteyi oluşturmalarıdır [35]. Şekil 6'da verilen iki alaşımın ortalama bifilm indeks değerlerine göre, 1050 alaşımının ortalama bifilm indeksi 88,5 mm iken, 5083 alaşımında bu değér 30,1 mm olarak belirlenmiştir. 1050 alaşımına göre bifilm indeksi yaklaşık % 66 oranında daha düşük olan 5083 alaşımında sıcak yırtılmaların oldukça az olması ve daha çok yüzey çöküntülerinin gözlenmesi (Şekil 4), bifilm indeksi çok daha yüksek olan 1050 alaşımında ise, yüzey çöküntülerinin görülmeyip sıcak yırtılmaların fazla olması bu sonucu desteklemektedir. Ayrıca Campbell da yaptığı çalışmalarda, bifilmliğin yokluğunda sıvı/katı büzülme gerilmelerinin yüksek olduğunu ve bunun yüzey çökmesine yol açabileceğini göstermiştir [36]. Benzer şekilde Uludağ vd. yaptıkları çalışmada, katılaşma morfolojisi ve katılaşma aralığı parametrelerine ve bifilm indeks yoğunluğuna göre farklı alüminyum alaşımlarında sıcak yırtılma ile yüzey çöküntüleri arasındaki ilişkiyi belirlemiştir [37].

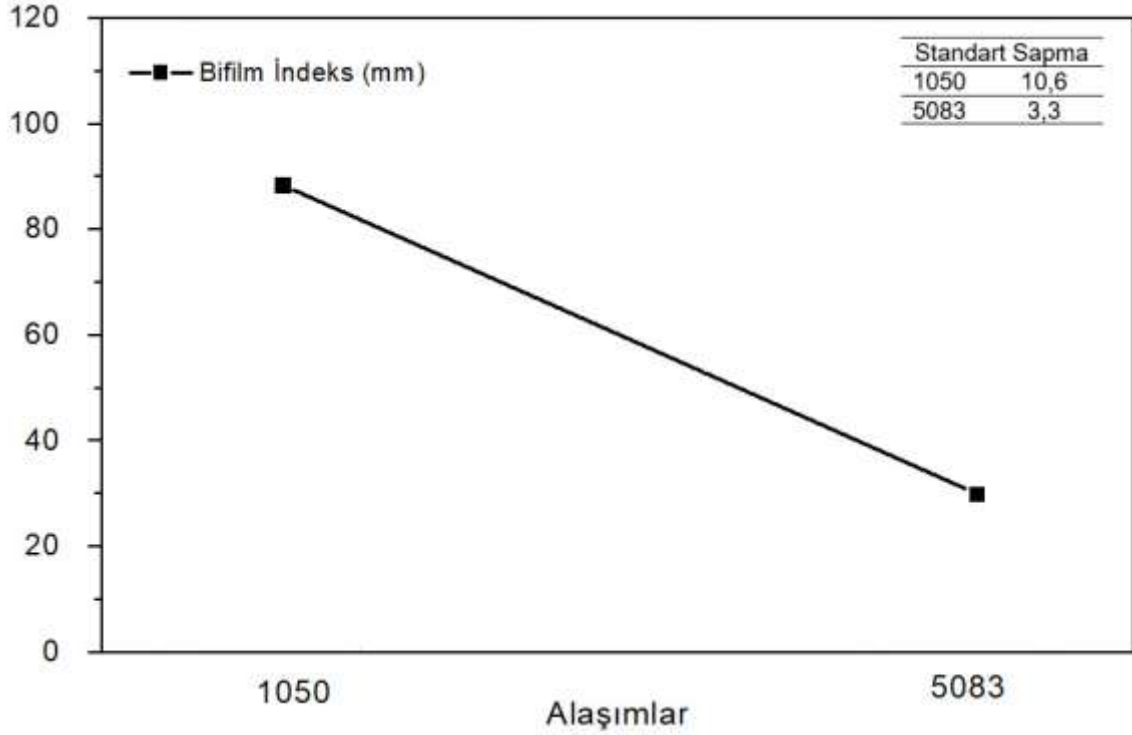


Şekil 4. (a) 1050 (b) 5083 alaşımında meydana gelen sıcak yırtılma bölgeleri.



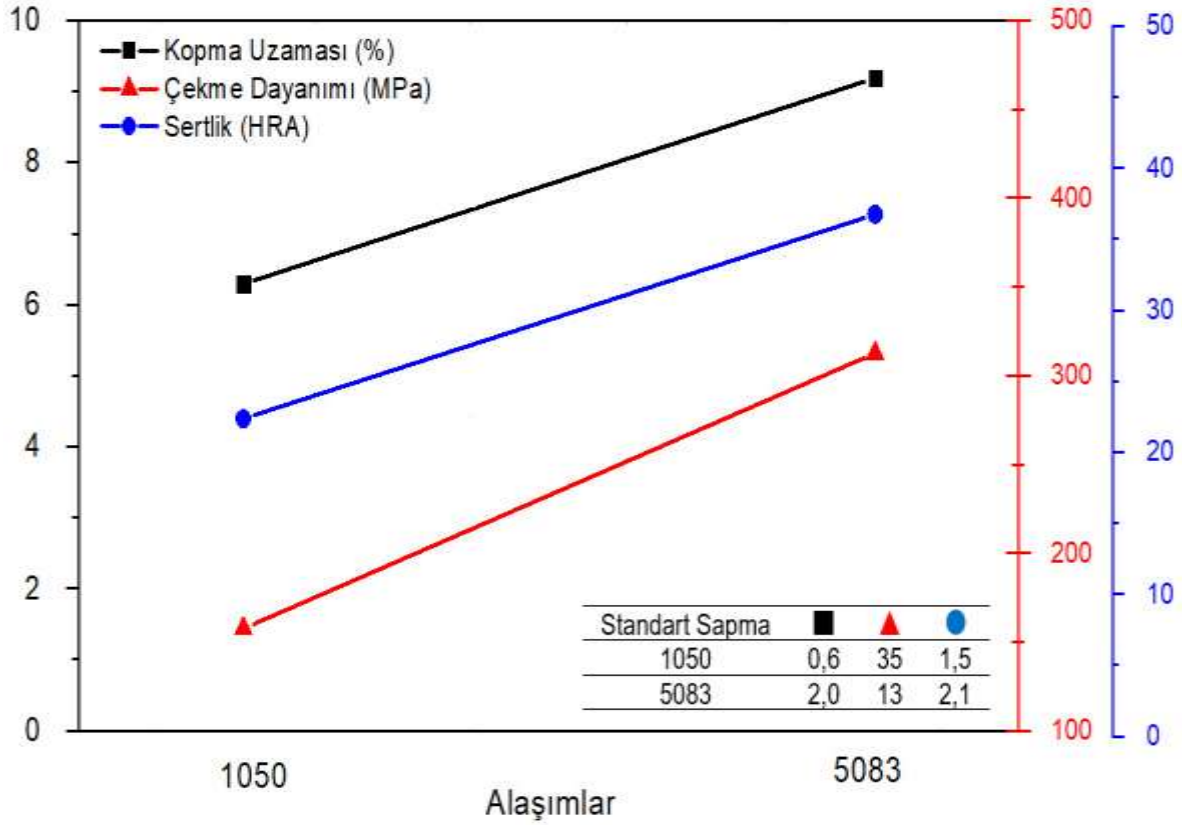
Şekil 5. (a) 1050 alaşımına, (b) 5083 alaşımına ait VAKT numuneleri ve oluşan poroziteler.

Alaşım elementi oranı 1050 alaşımına göre daha yüksek olan 5083 alaşımında likidus (sıvılaşıma) ve solidus (katılaşıma) sıcaklıkları arası bölgenin geniş olması (GKAS – Geniş Katılaşıma Aralığına Sahip alaşımlar), yarı katı bölgede (mushy zone) katılaşıma morfolojisinin değişmesine ve döküm parçada pürüzlü yüzeyler oluşmasına neden olmaktadır. Saf metaller ise DKAS (Dar Katılaşıma Aralığına Sahip) alaşımlar olduğundan, bu çalışmada 1050 alaşımından döküm çubuklarının yüzeyi çok daha parlak ve pürüzsüz olarak elde edilmiştir. Sonuç olarak, bifilm indeksi ve buna bağlı olarak porozite miktarı 5083 alaşımına göre daha fazla olan 1050 alaşımında daha fazla sıcak yırtılma hasarları meydana gelmiştir. Bununla birlikte, 5083 alaşımının akıcılığının düşük olması ve kalıpta erken katılaşımdan dolayı çubuklar üzerinde döküm boşlukları gözlemlenmiştir. Bu nedenle, 5083 alaşımının yüzey kalitesinin 1050 alaşımından daha kötü olduğu görülmüştür.



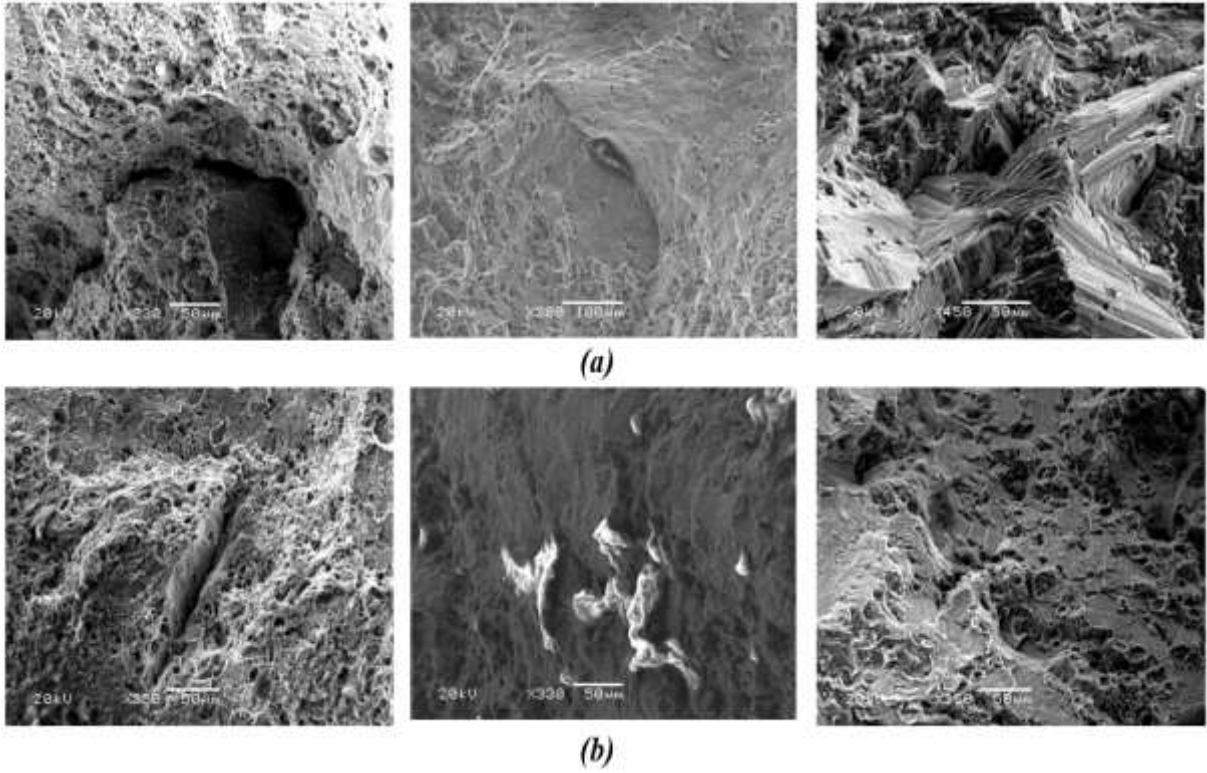
Şekil 6. İki alaşımın ortalama bifilm indeks değerlerinin karşılaştırması.

1050 ve 5083 alaşımlarına ait sertlik ölçüm sonuçları, çekme testi sonucunda elde edilen çekme dayanımı kopma uzaması değerleri Şekil 7’de verilmiştir. Dayanım değerleri ile bifilm indeks arasındaki ilişki literatürde, bifilm indeks değerinin artmasıyla mekanik özelliklerde düşüş görölmesi olarak verilmektedir [35, 38]. Nitekim Şekil 7’de verilen iki alaşıma ait ortalama çekme dayanımı değerlerinde 1050 alaşımında, deneysel veriler arasındaki sapmaların 5083 alaşımına göre yaklaşık 2,7 kat daha fazla olduğu görölmektedir. Değerlerdeki bu sapmaların yapıdaki bifilmelerin empürite elementlerinin üzerinde çekirdekleşerek sünekliliği azaltması ve çentik etkisi yaparak çatlak başlangıcı görevi görmesiyle ilişkili olduğu önerilmektedir [39]. Şekil 7’de göröldüğü üzere, 5083 alaşımının kopma uzaması % 9,2 iken, 1050 alaşımının kopma uzaması % 6,3 olarak belirlenmiştir. Bu sonuca göre 5083 alaşımının süneklilik değerleri 1050 alaşımından yaklaşık % 46 daha yüksektir. Zhao ve diğ. [40], yaptıkları çalışmada, sıcak yırtılmanın meydana gelebilmesi için gerekli gerilme-deformasyon miktarını test etmişlerdir. Çalışmada, sünekliliğin düşük olduğu sıcaklık aralıklarında sıcak yırtılmanın arttığını gözlemlenmişler ve bu durumu katılaşma esnasında meydana gelen büzölme oranlarıyla ilişkilendirmişlerdir. Süneklilik değeri düşük olan 1050 alaşımında meydana gelen sıcak yırtılmaların, 5083 alaşımından daha fazla olması bu sonuçla uyum göstermiştir.



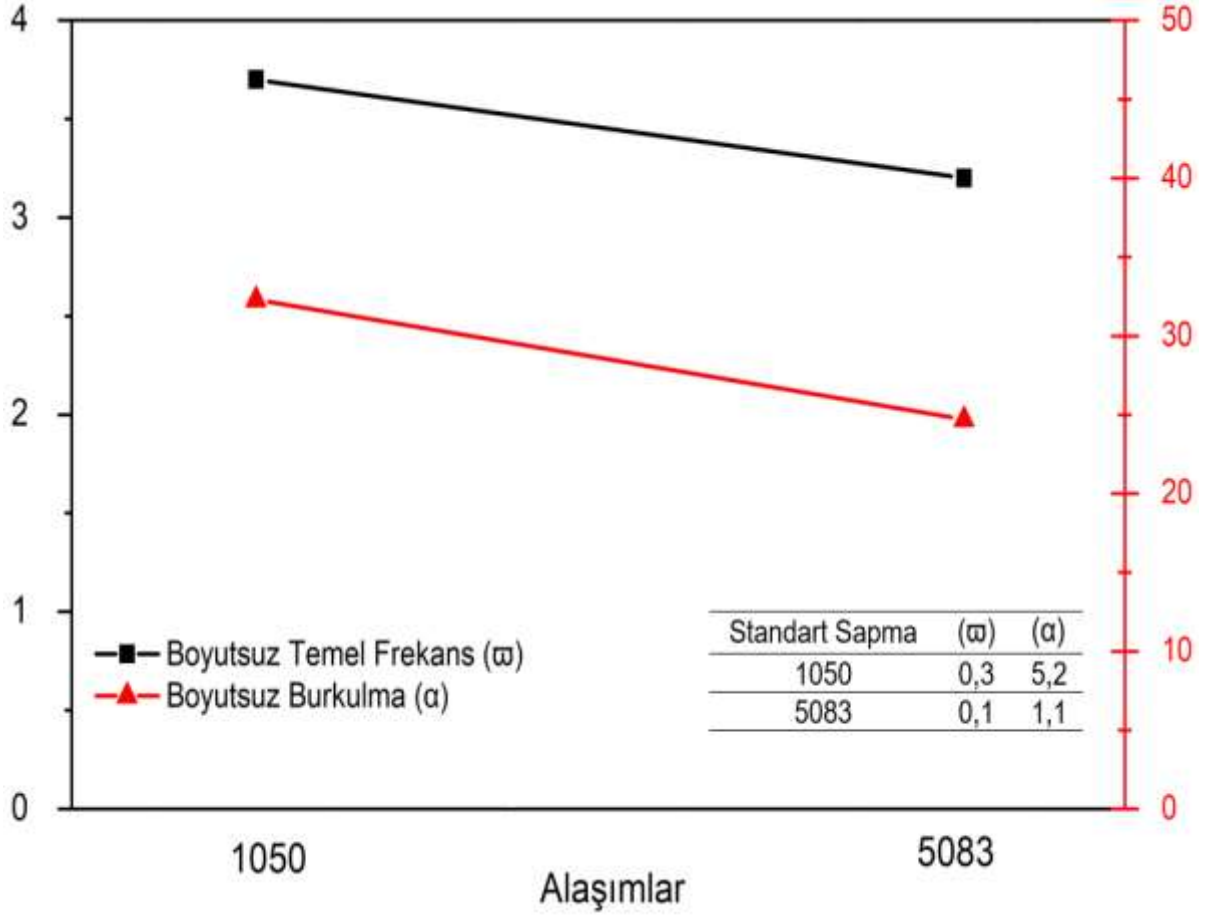
Şekil 7. İki alaşımın ortalama sertlik, çekme dayanımı ve kopma uzaması (süneklik) değerlerinin karşılaştırması.

Şekil 8’de 1050 ve 5083 alaşımlarının sıcak yırtılma bölgelerinden alınan SEM görüntüleri verilmiştir. SEM görüntüleri bifilm indeks değerleri en yüksek olan döküm örneklerinden alınmıştır. SEM görüntülerinde yer alan farklı kontrasttaki (beyaz renkli) bölgeler ikincil fazların varlığını göstermektedir. Bununla birlikte, oksit film tabakasının (bifilmelerin) tane yüzeylerini büzülmüş bir şekilde kapladığı görülmektedir. 5083 alaşımında görülen parlak bölgelerin, alaşımdaki yüksek magnezyum oranının etkisiyle oluşan ve literatürde “spinel oksit” adı verilen $MgO \cdot Al_2O_3$ oksit filmleri olduğu değerlendirilmiştir [19]. Yine Şekil 8’de verilen ve yırtılma bölgelerinde az miktarda büzülmüş (katlanmış) olarak görülen bifilm türbülans etkisiyle oluşan ve literatürde yeni bifilm (young bifilm) olarak adlandırılan oksitleri gösterirken, yüksek miktarda büzülmüş (katlanmış) olarak görülen ve sıvı metalin içerisinden gelen oksitleri tanımlayan bifilm literatürde eski bifilm (old bifilm) olarak adlandırılmaktadır [3, 19, 23]. SEM görüntülerinde yer alan bifilmelerin gerek türbülans etkisiyle gerekse sıvı metalin içerisinden gelerek porozitelere sebebiyet vermesi ve sıcak yırtılmaları oluşturması literatürle uyumlu bir şekilde gerçekleşmiştir [3, 20, 21].



Şekil 8. (a) 1050 alaşımasının, (b) 5083 alaşımasının sıcak yırtılma bölgelerinin SEM görüntüsü.

1050 ve 5083 alaşımlarının serbest titreşim analizi ve burkulma testi sonuçları ise Şekil 9’da verilmiştir. 1050 alaşımlarının çekme dayanımı değerlerinin (Şekil 7) 5083 alaşımına göre daha yüksek oranda sapma gösterdiği görülmüştü. Bu durumla uyumlu olarak, serbest titreşim analizi sonucunda, 1050 alaşımlarının boyutsuz temel frekans değerlerinde 5083 alaşımına göre yaklaşık 3 kat fazla sapmalar görülmüştür. Bu sonuç, alaşımların bifilm varlığı ile açıklanabilmektedir. 1050 alaşımında bifilm indeks değerleri 5083 alaşımına göre yaklaşık % 294 daha yüksek çıkmıştır (Şekil 6) ve VAKT numunelerinde porozite miktarları da oldukça fazladır (Şekil 5). Buna bağlı olarak, sıcak yırtılma testlerinde de 1050 alaşımında daha fazla sıcak yırtılma bölgeleri görülmüştür.



Şekil 9. İki alaşımın boyutsuz temel frekans ve boyutsuz temel burkulma sonuçlarının karşılaştırması.

Serbest titreşim analizi sonuçlarının bir diğer yorumlaması, alaşımların rijitlik özellikleriyle ilişkilendirilmektedir [41]. Parça titreşimlerinin doğal frekansları serbest konumlarında rijitlik ile orantılıdır. Rijitlik ise hem parça geometrisine hem de alaşımın elastisite modülüne bağlıdır. 5083 alaşımının elastisite modülü yaklaşık 70,3 GPa iken, 1050 alaşımının elastisite modülü yaklaşık 69 GPa'dır [42]. Her ne kadar iki alaşımın elastisite modülü değerleri yakın olsa da, boyutsuz temel frekans değerlerine etkisi olmaktadır. 5083 alaşımı 1050 alaşımına göre daha rijittir ve buna bağlı olarak doğal titreşim frekansları da daha yüksektir.

Şekil 9'da verilen burkulma testi sonuçlarına göre, 5083 alaşımının çekme dayanımı özellikleriyle uyumlu olarak boyutsuz burkulma değerleri 1050 alaşımından % 31 oranında yüksek elde edilmiştir. 5083 alaşımının boyutsuz burkulma değeri 32,3 iken, 1050 alaşımında 24,7 olarak belirlenmiştir. Şekil 7'de verilen çekme dayanımı değerlerindeki sapmalara benzer olarak, burkulma testi sonuçlarında 1050 alaşımında 5083 alaşımına göre yaklaşık 4,6 kat daha fazla sapma belirlenmiştir ve boyutsuz burkulma değerlerinde de düzenli geçişler görülmemektedir [31, 32]. Tüm deney sonuçlarına göre, bifilmliğin varlığı (metal kalitesi) ile yoğunlukları ve yapıdaki dağılımları; sıcak yırtılma özellikleri ile birlikte, alaşımların çekme, burkulma ve titreşim özelliklerini de doğrudan etkilemiştir [3, 19, 31, 32].

IV. SONUC

Bu çalışmada, 1050 ve 5083 alüminyum alaşımlarının sıcak yırtılma özellikleri ve metal kalitesi arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Çalışmanın genel değerlendirmesi aşağıda sunulmuştur:

- Bifilmliğin varlığı, sıcak yırtılma hatalarını doğrudan etkilemektedir ve alaşımlarda bifilm yoğunluğu (indeksi) arttıkça sıcak yırtılma eğilimi artmaktadır. 1050 alaşımının ortalama bifilm

indeksi 88,5 mm iken, 5083 alaşımında bu değer 30,1 mm olarak belirlenmiştir. 1050 alaşımında bifilm indeks değerleri 5083 alaşımına göre % 294 daha yüksek elde edilmiştir. Bifilmelerin, porozitelerin büyüme kademesinde en önemli etken olduğu ve porozitelerin boyutu, dağılımı ve yöneliminin sıcak yırtılma özellikleri açısından temel parametreler olduğu sonucuna varılmıştır.

- 5083 alaşımının ortalama çekme dayanımı 313 MPa, kopma uzaması % 9,2 ve sertliği 36,8 HRA iken, 1050 alaşımında bu değerler sırasıyla 158 MPa, % 6,3 ve 22,4 HRA olarak belirlenmiştir. 5083 alaşımının boyutsuz temel frekansı 3,7 ve boyutsuz burkulması 32,3 iken, 1050 alaşımında bu değerler sırasıyla 3,2 ve 24,7 olarak belirlenmiştir. Bifilm indeksi % 294 daha yüksek olan 1050 alaşımında, 5083 alaşımına göre çekme dayanımı, boyutsuz temel frekans ve boyutsuz burkulma değerlerinde sırasıyla 2,7-3-4,6 kat daha fazla standart sapma görülmüştür. Alaşımın çekme, burkulma ve titreşim karakteristiklerini belirlemede öncelikli olarak incelenmesi gereken parametrelerden birisi bifilmelerdir ve bifilmeler döküm alaşımının mekanik özelliklerindeki düşüşün temel sebebidir.
- Bifilm indeksi düşük olan malzemelerde, sıcak yırtılmadan ziyade yüzey çöküntüleri görülmüştür.
- CRC kalıbının en uç kısmındaki küresel noktalarda olduğu gibi, ince kesitli parçaların dökümünde metalostatik (metalin yoğunluğundan dolayı yerçekimi etkisi altında oluşan basınç; $P_{met} = \rho gh$) basınç etkisiyle dikey yolluktan uzak bölgelerde beslemenin zorlaşmasından dolayı sıcak noktalar meydana gelmektedir. Bu noktalarda bifilmelerin birikmesi ve katılma esnasında açılmalarıyla poroziteler görülebilmektedir. Bununla birlikte, bu çalışmada olduğu gibi, çekilme boşluklarından kaynaklı çöküntüler de meydana gelmektedir.
- Döküm alaşımında metal kalitesini belirleyen en önemli iki parametre, başlangıç malzemesinin (hammadenin) temizliği (empüritelerin ve gazların minimize edilmesi) ve türbülansın engellenmesidir. Bu nedenle, döküm proseslerinde döküm öncesi gaz giderme işlemlerinin bifilm ve dolayısıyla porozite oluşma ihtimalini azaltacağından, sıcak yırtılmaları önleyebileceği önerilmektedir.
- Farklı çalışmalarda, farklı alüminyum alaşımları ve sıcak yırtılma test yöntemleri ile katılma morfolojisi ve bifilmelerin sıcak yırtılmaya etkilerinin incelenmesinin literatüre katkı sağlayacağı önerilmektedir.

TEŞEKKÜR: Bu çalışma Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından desteklenmiştir (Proje no: 2013BSP002).

V. KAYNAKLAR

- [1] G. A., Georgiou, “Non-destructive testing and evaluation of metals,” *Materials Science and Engineering*, vol. 3, pp. 76-102, 2009.
- [2] J. Campbell and R. A., Harding, “Solidification Defects in Castings,” *TALAT (Training in Aluminium Application Technologies)*, Lecture 3207, European Aluminium Association, Brussels, 1994.
- [3] M. Uludağ, “Al-Si Alaşımlarında Bifilmelerin Sıcak Yırtılmaya Etkisi,” *Doktora Tezi*, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2016.
- [4] N. Hatami, R. Babaei, M. Dadashzadeh and P. Davami, “Modeling of Hot Tearing Formation During Solidification,” *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 205, no. 1–3, pp. 506-513, 2008.
- [5] J. Campbell, “Casting,” *Butterworth Heinemann*, 2nd Edition., UK, 2003.

- [6] A.M. Nabawy, A.M. Samuel, F.H. Samuel and H.W. Doty, "Influence of Additions of Zr, Ti-B, Sr, and Si As Well As of Mold Temperature on the Hot-Tearing Susceptibility of an Experimental Al-2% Cu-1% Si Alloy," *Journal of Materials Science*, vol. 47, no. 9, pp. 4146-4158, 2012.
- [7] A. R. E. Singer and P. H. Jennings, "Hot-Shortness of Some Aluminium-Iron-Silicon Alloys of High Purity," *Journal of the Institute of Metals*, vol. 73, pp. 273-284, 1947.
- [8] D. Warrington and D.G. McCartney, "Development of a New Hot-Cracking Test for Aluminium Alloys," *Cast Metals*, vol. 2, no. 3, pp. 134-143, 1989.
- [9] T. W. Clyne and G. J. Davies, "A Quantitative Solidification Test for Casting and an Evaluation of Cracking in Aluminium-Magnesium Alloys," *The British Foundrymen*, vol. 68, pp. 238-244, 1975.
- [10] G. Cao and S. Kou, "Hot Tearing of Ternary Mg-Al-Ca Alloy Castings," *Metallurgical and Materials Transactions A*, vol. 37, pp. 3647-3663, 2006.
- [11] M. Pokorny, C. Monroe, C. Beckermann, L. Bichler and C. Ravindran, "Prediction of Hot Tear Formation in a Magnesium Alloy Permanent Mold Casting," *International Journal of Metalcasting*, vol. 2, pp. 41-53, 2008.
- [12] S. Li, "Hot Tearing in Cast Aluminum Alloys: Measures and Effects of Process Variables," *Phd Thesis*, Worcester Polytechnic Institute, 2010.
- [13] M. Easton, H. Wang, J. Grandfield, C. Davidson, D. StJohn, L. Sweet and M. Couper, "Observation and Prediction of the Hot Tear Susceptibility of Ternary Al-Si-Mg alloys," *Metallurgical and Materials Transactions A*, vol. 43, no. 9, pp. 3227-3238, 2012.
- [14] D. G. Eskin, Suyitno Kool, W. H. and Katgerman, L., "Mechanical Properties in the Semi-Solid State and Hot Tearing of Aluminium Alloys," *Progress in Materials Science*, vol. 49, no. 5, pp. 629-711, 2004.
- [15] Ç. Yüksel, "Weibull Analysis of Fluidity and Hardness of Ultrasonically Degassed Secondary Al7Si0.3Mg Aluminum Alloy," *China Foundry*, vol. 16, pp. 352-357, 2019.
- [16] M.C. Flemings, "Solidification Processing," *Metall. Trans.*, vol.5, pp. 2121-2134, 1974.
- [17] W. Kurz and D.J. Fisher, "Fundamentals of Solidification," *Trans Tech Publications*, Switzerland, 1998.
- [18] E. Tan, "Alüminyum Alaşımlarında Blister Oluşumu," *Doktora Tezi*, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, 2011.
- [19] D. Dispınar, "Determination of Metal Quality of Aluminium and Its Alloys," *PhD Thesis*, The University of Birmingham, School of Metallurgy and Materials, England, 2005.
- [20] D. Dispınar and J. Campbell, "Critical Assessment of Reduced Pressure Test. Part 1: Porosity Phenomena," *International Journal of Cast Metals Research*, vol. 17, pp. 280-286, 2004.
- [21] D. Dispınar and J. Campbell, "Critical Assessment of Reduced Pressure Test. Part 2: Quantification," *International Journal of Cast Metals Research*, vol. 17, pp. 287-294, 2004.
- [22] H. Rosenthal and S. Lipson, "Measurement of Gas in Molten Aluminum," *AFS Transactions*, vol. 63, pp. 301-305, 1955.

- [23] D. Dışpınar and J. Campbell, "Use of Bifilm Index as an Assessment of Liquid Metal Quality," *International Journal of Cast Metals Research*, vol. 19, no. 1, pp. 5-17, 2006.
- [24] A. Yorulmaz, Ç. Yüksel, E. Erzi and D. Dışpınar, "Effects of Casting Conditions on End Product Defects in Direct Chill Casted Hot Rolling Ingots". In: Tiryakioğlu M., Jolly M., Byczynski G. (eds) *Shape Casting: 6th International Symposium*. Springer, Cham., pp. 185-193, 2016.
- [25] F. Tezer, Ö. Gürsoy, E. Erzi, M. Zorağa and D. Dışpınar, "Determination of Liquid Metal Quality with Deep Etching Method," *TMS 2019 Annual Meeting & Exhibition*, San Antonio, United States of America, pp.73-84, 2019.
- [26] Z. Yao, G.Y. Kim, L. A. Faidley, Q. Zou, D. Mei and Z. Chen, "Effects of Superimposed High-Frequency Vibration on Deformation of Aluminum in Micro/Meso-Scale Upsetting," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 212, pp. 640– 646, 2012.
- [27] S. Wu, L. Xie, J. Zhao and H. Nakae, , "Formation of Non-Dendritic Microstructure of Semi-Solid Aluminum Alloy Under Vibration," *Scripta Materialia*, vol. 58, pp. 556–559, 2008.
- [28] K. Marynowski, "Fractional Rheological Model of a Metal Alloy in the Study Vibrations of an Axially Moving Aluminum Beam in Thermal Environment," *International Journal of Mechanical Sciences*, vol. 174, 105458, 2020.
- [29] J. Sakamoto and T. Shibutani, "Analysis of Fatigue Damage of Aluminium Alloy Under Multiaxial Random Vibration," *Procedia Structural Integrity*, vol. 13, pp. 529-534, 2018.
- [30] H. Hu, Y. Li, T. Suo, F. Zhao, Y. Miao, P. Xue and Q. Deng, "Fatigue Behavior of Aluminum Stiffened Plate Subjected to Random Vibration Loading," *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, vol. 24, pp. 1331–1336, 2014.
- [31] S. Evran, "Eksenel Yönde Fonksiyonel Derecelendirilmiş Kısa Kirişlerin Burkulma ve Serbest Titreşim Analizi," *Doktora Tezi*, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2015.
- [32] G. Atlıhan, "Süreksizlik Bölgesine Sahip Tabakalı Kompozit Kirişlerin Titreşim Analizi," *Doktora Tezi*, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2010.
- [33] S. R. Li and L. L. Fan, "Free Vibration of FGM Timoshenko Beams With Through-Width Delamination," *Science China-Physics Mechanics and Astronomy*, vol. 57, pp. 927-934, 2014.
- [34] A. J. M. Ferreira, "Matlab Codes for Finite Element Analysis: Solids and Structures (Solid Mechanics and Its Applications)," no.157, *Springer* 2nd Edition, 2020.
- [35] M. Çolak, E. Tan, R. Kayıkcı and D. Dışpınar, "Hot Tear-Melt Quality Relationship in 3xxx Aluminium Alloys," *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*, vol. 1, no. 2, pp. 56-62, 2013.
- [36] J. Campbell, "Complete Casting Handbook: Metal Casting Processes, Metallurgy, Techniques and Design," 2nd Edition, *Elsevier: Butterworth-Heinemann*, Amsterdam, 2015.
- [37] M. Uludağ, R. Çetin and D. Dışpınar, "Freezing Range, Melt Quality, and Hot Tearing in Al-Si Alloys," *Metallurgical and Materials Transactions A*, vol. 49, pp. 1948–1961, 2018.
- [38] D. Dışpınar and J. Campbell, "Porosity, Hydrogen and Bifilm Content in Al Alloy Castings," *Materials Science and Engineering: A*, vol. 528, no. 10–11, pp. 3860-3865. 2011.
- [39] X. Cao and J. Campbell, "The Nucleation of Fe-Rich Phases on Oxide Films in Al-11.5Si-0.4-Mg Cast Alloys," *Metallurgical and Materials Transactions A*, vol. 34A, pp. 1409-1420, 2003.

[40] L. Zhao, B. N. Wang, V. Sahajwalla and R. D. Pehlke, "The Rheological Properties and Hot Tearing Behaviour of an Al-Cu Alloy," *Journal International Journal of Cast Metals Research*, vol. 13. no. 3, pp. 167-174, 2000.

[41] F. Bedir, E. Durak ve K. Delikanlı, "Alüminyum Alaşımlarının Otomotiv Endüstrisinde Uygulanabilirliği ve Mekanik Özellikleri," *Mühendis ve Makina*, c. 47. s. 555, ss. 37-46, 2006.



[42] The Aluminum Association Data Sheet from Aluminum Standards and Data 2000 and/or International Alloy Designations and Chemical Composition Limits for Wrought Aluminum and Wrought Aluminum Alloys (Revised 2001).



Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

Computational Approaches in 21st Century Architectural Design: Defining Digital Representation Methods*

 Emre KURUÇAY^{a,*},  İlker KARADAĞ^b

^aDepartment of Architecture, Faculty of Art Design And Architecture, Sakarya University, Sakarya, TURKEY

^bDepartment of Architecture, Faculty of Fine Arts, Design and Architecture, Celal Bayar University, Manisa, TURKEY

* Corresponding author's e-mail address: kurucay@sakarya.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.900770

ABSTRACT

The studies on design and design methods increased towards the end of the twentieth century in industrialized societies, however, the act of design started to be carried out with different auxiliary tools. The digital and algorithmic structure behind the computer has begun to provide the designer with different possibilities outside of the traditional drawing environment. After this period, the queries and discussions on the content of the design, its components, the intellectual process of the designer, and similar issues gradually increased. Within this scope, new theories and methods have emerged. In today's design, especially with digital technologies, transformations in theory and practice in the design process have brought new methods with them. Architects and designers have now become design tool developers rather than using use of the design tool. Based on this, the assistive tools that determine the current architectural design style is aimed to be explored in this paper. The study contributes to the field by (i) exploring these tools and their latent features, (ii) assessing the pros and cons of these tools, and (iii) last, implementing these design tools on the case studies.

Keywords: Computational design, Design process, Digital technologies, Form, Representation

21. Yüzyıl Mimari Tasarımında Hesaplamalı Yaklaşımlar: Sayısal Temsil Yöntemlerinin Tanımlanması

ÖZ

Yirminci yüzyılın sonlarına doğru sanayileşmiş toplumlarda tasarım ve tasarım yöntemleri ile ilgili çalışmalarındaki artış, yardımcı araçlarla tasarım yapma yönündeki eğilimi artırmıştır. Dijital ve matematiksel yapısı sayesinde bilgisayar ortamının tasarımcıya geleneksel yöntemlere göre çeşitli kolaylıklar sunmasının yanında ilham verici farklı olanaklar da ortaya koyabilmesi, bu eğilimi daha cazip hale getirmiştir. Bununla birlikte tasarımcının düşünsel süreci, tasarım ve tasarımın bileşenleri konularındaki sorgulamalar giderek artmış, bu kapsamda yeni teoriler ve yaklaşımlar ortaya çıkmıştır. Günümüz tasarlaması tasarım süreçleri bağlamında, özellikle dijital teknolojilerle birlikte, teori ve pratikteki dönüşümler, beraberinde yeni yöntemler ve açılımlar getirmiştir. Mimarlar ve tasarımcılar, tasarım araçlarını kullanmaktan ziyade tasarım aracı geliştirmek konusunda kendilerini geliştirmektedir. Bundan yola çıkarak makalede, mevcut mimari tasarım stilini belirleyen yardımcı araçların incelenmesi amaçlanmaktadır. Çalışma, (i) bu araçları ve bunların tam olarak netleşmemiş ya da fark edilmemiş özelliklerini keşfederek, (ii) araçların olumlu ya da olumsuz yanlarının değerlendirilmesi ve (iii) son olarak bu tasarım araçlarının vaka çalışmalarında uygulanarak alana katkıda bulunması amacıyla bir ön çalışma olmayı hedeflemektedir.

I. INTRODUCTION

Digital technologies, depending on their development processes, have been effective in bringing different application environments to the agenda in architecture and architectural design education. This development process transforms from product representation that can be created in the digital environment to one that supports creativity and decision-making, an activity specific to data, information and information processing, and human mental processes. With these developments and transformations, the focus of architecture has turned not only to the final product but also to the design process. Design and scientific research in different disciplines are the result of digital thinking skills. Digital thinking is an algorithmic way of thinking and a problem-solving process based on mathematical and logical calculations to reach the product. Using different abstraction methods to comprehend and solve problems; formulates problem and solution successfully. This information processing way can be realized by using the knowledge and experience of the expert, as well as with the opportunities provided by the digital environment. The product, which comes out mentally during design, is developed by following certain patterns of implicit design information. The realization of the whole or certain stages of the act of designing with the calculations performed by digital media makes it necessary to analyse the implicit information in the mental world of the designer. Design problems are taken to further levels by the computational processes of digital environments that are described and abstracted by algorithms and the design process is developed. The use of digital tools in the architectural design phases should not be reduced to the digitization of traditional methods or just the form search, therefore the use of digital tools should be perceived and applied as a search for the integrity of form, space, structure, and material, avoiding traditional restrictions. Digital technologies can bring different solutions to different problems by combining structured rational components, the intuitive process of the designer, and the advantages of computational methods. In other words, algorithmic and computational design approaches enable the use of the digital environment and the design possibilities of the designer together.

Significant developments have occurred regarding the transformation of design, process, and representation relations in the disciplines involved in the design. These changes in theory and practice have occurred because of the changing and transforming design environment rather than the result of an ideology, aesthetic concern, or a new understanding. Digital technologies are at the center of this situation. Architectural design, which has developed with a certain accumulation of knowledge over hundreds of years, brings along a traditional process. However, the introduction of new design possibilities by digital technologies has led to the questioning of some acceptances from traditional processes and the emergence of new concepts and discussions. This change and transformation in architectural practice has been described as a great revolution by researchers.

As it is known, the design is the reasoning process that the designer puts forward with the information coming from his background. Although it has been discussed for years whether a scientific explanation can be brought to the architectural design process, how factors such as creative thinking, intelligence, and talent are effective in the design process, the method the designer follows in the design process can take various forms. These processes will be examined in detail under the title of digital design approaches in architecture. The traditional architectural design process can be described as a visual-based process in which the design is developed and shaped in a representational environment with expression techniques such as sketch, technical drawing, and model.

Pioneer architectural designers have stated that representational forms are an indispensable assistant of the designer, and especially the sketch provides the dialogue with the designer by embodying the thoughts formed in the mind. Sketching as a representation method improves the design by allowing reinterpretation, originating in a blurry environment. That is, the representation medium for the designer is a feedback tool. The increasing use of digital technologies as a tool and aid in architectural design processes has included many new design methods in architectural practice. The designer can use the computer as a design development tool on the way to the result he envisioned, as well as

provide the emergence of a form that he did not think of, through the computer environment, through the network of relationships he predicted.

In this article, the theoretical studies, methods, and techniques used at the center of digital design approaches are explained and their aspects reflected in design practice are evaluated through examples.

II. DESIGN AND REPRESENTATION

Design is explained by design researchers in various ways; such as decision making in uncertainty [1], leaping from the realities of the present to the possibilities of the future [2], problem-solving process [3], cognitive action [4], knowledge-based activity [5]. In this context, design can be interpreted as a preparation and decision-making process for the solution of a defined problem. Architectural design, on the other hand, is aimed at solutions related to space, form and program. Explanations and definitions for design, design processes and design action can be increased. Lawson mentioned that to understand design, it is necessary to explain how different disciplines perceive the design and design process. He says that designing is action versus production and that there are significant differences in the end products produced by designers in different fields. For example, the software produced by a computer engineer against a problem is an act of design. However, the process that brings the engineer to a conclusion and the other one that a shoe designer goes through while designing is quite different from each other. In both cases, a solution to the current problem is produced. Here, the design of the software is carried out with a systematic, predictive and mathematical solution-based solution, while the production of the shoe designer is the result of a mental search that is ambiguous, implicit and spontaneous within the framework of problem definition. Designing deals with both definite and ambiguous ideas, both systematic and chaotic ways of thinking, both imagination and mathematical calculations [6].

It is clear that there are some visible changes and transformations in today's design world. The main reason for this situation seems to be the new design and representation environment brought by digital technologies. The designer has always resorted to representation in order to express his thoughts and ideas. In this context, the relationship of the designer with representation in the design process greatly affects the final product. In the 19th century, while the main tool used to carry out the design action was the model, until the paper became easily accessible, in the following times, the primary representation tool was paper. We can say that paper is dominant as a representation tool in traditional design processes. The place of the sketch is very important here. The blurry structure in which the sketch expresses thought and intuition helps us to give a potential meaning to each line drawn and makes the design open to different interpretations. As a result, we can say that the designer is fed by the sketch environment.

Nowadays, digital tools offer new representation environments and these mediums have quite different dynamics from traditional representation methods. While two-dimensional lines can be mentioned in the sketch environment, three-dimensional forms and spaces in the model, it becomes possible to talk about time and performance in the digital environment where computational methods are used. As a result, the interaction in the sketch and model environment and the interaction in digital environments will be quite different from each other.

As a result, within the present and future digital processes, there is no single design tool and representation medium. There are many methods. Interactions with alternative representation mediums lead the designer to different results. On the other hand, representation, which has been redefined with the development of printing and reproduction technologies, has been transformed again with the development of digital methods and has become meaningful by itself as well as being meaningful with the object it represents. That is, representation has become meaningful on its own. Another feature brought about by digital approaches is that irregular organic forms can be used as much as regular geometric forms.

III. DIGITAL APPROACHES IN ARCHITECTURAL DESIGN

Digital design is related to many disciplines such as geometry, mathematics, cognition science, psychology, biology, geography, philosophy, computer science. The digital design follows a multi-layered process starting from systems theory and cybernetics to morphogenesis [7]. Digital approaches define a process that is constructed in a holistic approach by covering the thoughtful, experiential and visual aspects of design. Digital design paradigms based on mathematical, mental and relational processes can be reflected in the creative design process and product with very different approaches. Although designing is a holistic decision-making process, the first research studies in the field of digital architecture were suggested as analysis, prediction and evaluation processes due to the limitations in digital technologies in the 1960s. These studies were defined by algorithms that generate mathematical solutions to well-structured problems and are based on information processing. These processes, which are used in different stages of architectural design, have turned into a holistic digital design approach with the possibilities of today's information and communication technologies and digital design theories.

Digital design methods consider the representation of the architectural product in the digital environment as geometric relations instead of geometric symbols. Therefore, representation of the design by parameters represents behavioral properties rather than geometric properties of the form. Visual modelling applications, which started with two and three-dimensional expressions, have become widely used with digital approaches. As a result of the development of computer software, the boundaries of basic geometric forms have been removed, resulting in the design and production of complex forms. Software that contains geometry-form information such as Building Information Modeling (BIM) and Computer Aided Design (CAD) technologies have been applied to architecture and have brought the construction representation to be constructible, rethinking design processes and reformulating as a digital system whole. However, in the design process, which is a very wide and comprehensive whole, the advantages of technology are taken advantage of by using digital systems focused on specific stages of the process.

According to Oxman, the forms of interaction transformed by the participation of digital technologies in the design processes take four different forms [8].

- Non-digital representation: Direct interaction of object-representation relationship with CAD tools such as sketch, model and drawing.
- Digital representation: Interaction withdrawing, model and sketching in the digital environment.
- Digital representation constructed by a mechanism: It is the interaction of the designer with the digital structure formed by the derivative mechanisms within the framework of defined rules and relationships.
- Interaction with the digital environment: The interaction of the designer with the mechanism that creates the digital design.

In architecture, digital technologies offer an approach through certain computational systems and their output. These approaches are systems that support the expert in the problem-solving process with design possibilities and facilitate the discovery of alternative solutions. Digital systems offer a new working method and the environment in design. These systems are based on identifying the unity between digital design principles and design elements with algorithms. They reinterpret traditional design languages and allows them to be used as data in future designs. Computational approaches in architectural design are used to solve problems of different scales in the context of different techniques and methods. These approaches are discussed under fractal structures, shape grammars, L-systems, evolutionary design, cellular automata, decision support systems, and performance-based design. It is an important issue that needs to be considered in which phase of the design digital approaches can be used effectively and how they can contribute. For what purpose and how to use digital methods in architecture is an important factor that will affect the final design.

A. FRACTAL STRUCTURES

Although the concept of fractal discovered with chaos theory has become a part of science literature after Benoit Mandelbrot, it is possible to find fractal fictions in much earlier local architectural examples in architectural design. When we look at examples of local architecture in primitive communities, fractal fictions can be found. The reason for this is that they reflect the fractal fictions that exist in nature to architectural design. After Benoit Mandelbrot published his book "The Fractal of Nature" (1982), the term used especially in the field of mathematics entered the world of architecture. As a result, it has provided researchers with the opportunity to examine architectural constructions at different scales. For example, when we examine the architectural texture in urban scale from macro to micro; It is possible to examine the occupancy-vacancy rates of the city, the spread of the urban transport network or the growth and development characteristics of the city. When we look at the architectural texture on a building scale; it allows us to examine the tectonic movements of the building, its plan grammar, occupancy and void proportions, door and window details, and even the texture of the material. As a result, when an architectural structure is examined in the context of its general fiction, if it contains similarities at different scales, it is possible to say that the architectural fiction shows a "fractal" formation, that is, a "similar to itself" formation [9].

Guzelci et al. (2020) similarly propose a computational model that automates the measurement of complexity of geometric patterns. They also explain the basic principles of the proposed model in the case of muqarnas 2-dimensional patterns of Sitte Melik Tomb (1228) in Sivas. The basic concepts that their model relies on are given in Figure 1 [10].

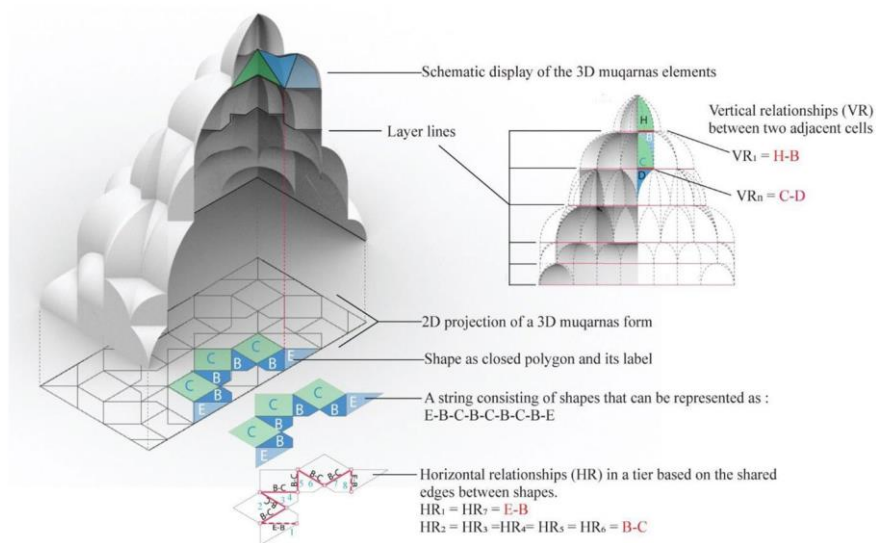


Figure 1. Diagrammatic model of a muqarnas pattern and its related concepts [10].

There are many examples of the links between fractal geometry and architectural design. There are hundreds of examples of architectural designs analyzed or designed through fractal geometry [11]. Many researchers, influenced by the mathematical and visual dimension of fractal geometry, interpreted fractal geometry in their unique way. Therefore, the fractal dimension has no common title in architectural design or criticism. In this context, it will be useful to divide such studies into two categories; what was completed before the fractal theory was formulated and what was completed later. The first category includes studies that show evidence of the underlying principles of fractal geometry with intuitive data. This section consists of the analysis and discussion of the urban scale textures in the local architecture or the textures at the building scale. The second category includes works that explicitly accept the architecture-fractal relationship. There are many different algorithmic connections in designs in this category, from inspiration to structure and even parts of the structure at different scales. Some of the architects who explicitly refer to complex patterns are involved in this

group; Steven Holl (USA), Peter Eisenman (USA), Jean Nouvel (France), Aldo van Eyck (Netherlands), Zaha Hadid (England), and Arata Isozaki (Japan) [11].

Architecture with a clear understanding of fractal geometry draws inspiration from it in a variety of ways, even if it does not use much of the mathematical or scientific understanding of the concept. For this reason, fractals in architecture are used as metaphors representing a theoretical connection. Both mathematical and theoretical approaches to fractal geometry can be realized through the architectural context. In contrast, fractal geometry in architecture is difficult to provide a fully consistent, meaningful, and holistic connection. It can be used as an aid in defining intuitive, intellectual or digital boundaries. In this context, there are various ways to benefit from fractal geometry in architecture (Figure 2).

It can be used as a design input in preliminary design processes, together with various factors that will guide the design. For example, fractals can be an input for generative systems where they can be used as the main factor guiding the design in the design process. In the criticism and analysis processes; it is the use of digital analysis is performed through design, designer or texture as data for criticism.

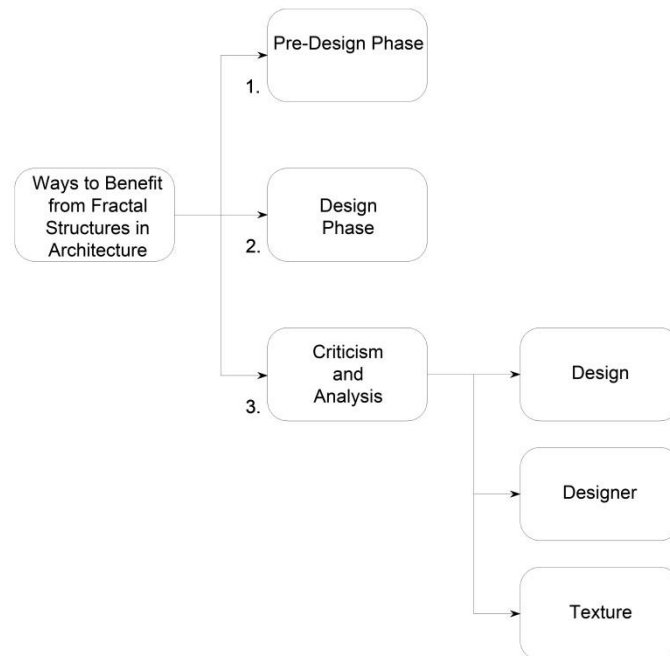


Figure 2. Ways to benefit from fractal structures in architecture (illustration by the authors).

As a result of these explanations, determining the boundaries of the relationship between fractal geometry and architecture will be able to prevent the problems that may occur. In this context, we can examine them in three stages. First, when working with fractal geometry, researchers must be clear about how to use it; as a structure, form, ornament or as inspiration. Second, fractal algorithms or generative systems are not enough to finalize a design. The designer cannot produce a complete building without some input during the design decision-making or development phase. Designs created with digital systems must be organized with some contextual data before they are available to the user. The last one is about how to measure architecture using fractal dimensions. As a result, the complexity behind each natural or artificial object can be measured or predicted with the aid of fractal dimension [12].

B. SHAPE GRAMMARS

Shape grammars were stated in the early 1970s by George Stiny and James Gips as an algorithmic structure, as a method of defining and creating design languages, one of the basic concepts of design and architecture [13]. Rollo (1995) defined morphology as a language tool used in coding the findings of a study on a design language [14]. The task of linguistics is to describe the derivative rules in the language by decomposing the language and revealing the grammatical rules for new formations. Just as linguistics does not invent a new language, grammar does not invent a new architectural language. The first studies on shape grammar are for analysis and critical purposes and aim to make visible the formal rules of a design language by analyzing [15]. Design languages with an algorithmic structure have repetitive properties and these properties can be defined as the rules of the language. By analyzing these rules, the original language is grasped and new forms can be produced using this language. In other words, shape grammar is the production of new forms depending on a set of rules. Each shape grammar is unique and is expected to produce different results.

Syntactically, architectural design can be defined as a combination of forms and relationships between forms. Derivation and development first start with the initial shape and continues by applying certain rules. Many forms and patterns can be produced from a basic shape grammar [16]. The combination of components in the design is possible by formulating certain principles. These rules can be expressed verbally or digitally [17].

Composition forms for Wright's country-style homes are derived from diagrams of shape grammars (Figure 3).

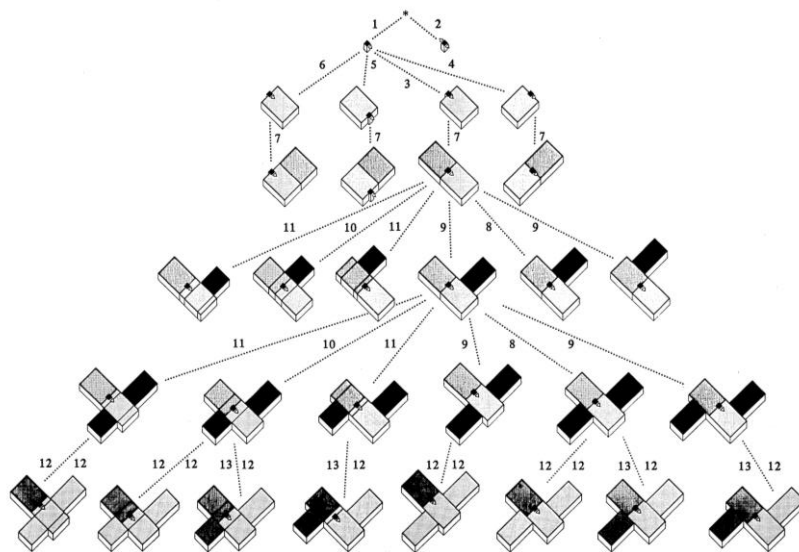


Figure 3. Frank L. Wright's Prairie House Shape Grammar [18].

The application of shape grammars as a design tool has expanded further in recent years. Shape grammar used for the analysis of architectural objects will also play an important role in previous and future research. The progress of digital technologies and the continuous development of their applied use in architectural studies provide a necessary basis for new approaches to be made in the future. The point is not to model buildings geometrically and historically, but to rely on an accurate model that describes the complex connections between architectural elements. In this sense, shape grammars can serve as a platform for studying architectural typology at complex levels that cannot be realized without the appropriate computational infrastructure.

In the 4th figure, a study by Duarte (2001) is the formal analysis of Alvaro Siza's Malagueira Houses and their reproduction in a computer environment with the help of an expert system [19].



Figure 4. Malagueira Houses site plan [19].

Computer-aided design and production systems offer and visualize home alternatives. After certain parameters are entered into the program interface, it can generate alternatives in the design language of Malagueira Houses. Proposals can be displayed with the help of 3D computer models or virtual reality tools. After examining the house typologies according to their functions and sizes, an architectural pattern language has been revealed. Siza's architectural approach and Malagueira Houses are analyzed in terms of shape grammars. This is because the architect's design language is inclined to shape grammars (Figure 5).

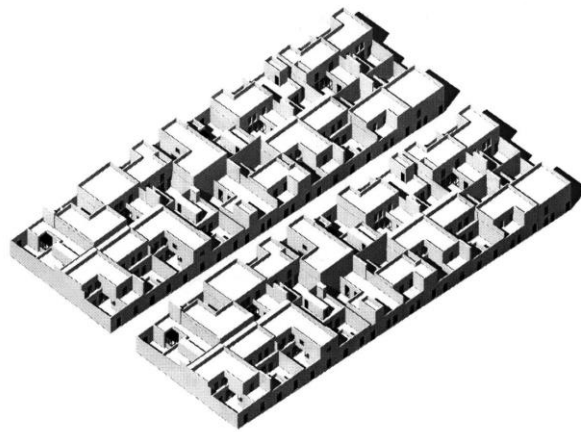


Figure 5. Configuration of a city block [19].

During the historical development of geometry, shape grammar developed by feeding on the last rings in this process. Along with the developments in the direction of geometry as empirical knowledge, shape grammars have also developed by feeding on the experience of seeing. The widespread expansion of such design approaches in a short period implies that development in the near future will greatly improve the usability of shape grammar in architectural design. Therefore, the presented analyzes and evaluation of the previously described architectural projects are crucial to understanding the future value of shape grammar logic.

C. L-SYSTEMS

Lindenmayer systems (L-systems) are a rewriting and visualization method developed by Aristid Lindenmayer in 1968 to simulate growth patterns of multicellular organisms and later used by many biologists and computer theorists [20]. L-systems, which are effective in simplifying complex systems, are currently used in the fields of architectural design, and the variability and diversity in their derivation can be achieved with different starting points. This approach, which is generally used in the production of organic forms and fractals such as plants and tissues, is also used in the production of transportation networks in the city and regional planning, although its areas of use in the design are limited.

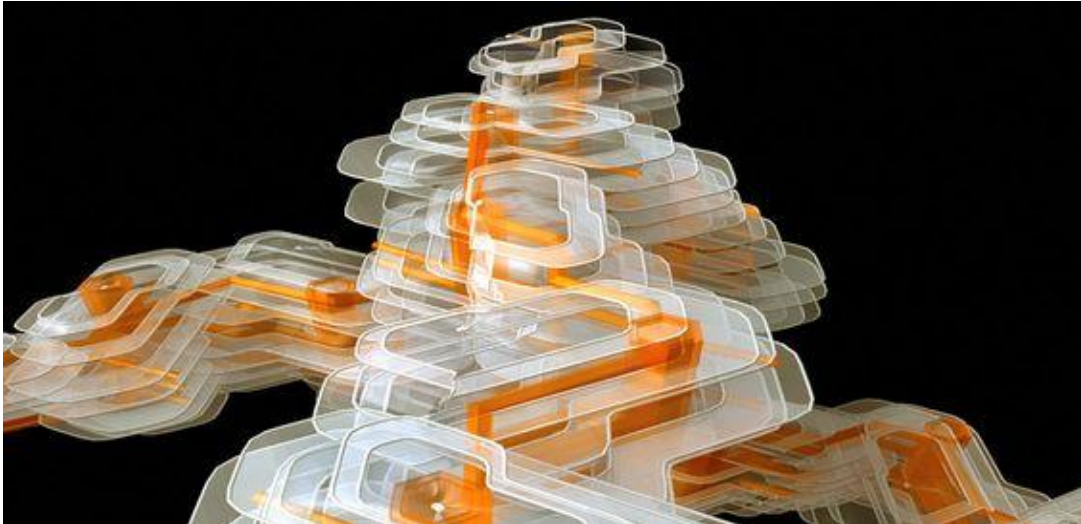


Figure 6. A production designed using L-systems [21].

In a study by Hansmeyer, volumes gathered around the central circulation were defined. The coordinates of the sequence created with the L-system codes defined in the Visual Basic programming language were visualized by transferring the codes to the Maya Program. The algorithm, which is branched and has 2 modules, consists of spaces positioned around the basic form, which is formed in the center and develops in the form of a ramp. The definition of the algorithm used can be made as follows:

1. The 2-dimensional path of the circulation area is created.
2. 2-dimensional profiles are combined with an angle of 45 degrees to obtain a 3-dimensional ramp path.
3. By creating the section profile of the ramp, it is applied along the road and the ramp module is created (1st ruleset).
4. The chamber section is created and applied along the length to obtain volume (2nd ruleset).
5. Rooms are placed around spiral-like circulation (3rd ruleset)
6. Each rule sequence is applied in the specified number of cycles, the L-system sequence is obtained.
7. The sequence is visualized using the turtle graphic. Hansmeyer used modular growth with 3D L-systems in this work; increasing the number of cycles allows the mass to grow upwards with the added modules.

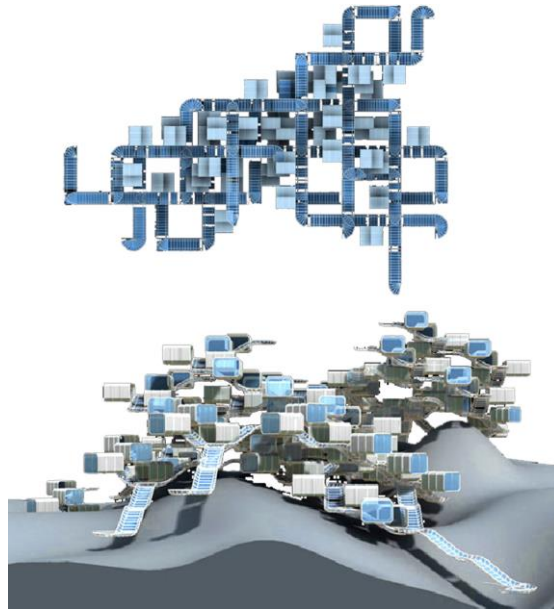


Figure 7. Building form created with environment interactive L-system [22].

D. EVOLUTIONARY DESIGNS

Examples in which evolutionary systems are modeled in the design are generally discussed under the main subject of algorithmic design. In the algorithmic design approach, the product or the family of possible products is formed automatically as a result of the established rules and relations system. Evolutionary systems based on this approach are concerned with the use of biological growth and formation concepts as a model for design in the architectural design process. Frazer describes this process in his book *Evolutionary Architecture* as follows: “Architectural concepts are defined as a set of production rules, the evolution and evolution of these concepts can be digitally encrypted. A set of fabrication rules can derive a large number of prototype formats. These products are evaluated according to their performance in a similar environment. The result is often unexpected” [23].

First, Holland used the evolutionary process for optimization problems within algorithms [24]. It is important to examine the various algorithmic processes obtained by analyzing genetic structures for experimental purposes and to reflect them on the design, to push the boundaries of architectural design. As a source of inspiration, the use of the effects of nature with computational sciences and the subject in many different branches of science such as engineering (artificial neural networks, genetic algorithms), science (complex systems, fuzzy logic, chaos, and fractals), medicine (robot prostheses, artificial organs). Taking place has increased interdisciplinary interactions. The reflection of evolutionary design in architecture has a wide range of applications from structural optimization methods to form generation methods and offers designers much potential.

Many new projects were signed for the 2008 Beijing Olympics. One of them is the Watercube National Swimming Center, which was built by the PTW architecture office, which won the competition opened in 2003, next to the National Stadium building, also known as the Bird's Nest, built by Herzog&de Meron for the Olympics. The Watercube National Swimming Center design can be taken as an evolutionary design model by establishing a structural layout derived from the soap bubble algorithm (Figure 8).



Figure 8. Water Cube National Swimming Centre, Beijing, PTW Architects. In the design of the building, a structural order derived from the soap bubble geometric algorithm was created [25].

It was designed with an organic and random approach, similar to a natural system. There is a system that repeats and reproduces each other. Based on the fact that the bubbles touch each other in a regular geometry, a structure with regular intersections, nodes, and perpendiculars is created (Figure 9).

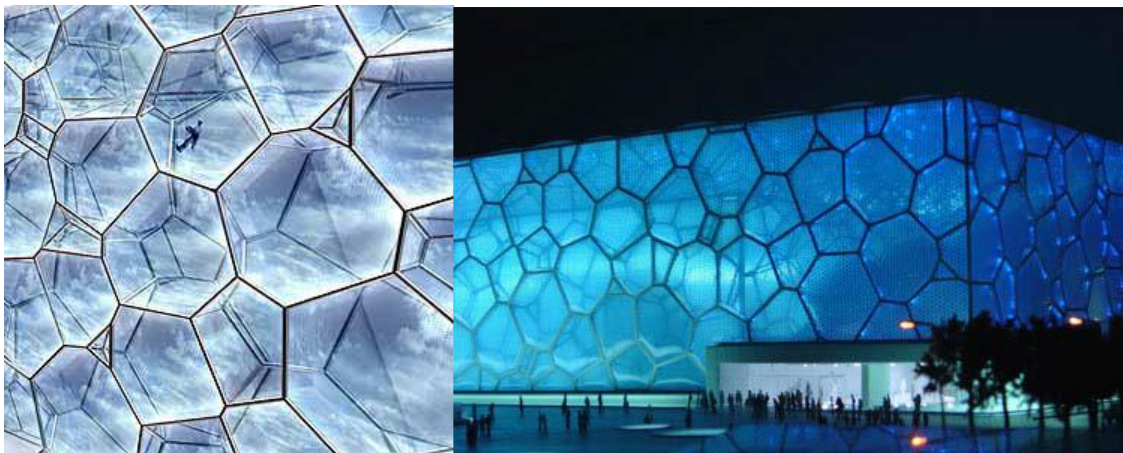


Figure 9. Soap bubble construction [25].

E. CELLULAR AUTOMATA

Expressed as a new science by Stephen Wolfram, cellular automata emerged about 50 years ago by trying to solve the problem of complexity based on digital approaches [26]. The feature that makes this method important is that although it looks straightforward, it can easily produce complex structures. A cellular automata is an approach that simulates growth processes by defining a complex system with simple rules. The basic cellular automata terminology is illustrated by the authors in the Figure 10.

It consists of cells, each representing one of a certain number of defined states, depending on a set of rules that function in certain grid order and in a certain period according to the states of neighboring cells [27]. This approach, which was developed to define self-organization systems, is used in architectural and urban design problems that cover a wide spectrum from regional settlements, social interactions, and design processes to material behavior, as in various disciplines.

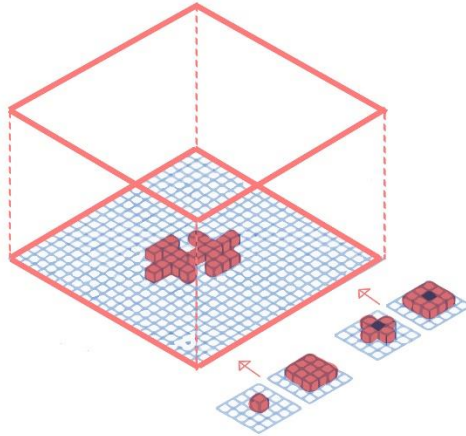


Figure 10. Basic cellular automata terminology (illustration by the authors).

It is possible to see fictions derived from cellular automaton both in terms of form and content, albeit with different approaches, in today's architecture, especially in large-scale building designs with complex functions and different user types. An example of these is the Nakagin Capsule Tower designed by Kurokawa, in the 11th figure [28].



Figure 11. Nakagin Capsule Tower designed by Kurokawa [28].

Nakagin Capsule Tower; is one of the practical examples of the “Metabolist” approach, which proposes an architectural understanding in which the concepts of the human, machine, and space form an organic structure together (Kruft, 1994). The structure consists of 144 modular capsules located around two main cores. Each of these capsules represents in itself hotel-style living units. The positions of these capsules have the ability to be renewed according to time and changing conditions. Because of these features, it is compatible with the structure of Cellular Automata both in terms of form and content.

F. DECISION SUPPORT SYSTEMS AND AI

Decision-making is defined as the decision-maker choosing one or several options that are most suitable for the purpose among all available options. Decision support systems are interactive computer systems that use data, documents, information, and communication technologies to identify and solve problems, complete the decision-making process and make decisions to assist decision-makers.

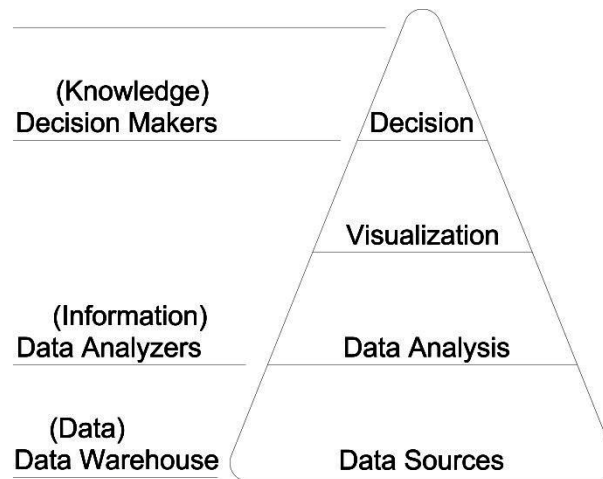


Figure 12 Decision-making process (illustration by the authors).

These systems, which are based on artificial intelligence studies, play an important role in solving complex, poorly structured, or multi-criteria problems, and the human expert assumes the role of a consultant in the decision-making process.

Considering the uncertainty of the solution method in the development of solution alternatives and the existence of subjective decisions, the importance of decision support systems in the selection of the solution is understood in architectural design problems.

G. PERFORMANCE-BASED DESIGN

Performance-based design techniques include design methods in which the architectural design process develops based on performance analysis. Building quality may be related to the performance of the building in terms of technical data such as climatic, structural, and acoustic data, as well as the various features that the designer expects from the space; additionally, various criteria like pedestrian-traffic flows, spatial relations, building program, economic parameters can be used in the performance evaluations.

Kolarevic mentions the "finite element method", which is a method of analyzing the geometric model in terms of structural, energy use, and fluid dynamics by dividing the geometric model into interrelated triangular units (mesh) for performance analysis in a computer environment [29]. Karadag and Serteser (2019) propose a meshless fluid dynamics algorithm to solve wind building interaction in the early design stage (Figure 13). Performance analysis of complex-shaped spaces can also be performed in a computer environment with such methods and developments in computer graphics facilitate the use of these techniques [30].

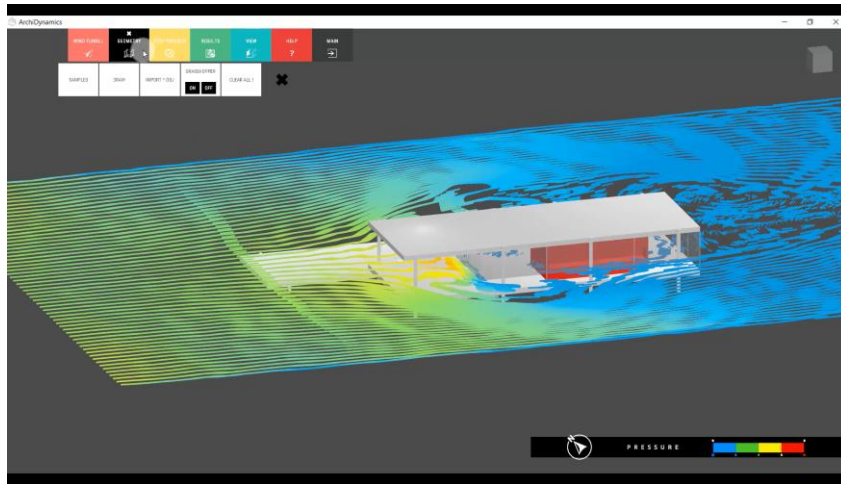


Figure 13 A meshless fluid dynamics algorithm [25].

Offices that use computer technologies as design tools use programs based on performance analysis not only for the revision of the design, but also for the development of a basic form produced in the early stages of the design, and the derivation of alternatives according to performance-based parameters.

There is several software to perform a set of spatial network analyses designed to understand social processes within the built environment. For instance, DepthmapX software works at a variety of scales from building through small urban to whole cities or states. At each scale, the aim of the software is to produce a map of open space elements, connect them via some relationship (for example, intervisibility or overlap), and then perform graph analysis of the resulting network. The objective of the analysis is to derive variables that may have social or experiential significance. The implementation of the step depth feature of the software on a case study is conducted by the authors (Figure 14).

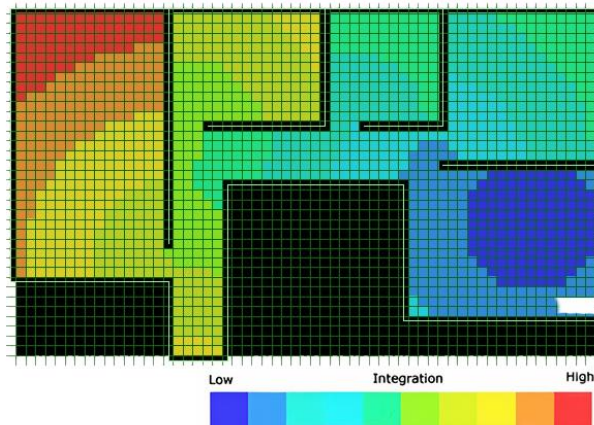


Figure 14 Step depth analysis of a simple house (simulation conducted with DepthmapX software by the authors).

IV. DISCUSSION AND CONCLUSION

The result obtained from the research on architectural design; is recorded as a combination of structures such as heuristic, algorithmic, personal, organizational, deductive, inductive, geometric, organic. It is thought that computer technologies and the digital representation environment respond and contribute to all these components of the design. This multi-alternative and transformative

representation environment have expanded the field of influence and research of design and architecture by bringing together new concepts, terminology, theories, methods and paradigm changes. Thanks to digital media and technologies, there is a virtual reality parallel to the reality we live in. Now to architectural terminology; Many new concepts such as emergent form, dynamic form, hypersurface, hybridization, topological geometry, generative design, parametric design, isomorphic architecture, performative architecture, animated architecture have been introduced. Many theories have been developed by taking these concepts into account. Here, it can be said that design is given a new role along with the digital one. The designer has also become a tool developer who develops his digital design tools and components. The sphere of influence of design and architecture has expanded and new areas of expertise have emerged, but at the same time, design disciplines have come closer to each other in terms of design and production processes.

Computational approaches provide representation of many overlapping, contradictory and related factors through algorithms and abstract conceptual, symbolic models; It expands the limits of the intuition by triggering the creative side of the designer. The digital approaches that have guided the change in design culture in recent years play an important role in contemporary design applications. The integration of computational approaches into the design process allows the development of new design solutions that are difficult or impossible to reach with other methods. The philosophy and principles of these approaches inspire alternative solutions in design. Architects or other designers are now tool developers rather than tool users. In the future, it is envisaged that a holistic system that includes different tools that support the automation of workflow and design decisions will be combined with digital design platforms for the integration of different design approaches. To use the rapidly developing digital design tools more effectively, it is becoming more and more important to develop computational thinking skills and to reflect this in the design process to education programs.

V. REFERENCES

- [1] M. Asimow, *Introduction to design*, Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1962.
- [2] M. Gür and Şen E., “Transformation of bio-pattern to poly-pattern as a basic design studio experience,” *Uluslararası Hakemli Tasarım ve Mimarlık Dergisi*, vol.16, pp. 23-51, 2019.
- [3] A. Newell and H. A. Simon, *Human problem solving*, Brattleboro: Echo Point Books & Media, LLC, 2019.
- [4] Ö. Akin, *Psychology of architectural design*, London: Pion, 1989.
- [5] R. D. Coyne, M. A. Rosenman, and A. D. Radford, *Knowledge-based design systems*, Reading, Mass: Addison-Wesley, 1990.
- [6] B. Lawson, *How designers think*, 4rd ed, Architectural Press, 2006.
- [7] A. Menges and S. Ahlquist, “Computational design thinking,” *Computational design thinking*, Chichester, United Kingdom: Wiley, a John Wiley and Sons Ltd, Publication, pp. 10-30, 2011.
- [8] R. Oxman, “Theory and design in the first digital age,” *Design Studies*, vol. 27, no. 3, pp. 229–265, 2006.
- [9] C. Bovill, “The Fractal Dimension,” *Fractal geometry in architecture and design*, Birkhauser, pp. 23-46, 1996.
- [10] O. Z. Güzelci, S. Alaçam, A. K. Şen Bayram, and I. Lacroix, “Measuring the Entropy of Sinan’s Muqarnas Patterns,” *Nexus Network Journal*, vol. 23, no. 1, pp. 85–105, 2020.

- [11] M. J. Ostwald and J. Vaughan, "Measuring Architecture," *The Fractal Dimension of Architecture*, vol. 1, pp. 67-85, 2016.
- [12] E. Kuruçay, "Sinan mimarisinde görsel karmaşıklığın hesaplamalı analizi," Master thesis, Department of Architecture, Bursa Uludağ University Institute of Science and Technology, Bursa, Turkey, 2020.
- [13] M. Aksoy, "Varolan tasarım dilleri ve yeni tasarım dilleri bağlamında biçim gramerleri analizi," PHD thesis, Istanbul Technical University Department of Architecture of Science and Technology, İstanbul, Turkey, 2001.
- [14] J. Rollo, "Triangle and T-square: the windows of Frank Lloyd Wright," *Environment and Planning B: Planning and Design*, vol. 22, no.1, pp. 75–92, 1995.
- [15] G. Stiny, "Introduction to Shape and Shape Grammar," *Environment and Planning B*, vol. 8, pp. 343–351, 1980.
- [16] J. Wojtowicz and W. Fawcett, *Architecture: formal approach*, London: Academy editions, 1986.
- [17] T. Knight and G. Stiny, "Classical and non-classical computation," *Architectural Research Quarterly*, vol. 5, no. 4, 2001.
- [18] H. Koning and J. Eizenberg, "The Language of the Prairie: Frank Lloyd Wright's Prairie Houses," *Environment and Planning B: Planning and Design*, vol. 8, no. 3, pp. 295–323, 1981.
- [19] J. P. Duarte, "Towards the Mass Customization of Housing: The Grammar of Siza's Houses at Malagueira," *Environment and Planning B: Planning and Design*, vol. 32, no. 3, pp. 347–380, 2005.
- [20] P. Prusinkiewicz and A. Lindenmayer, "The Algorithmic Beauty of Plants," *The Virtual Laboratory*, 1990.
- [21] Anonymous. (2021, February 26). L-systems [Online]. Available: <http://www.michael-hansmeyer.com/l-systems>
- [22] (2021, February 27). www.mh-portfolio.com.
- [23] J. Frazer, *An evolutionary architecture*, London: Architectural Association, 1995.
- [24] J. H. Holland, *Adaption in natural and artificial systems an introductory analysis with applications to biology, control, and artificial intelligence*. Cambridge, Mass. u.a: MIT Press, 1994.
- [25] M. Hensel, *Techniques and technologies in morphogenetic design*. Chichester: Wiley-Acad., 2006.
- [26] J. von Neumann, "The General and Logical Theory of Automata," *Collected Works*, edited by A. H. Taub, pp. 1-41, 1963.
- [27] K. Terzidis, "The Intricacy of the Otherness," *Algorithmic architecture*, London: Routledge, pp. 15-37, 2016.
- [28] <https://www.arkitektuel.com/nakagin-kapsul-kulesi/>.

[29] B. Kolarevic, "Performance based design," *Architecture in the digital age: design and manufacturing, 1rd ed*, New York: Taylor & Francis, pp. 372-389, 2003.

[30] İ. Karadağ and N. Serteser, "Estimation of airflow characteristics of indoor environments in the early design stage," *A/Z : ITU Journal of Faculty of Architecture*, vol. 16, pp. 1–9, 2001.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

WC-Co-TiC Sermetlerinin Elektrik Akımı Destekli Sinterleme Yöntemi ile Üretimi ve Elektrokimyasal Özelliklerinin İncelenmesi

Nuri ERGİN^{a*}, Caner KOCABAŞ^a, Özkan ÖZDEMİR^a, Necati KOÇAK^a, Mehmet UYSAL^b

¹*Metaller ve Malzeme Mühendisliği, Teknoloji Fakültesi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Sakarya, TÜRKİYE*

²⁵*Metaller ve Malzeme Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, TÜRKİYE*

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: nergin@subu.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.954179

Öz

Bu çalışma kapsamında, Elektrik Akımı Destekli Sinterleme (ECAS) yöntemi kullanılarak 600-4500A akım aralığında yaklaşık 6 dakika gibi bir sürede WC-Co ve ağırlıkça %5, %7,5 ve %10 oranlarında TiC katkı WC-Co malzemelerinin üretimleri gerçekleştirilmiş ve katkı miktarına bağlı olarak TiC' ün özellikler üzerine etkisi incelenmiştir. SEM incelemelerinden katkısız WC-Co numunesinin uniform bir yapıya sahip olduğu, ilave edilen TiC partiküllerinin matris ile uyumlu bir birleşme gösterip, yapı içerisinde üniform dağıldığı görülmüştür. XRD paternlerinden katkısız numunede WC, Co pikleri ve TiC ilave edilen numunelerde ise WC, Co piklerinin yanı sıra TiC piki de tespit edilmiştir. Katkısız WC-Co ve ağırlıkça %5, %7,5, %10 TiC katkı numunelerin nispi yoğunlukları sırasıyla %98.77, %96.42, %95.91 ve %95.33 olarak hesaplanırken, mikrosertlik değerleri 1299 HV0.5, 1402 HV0.5, 1581 HV0.5 ve 1768 HV0.5 olarak belirlenmiştir. Elektrokimyasal korozyon çalışmaları Ağırlıkça %3.5 NaCl çözeltisi içerisinde gerçekleştirilmiş olup numunelerinin korozyon hızları sırasıyla 96.25 mpy, 89.13 mpy, 87.64 mpy ve 72.41 mpy olarak tespit edilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda TiC miktarının artmasıyla nispi yoğunluklarda azalma gözlenirken sertlik değerlerinin arttığı ve korozyon özelliklerinin iyileştiği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: WC-Co-TiC, Sermetler, Elektrik akımı destekli sinterleme, Elektrokimyasal korozyon

Production of WC-Co-TiC Cermets by Electric Current Assisted Sintering Method and Investigation of Electrochemical Properties

ABSTRACT

Within the scope of this study, using the Electric Current Assisted Sintering (ECAS) method, the production of WC-Co and WC-Co materials with TiC additives in the ratios of 5%, 7.5% and 10% by weight were carried out in about 6 minutes in the 600-4500A current range and the effect of TiC on properties was investigated depending on the amount. From the SEM examinations, it was observed that the undoped WC-Co sample had a uniform structure, the added TiC particles had a harmonious union with the matrix and were uniformly distributed within the structure. WC, Co peaks and TiC were added to samples without additives based on XRD patterns, and WC, Co peaks as well as TiC peaks were also detected. The relative densities of the undoped WC-Co and the samples with 5%, 7.5%, 10% TiC by weight were calculated as 98.77%, 96.42%, 95.91% and 95.33%, respectively, microhardness values were determined as 1299 HV0.5, 1402 HV0.5, 1581 HV0.5 and 1768 HV0.5. Electrochemical corrosion studies were carried out in 3.5% NaCl solution by weight and the corrosion rates of the samples were determined as 96.25 mpy, 89.13 mpy, 87.64 mpy and 72.41 mpy, respectively. As a result of the studies carried out, it was determined that the relative densities decreased with the increase in the amount of TiC, while the hardness values increased and the corrosion properties improved.

I. GİRİŞ

Sermetler, seramik (ser) ve metalik (met) malzemelerin bir araya gelmesiyle oluşan, seramiklerin yüksek sıcaklık özellikleri ve yüksek sertlik değerleri ile metallerin iyi plastik deformasyon özelliklerinin optimal birleştirilmesiyle meydana gelen kompozit malzemelerdir. Yüksek aşınma ve korozyon dirençleri ile ön plana çıkan bu malzemeler, seramikleri islatabilirlikleri ve ergime dereceleri yüksek olan Ni, Co veya Mo gibi metallerin meydana getirdiği matris ve matris içerisinde dağılım gösteren karbür, borür, nitrür veya oksit formundaki seramiklerin oluşturduğu yapılardır. Sermet kompozitler içerisinde en çok bilinen ve en yaygın kullanılan Tungsten Karbür Kobalt, 1920'li yıllarda kesici takım olarak geliştirilen, 1970lerde yüzey sertleştirme uygulamalarında kullanılan, genellikle geleneksel sinterleme yöntemleriyle üretilen, 600°C'ye kadar kararlılığını koruyabilen, yüksek aşınma ve korozyon direnci ile bilinen bir sermettir. Bu malzemeler, yüksek sertlik ve tokluk özelliğini bir arada bulduğundan kesici takım, delici uç, tel çekme kalıpları, makine parçaları için conta halkaları gibi endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılmakta ve deniz suyu madenciliği gibi mükemmel mekanik ve korozyon direncinin eş zamanlı olarak istendiği uygulamalarda aday malzemeler olarak düşünülmektedir [1], [2], [3].

WC-Co grubu malzemelerin üretimleri genel olarak geleneksel toz metalurjisi teknikleri ile yapılmaktadır. Ancak günümüzde daha yüksek mekanik özelliklerin elde edilmesi amacıyla farklı toz metalurjisi teknikleri, kompleks üretim prosesleri tercih edilmektedir. Bu çalışmada üretim prosesi olarak Elektrik Akımı Destekli Sinterleme (ECAS) tekniği kullanılmıştır. ECAS tekniği yüksek sıcaklıkta uzun bekleme süresi gerektiren, geleneksel toz metalurjisi teknikleri ile kolay elde edilmeyen malzemelerin daha kısa sürede, daha az işlem adımıyla, daha hızlı bir şekilde uniform olarak sentezlenmesine olanak sağlayan alternatif bir toz metalurjisi (TM) tekniğidir. Bu yeni sentezleme prosesi, ön şekillendirme işlemine gerek duyulmadan kalıp içerisine yerleştirilen tozların belirlenen basınç ve istenilen zaman aralığında, malzemenin iletkenlik derecesine bağlı olarak kalıp veya toz partiküller üzerinden elektrik akımı geçirilmek suretiyle oluşan Joule etkisi sayesinde ürün eldesi prensibine dayanmaktadır. Üretilen malzemelerin element içeriğine, elementler arasındaki ekzotermik reaksiyonlara ve akım türü, akım yoğunluğu gibi proses işlem parametrelerine bağlı olarak Darbeli Elektrik Akım Sinterlemesi (PECS), Kıvılcım Akım Sinterlemesi (SPS), Plazma Aktivasyon Sinterlemesi (PAS) gibi farklı isimlerle de bilinmektedir. ECAS tekniği, yüksek ısıtma hızı ve buna bağlı olarak kısa işlem süresi ile ön plana çıkan, koruyucu atmosfer ve ön şekillendirme işleminin opsiyonel olması ile minimum düzeyde yardımcı ekipmana gereksinim duyulması sayesinde geleneksel TM metotlarına göre düşük maliyetli ekonomik bir yöntemdir [4]-[5].

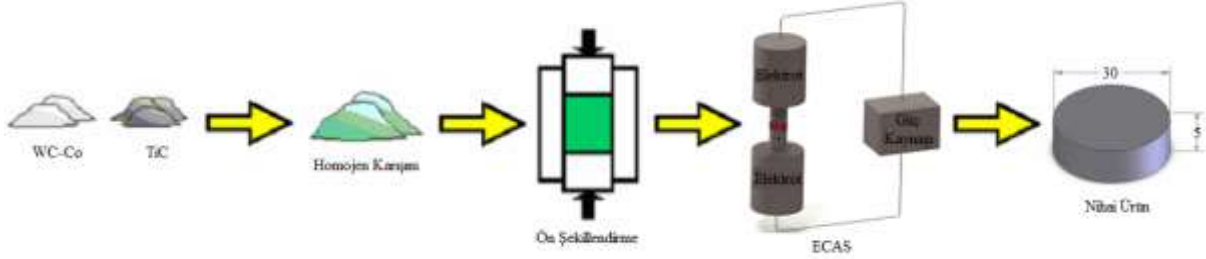
Bu çalışmada, katkısız ve ağı. %5, %7,5 ve %10 oranlarında TiC ilaveli WC-Co malzemelerinin ECAS tekniği ile 600-4500A akım aralığında 6 dakikada üretimleri gerçekleştirilmiştir. Üretilen malzemelerin Archimed prensibiyle yoğunlukları, mikrosertlik testleri yardımıyla sertlik değerleri, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile mikroyapıları, x-ışın paternleri ve kantitatif noktasal EDS analizleri ile faz yapıları ve elektro-kimyasal korozyon çalışmaları ile korozyon özellikleri belirlenmiştir.

II. MATERYAL VE METOT

A. MALZEME ÜRETİMİ

Katkısız ve TiC ilaveli WC-Co numunelerinin üretiminde Goodfellow Cambridge (İngiltere) Ltd. temin edilen WC-Co tozu ve Guangzhou Jiechuang Co. (Çin) Ltd. temin edilen TiC tozu başlangıç malzemesi olarak kullanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan WC-Co ve TiC tozlarının boyut ve safiyetleri sırasıyla 44 µm, %99.95 safiyet ve 5-15 µm, %99.99 saflıkta olup, sertlik değerleri WC-Co için 1250-1350 Hv, TiC ise 3200 Hv'dir. Şekil 1'de WC-Co ve TiC sermetlerinin şematik olarak üretim süreci gösterilmiştir.

Katkılı ve katkısız WC-Co-TiC malzemeleri uygun bileşim oranlarında hazırlanarak homojen karışımın sağlanması amacıyla 1:30 toz:bilye oranında olacak şekilde gezegensel değirmende kuru ortamda 600 rpm karıştırma hızıyla 25 dakika sürede karıştırılmıştır. Karıştırma işlemi gerçekleştirilen tozlar, bor nitür ile yağlanmış yüksek yüzey kalitesine sahip kalıplar içerisinde yerleştirilerek 300 MPa basınç altında şekillendirilmiştir.



Şekil 1. Üretim sürecinin şematik görünümü.

Şekillendirme işlemi takiben numune üretimleri 6 dakikada 600-4500 Amper akım aralığında gerçekleştirilmiş ve kalıplar içerisinde alınarak açık atmosferde soğutulmuştur. Üretim prosesi sonunda 30 mm çap ve 5 mm yüksekliğe sahip numuneler elde edilmiştir. Üretimi gerçekleştirilen numunelerin makro görüntüleri Şekil 2’de verilmiştir.



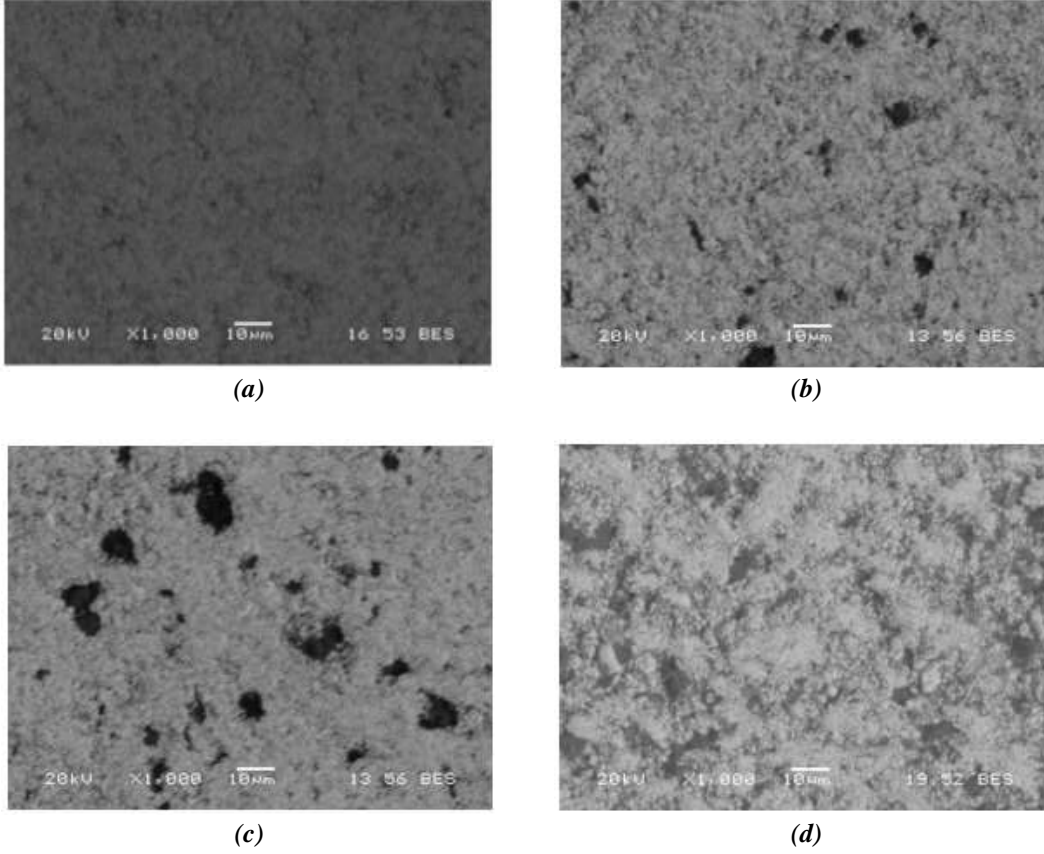
Şekil 2. Üretimi gerçekleştirilen numunenin makro görüntüsü.

B. KARAKTERİZASYON ÇALIŞMALARI

Karakterizasyon çalışmalarını için üretimi gerçekleştirilen numuneler standart numune hazırlama teknikleri esas alınarak 60 mesh zımpara kademesinden 1200 meshe kadar SiC zımpara ile zımparalanmış ve sonrasında 0,1 µm’lık elmas pasta ile parlatılmıştır. Numunelerin yoğunlukları suyun kaldırma kuvveti esasına göre Archimed prensibiyle hesaplanmış ve nispi yoğunlukları tespit edilmiştir. Mikrosertlik ölçümleri, Vickers sertlik ucu kullanılarak 10 saniye bekleme süresi ve 500 gr yük altında gerçekleştirilmiş, 6 ayrı ölçümün ortalaması alınarak tespit edilmiştir. Mikroyapı ve faz analizi, X-ışını kırınımı (XRD) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM-EDS) ile karakterize edilmiştir. Elektrokimyasal korozyon deneyleri oda sıcaklığında, ağı.%3,5 NaCl çözeltisi içerisinde, Gamry marka bilgisayar kontrollü potansiyostat/galvanostat test cihazında potansiyodinamik polarizasyon tekniği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Üç elektrot tekniği ile yapılan korozyon testlerinde referans elektrot olarak doymuş Ag/AgCl ve yardımcı elektrot olarak da grafit kullanılmıştır. Korozyon testleri sonrasında korozyon akımı (I_{corr}), korozyon potansiyeli (E_{corr}) ve korozyon hızı değerleri belirlenmiştir.

III. BULGULAR

WC-Co ve TiC katkıli WC-Co numunelerinin üretimleri gezegensel değirmende 600 rpm karıştırma hızında 25 dakika karıştırma işlemi sonunda 600-4500A akım aralığında 1350°C sıcaklıkta 6 dakikada gerçekleştirilmiştir. Numunelerin SEM mikroyapı görüntüleri Şekil 1(a-d) de verilmiştir.

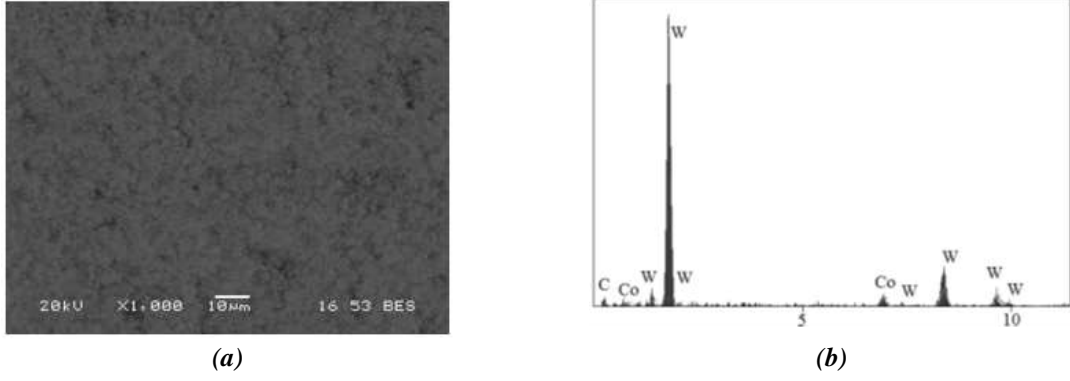


Şekil 3. (a) WC-Co (b) WC-Co+%5TiC (c) WC-Co+%7,5TiC (d) WC-Co+%10TiC .

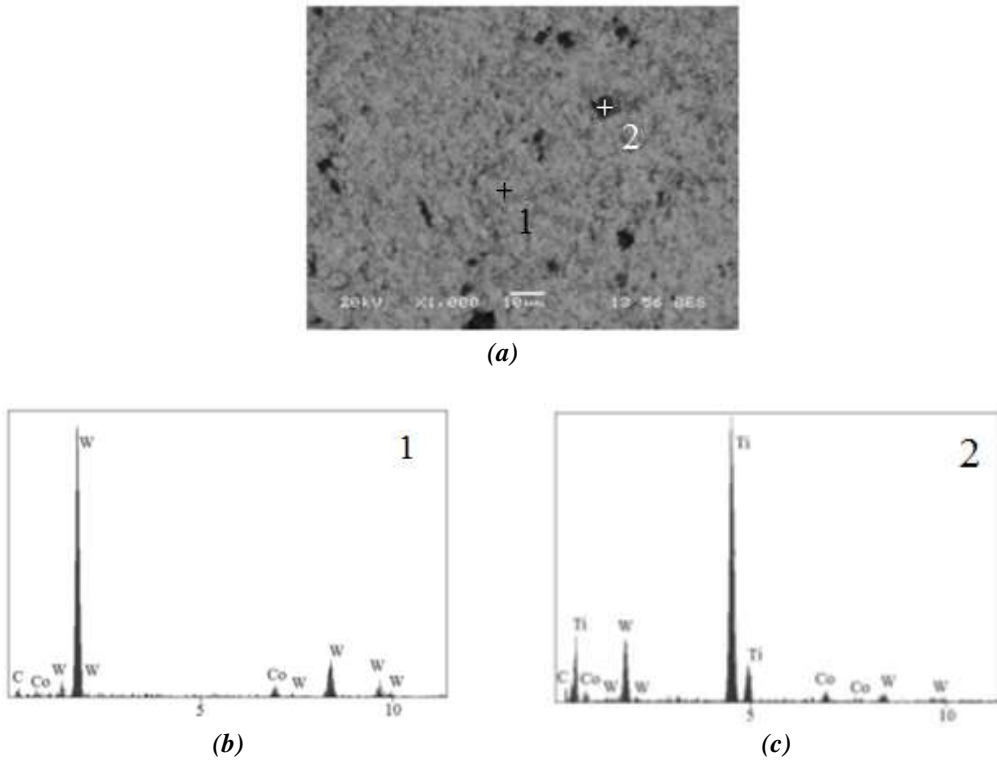
SEM incelemelerinden WC-Co numunesinin üniform bir yapıda olduğu, TiC katkıli numunelerde ise TiC partiküllerinin matrise göre daha koyu renkte olduğu, matris ile uyumlu bir birleşme meydana getirdiği görülmekte, ayrıca TiC miktarının artmasıyla yapıdaki ikinci fazın varlığının da arttığı gözlemlenmektedir. Özüdoğru [6] benzer bir çalışmada WC-Co sermetini 50 MPa basınçla şekillendirip, sıcak presleme (HP) ve spark plazma sinterleme (SPS) olmak üzere 2 farklı üretim tekniğiyle üretmişlerdir. Yapılan SEM çalışmalarından 1350°C ve 1425°C’de HP yöntemiyle elde edilen numunelerin, çok sayıda ve büyük poroziteler içerdiğini, bunun yanı sıra Co fazının matris görevini yerine getiremediğini bildirmişlerdir. 1300°C ve 1375°C’de 2 dakikada SPS tekniğiyle elde ettikleri numunelerin mikroyapılarından kobaltın sıvı faza geçerek katılaştığını, WC tanelerini sardığını ve SPS yöntemi ile başarılı sonuçlar aldıklarını vurgulamışlardır. Laptev ve arkadaşları [7], WC-16Co sermetini sıcak presleme yöntemiyle farklı sıcaklıklarda üretmişler, yapıdaki porozite değişikliklerini mikroyapısal olarak incelemişlerdir. Sinterleme sıcaklığının artması ile kobaltın sıvı faza geçmesi sayesinde, porozite boyutunda ve miktarında azalma olduğu, buna bağlı olarak yoğun bir mikroyapı elde edildiğini bildirmişlerdir. Bhaumik ve arkadaşları [8], WC-Co sermetine TiC ilavesi yaparak özelliklerini incelemişlerdir. TiC’ün mikroyapıda heterojen bir dağılım gösterdiğini belirtmişler, mikroyapısal heterojenliği ortadan kaldırmak için sisteme Ni ve Mo₂C ilave etmişlerdir.

Üretimi gerçekleştirilen malzemelerde oluşan fazlar hakkında detaylı bilgi edinebilmek için SEM noktasal elementel analiz incelemesi yapılmıştır. Analiz sonuçlarından (Şekil 2.1-2.4) katkısız WC-Co

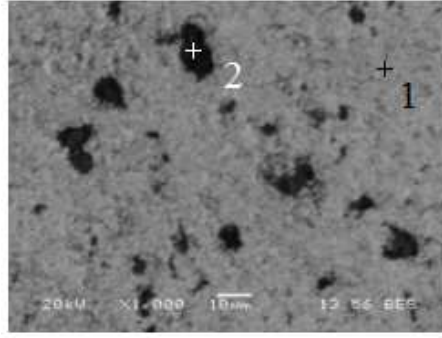
numunesinin istenen stokiometride olduğu belirlenmiştir. TiC takviyeli numunelerde ise açık renkli kısım WC-Co bölgesini, koyu renkli kısım TiC'ce zengin bölgeyi ifade etmektedir.



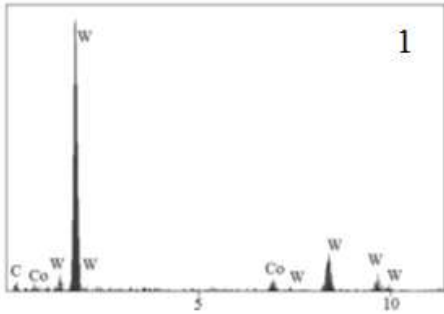
Şekil 4. (a) WC-Co (b) noktasal EDS analizi.



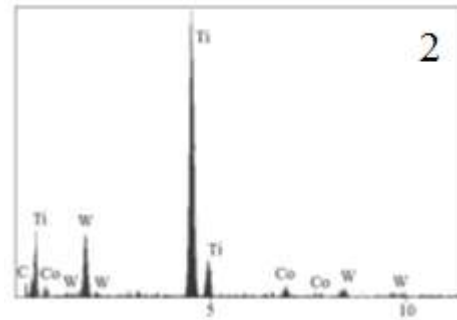
Şekil 5. (a) WC-Co + %5TiC (b) 1 için noktasal EDS analizi (c) 2 için noktasal EDS analizi.



(a)

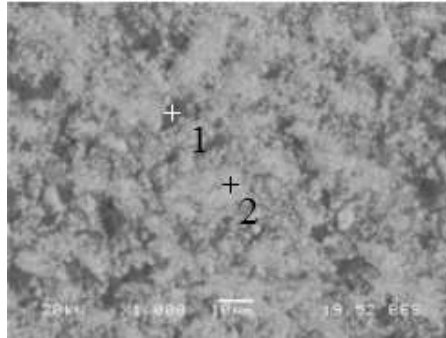


(b)

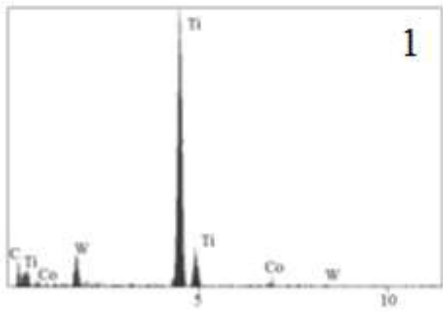


(c)

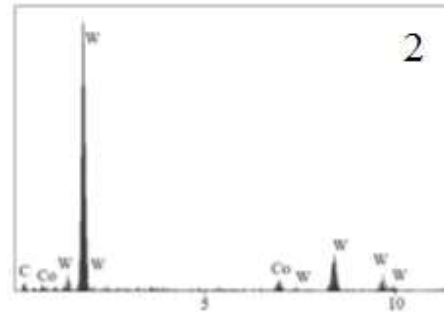
Şekil 6. (a) WC-Co + %7,5TiC (b) 1 için noktasal EDS analizi (c) 2 için noktasal EDS analizi.



(a)



(b)

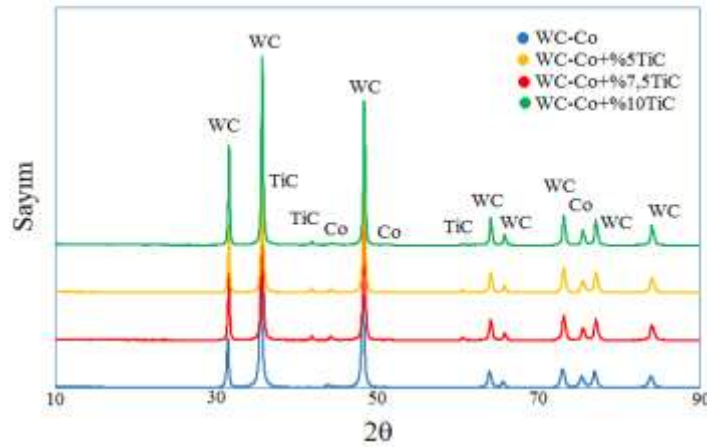


(c)

Şekil 7. (a) WC-Co + %10TiC (b) 1 için noktasal EDS analizi (c) 2 için noktasal EDS analizi.

ECAS yöntemi kullanılarak üretimi gerçekleştirilen numunelerinin faz yapılarını tespit etmek için x-ışınları difraksiyon analizi yapılmış ve sonuçlar Şekil 8'de gösterilmiştir. Şekil 8'de görüldüğü gibi

katkısız WC-Co numunesinde WC ve Co pikleri tespit edilirken, TiC katkısı yapılan numunelerde WC, Co piklerinin yanı sıra TiC piki de net olarak görülmüştür. WC pikleri 2θ yaklaşık 32, 35 ve 48 derecelerde tespit edilirken, Co piki ise 75 derecede tespit edilmiştir. TiC takviyeli numunelerdeki TiC pikleri ise yaklaşık 2θ 43 ve 65 derecelerde belirlenmiştir. TiC yüzdesinin artması ile pik şiddetlerinde artmalar meydana gelirken, numunelerde WC, TiC ve Co dışında herhangi bir faza rastlanmamıştır. Jeong-Han ve arkadaşları [9], PCAS tekniği ile ürettikleri WC ve WC-Co malzemelerinin mikroyapı ve mekanik özelliklerine ısı işlemin etkisi üzerine yaptıkları çalışmalarında WC-10Co numunesinde WC ve Co piklerini tespit etmişlerdir. Benzer verileri Jianfeng ve arkadaşları da [10], kobaltın partikül boyutu ve miktarı açısından farklılık gösteren WC-Co bileşimlerini mikrodalga sinterlemesi ile üretimlerini gerçekleştirmiş ve benzer faz analizleri elde etmiştir. Li Yajiang ve arkadaşları [11], YT758 ticari ismi ile bilinen WC-TiC-Co alaşımı üzerine yaptığı çalışmada elde ettikleri XRD paternlerinden WC, TiC ve α-Co piklerini tespit ettiklerini bildirmişlerdir.



Şekil 8. Numunelerin XRD paternleri.

Numunelerin yoğunlukları suyun kaldırma kuvveti Archimed prensibi esasına göre kuru ağırlıkları ve saf suyun içinde ağırlıkları ölçülerek hesaplanmıştır. Ölçülen yoğunluklar Tablo 1’de verilmiştir. Üretilen numunelerin nispi yoğunluklarının %95’in üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Sun ve arkadaşları [12], WC-11Co alaşımına VC ve Cr₃C₂ ilave ederek SPS tekniği ile üretimlerini gerçekleştirmişlerdir. Numuneler 900 ile 1200°C sıcaklık aralığında 40 MPa basınçta 5 dakika sürede vakum altında sinterlenmiştir. Nispi yoğunlukların sinterleme sıcaklığı ve numunelerin bileşim oranına bağlı olarak %97 ile %100 aralığında değişim gösterdiğini bildirmişlerdir. Jian ve arkadaşları [13], WC-20Co numunelerini lazer melting yöntemiyle üretmişler ve nispi yoğunluk olarak %96 mertebelerine ulaşmışlardır.

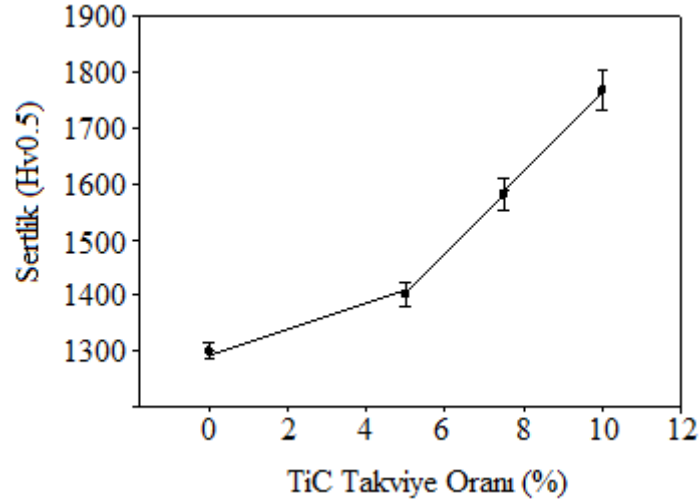
Tablo 1. Tüm numunelerin deneysel olarak tespit edilen nispi yoğunlukları.

Malzeme	Nispi Yoğunluk (%)
WC-Co	98.77
WC-Co+5%TiC	96.42
WC-Co+7,5%TiC	95.91
WC-Co+10%TiC	95.33

Numunelerin mekanik özellikleri hakkında bilgi vermesi açısından önem teşkil eden sertlik değerleri Vickers sertlik ucu kullanılarak belirlenmiştir. Sertlikler, metalografik olarak hazırlanmış numunelerden 500 gr yük altında 6 farklı ölçümün ortalaması alınarak tespit edilmiş ve Tablo 2’de verilmiştir. Ayrıca Şekil 9’da TiC takviye oranına bağlı olarak sertlik davranışını göstermek amacıyla grafik olarak da sunulmuştur.

Tablo 2. Üretilen numunelerin sertlik değerleri.

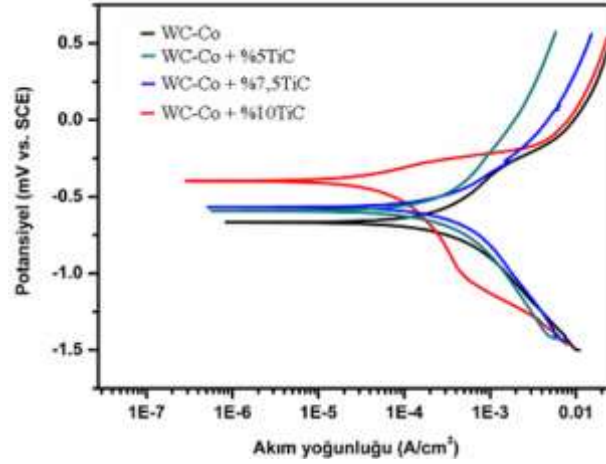
Malzeme	Üretim Sonrası (HV0.5)
WC-Co	1299
WC-Co+%5TiC	1402
WC-Co+%7,5TiC	1581
WC-Co+%10TiC	1768



Şekil 9. TiC takviye oranına bağlı olarak sertlik değişimi.

Özüdoğru [6] sıcak presleme yöntemi kullanarak 50 MPa basınç altında 30 dakikada üretimini gerçekleştirdikleri numunelerin, ihtiva ettiği Co miktarı ve sinterleme sıcaklığına bağlı olarak sertlik değişimlerini incelemişler ve sertlik değerlerinin 900 ile 1300 Hv aralığında olduğunu bildirmişlerdir. Peştreli ve arkadaşları [14], mekanik alaşımlamanın WC-%6Co sermetinin sinterleme davranışı üzerine etkisi alanında yaptığı çalışmada üretilen numunelerin mekanik alaşımlama şartlarına bağlı olarak sertliklerinin 1680-1770 Hv aralığında değişim gösterdiğini belirtmişlerdir. Kyong ve arkadaşları [15], sıcak izostatik presleme yöntemi ile üretilen WC-TiC-Co sermetinin WC-TiC tane boyutuna bağlı olarak mekanik ve mikroyapı özelliklerini incelemişler, katkısız WC-Co alaşımlamanın sertliği 1400 Hv olarak tespit ederken, tane boyutu ve TiC içeriğine bağlı olarak WC-TiC-Co numunelerin 1500 ile 2200 Hv aralığında değişim gösterdiğini bildirmişlerdir.

Ayrıca bu çalışmada numunelerin elektrokimyasal olarak Tafel bölgelerinin korozyon potansiyeline ekstrapolasyonu ile korozyon özellikleri belirlenmiştir. Korozyon testleri ağırlık %3.5 NaCl çözelti ortamında üç elektrot tekniği kullanılarak, -1V ve +1V aralığında 0,5 mV/sn tarama hızıyla Tafel eğrileri (Şekil 4) elde edilerek yapılmıştır. Icorr, Ecorr ve korozyon hızları belirlenmiştir. Tafel yaklaşımı kullanılarak elde edilen korozyon değerleri Tablo 3'de verilmiştir.



Şekil 10. Üretilen numunelerin %3.5 NaCl çözeltisindeki Tafel eğrileri.

Tablo 3. Numunelerin %3.5 NaCl çözeltisi içindeki korozyon değerleri.

Malzeme	E _{corr} (mV)	I _{corr} (mA/cm ²)	Korozyon Hızı (mpy)
WC-Co	-0,724	127,9	96,25
WC-Co + %5TiC	-0,501	54,38	89,13
WC-Co + %7,5TiC	-0,609	96,7	87,64
WC-Co + %10TiC	-0,631	109,12	72,41

Korozyon direncinin en iyiden en kötüye doğru sıralaması yapıldığında WC-Co+%10TiC, WC-Co+%7,5TiC, WC-Co+%5TiC ve katkısız WC-Co şeklindedir.

Myalska ve arkadaşları [16], WC-17Co sermetinin yüzeyini termal sprej yöntemi ile nano boyutlu TiC tozları ile kaplamış ve %1, 3, 5 ve 7 oranında TiC içeriğine bağlı olarak korozyon özelliklerini incelemiştir. TiC içeriğinin artmasıyla paralel olarak korozyon direncinin arttığını ve katkısız WC-Co numunesinin ise korozyon direncinin bu seride en düşük seviyede olduğunu belirtmişlerdir. Nan Lin ve arkadaşları [17], alkali çözeltisi içerisinde benzer bir çalışma gerçekleştirmiş, %5, 10 ve 20 oranlarında TiC ilave ederek korozyon davranışlarını incelemiştir. Yapılan çalışmada Tafel eğrilerinden TiC miktarının artması ile korozyon direncinin önemli ölçüde arttığını bildirmişlerdir. TiC içeriğine sahip alaşımların yüzeyinde TiO₂ bileşiği oluşarak alkali çözeltilere maruz kalan alanı azaltmak suretiyle korozyon işlemi önlediğini vurgulamışlardır.

IV. TARTIŞMA VE SONUÇ

Son yıllarda WC-Co sermetlerinin özellikleri, farklı oranlarda alaşım elementi ilavesi veya farklı tür ve miktarda seramik katkıları ile günümüz gereksinimlerini karşılayacak düzeyde geliştirilmeye çalışılmaktadır. Yapılan çalışmalar TiC ilavesinin hem mekanik hem de korozyon özelliklerini önemli ölçüde geliştirdiğini belirtmektedir. Bu çalışmada, korozif ortamlar için yüksek aşınma direncinin ön plana çıktığı uygulamalarda aday malzemeler olarak düşünülen WC-Co malzemesine, ağırlıkça %5, %7,5 ve %10 oranlarında TiC ilave edilerek toz metalürjisine alternatif bir yaklaşım olan ECAS tekniği ile 600-4500A akım aralığında 6 dakika sürede üretilmiştir. SEM incelemelerinden WC-Co numunesinin homojen dağılıma sahip üniform bir yapıda olduğu, TiC katkıları numunelerde TiC partiküllerinin yapı içerisinde üniforma yakın olarak dağıldığı ve matris ile uyumlu bir birleşimde olduğu gözlenmiştir. XRD analizlerinden katkısız WC-Co numunesinde WC ve Co pikleri belirlenirken, TiC katkısı yapılan numunelerde WC, Co piklerinin yanı sıra TiC piki de tespit edilmiştir. WC-Co, WC-Co+%5TiC, WC-Co+%7,5TiC ve WC-Co+%10TiC numunelerinin nispi yoğunlukları sırasıyla %98.77, %96.42, %95.91 ve %95.33 olarak hesaplanırken, mikrosertlik değerleri sırasıyla 1299 HV0.5, 1402 HV0.5, 1581 HV0.5 ve 1768 HV0.5 olarak belirlenmiştir. Ağ.%3.5 NaCl çözeltisi içerisinde

gerçekleştirilen elektrokimyasal korozyon sonrası WC-Co, WC-Co+%5TiC, WC-Co+%7,5TiC ve WC-Co+%10TiC numunelerinin korozyon hızları sırasıyla 96.25 mpy, 89.13 mpy, 87.64 mpy ve 72.41 mpy olarak tespit edilmiştir. Genel olarak numunelerin korozyon, yoğunluk, mikroyapı ve sertlik özellikleri değerlendirildiğinde elde edilen sonuçlar literatürle benzer nitelikte olup, TiC ilavesinin artmasıyla sertlik değerlerinin arttığı, korozyon özelliklerinin iyileştiği ancak nispi yoğunlukların azaldığı belirlenmiştir.

TEŞEKKÜR: Yazarlar bu çalışmaya maddi ve manevi olanak sağlayan Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Komisyon Başkanlığına (2019-50-01-026) ve Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Malzeme ve Üretim Teknolojileri Uygulama ve Üretim Merkezine katkılarından dolayı teşekkürlerini sunarlar.

V. KAYNAKLAR

- [1] S. Zhang, "Titanium carbonitride-based cermets: processes and properties," *Materials Science and Engineering A*, vol. 163, pp.141-148, 1993.
- [2] A. Can, "AISI 5140 çeliğinin Sermet PVD ile TiAlN – CVD ile TiN kaplanmış kesici uçlarla tornalanmasında kesme değişkenleri, kaplama cinsi ve takım aşınmasının yüzey pürüzlülüğüne etkisinin deneysel incelenmesi," Yüksek Lisans tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 2003.
- [3] A. Özer, Y.K. Tür, "Tetragonal Zirkonya Katkılı Cr₃C₂-NiCr Sermet Kompozitlerin karakterizasyonu ve mekanik özellikleri," *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 14, ss. 375-380, 2013.
- [4] R. Orru, R. Licheri, A.M. Locci, A. Cincotti, G. Cao, "Consolidation/Synthesis of materials by electric current activated/assisted sintering," *Materials Science and Engineering*, vol. 63, pp. 127-287, 2009.
- [5] S. Grasso, Y. Sakka, G. Maizza, "Electric current activated/assisted sintering (ecas): a review of patents 1906-2008," *Sci. Technol. Adv. Mater.*, vol. 10, pp. 1-24, 2009.
- [6] R. E. Özüdoğru, WC-Co "Semente karbürlerin üretimi ve karakterizasyonu," Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 2008.
- [7] A. V. Laptev, Ponomarev, S. S. and L. F. Ochkas, "Structural features and properties of alloy 84% wc – 16% co, obtained by hot pressing in the solid and liquid phases 1: effect of the temperature at which the specimens are prepared on their density and structure," *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*, vol. 39, pp. 607-617, 2000.
- [8] S. K. Bhaumik, Upadhyaya, G. S. and M. L. Vaidya, "Properties and microstructure of WC-TiC-Co and WC-TiC-Mo₂C-Co(Ni) Cemented Carbides," *Materials Science and Technology*, vol. 7, pp. 723-728, 1991.
- [9] L. Jeong-Han, O. Ik-Hyun, J. Jun-Ho, H. Sung-Kil, P. Hyun-Kuk, "Mechanical properties and microstructural evolution of WC-binderless and WC-Co hard materials by the heat treatment process," *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 786, pp.1-10, 2019.
- [10] L. Jianfeng, C. Jigui, C. Pengqi, C. Wenchao, W. Chenlong, "Fabrication of WC-Co cemented carbides with gradient distribution of WC grain size and Co composition by lamination pressing and microwave sintering," *Ceramics International*, vol. 44, pp. 11225-11232, 2018.



- [11] L. Yajiang, Z. Zengda, H. Xiao, W. Juan, "Microstructure and XRD analysis in the brazing zone of a new WC–TiC–Co hard alloy," *Materials Research Bulletin*, vol. 37, pp. 941-948, 2002.
- [12] L. Sun, C. Lin, C. Jia, X. Jia, M. Xian, "Change in relative density of WCCo cemented carbides in spark plasma sintering process," *Rare Metals*, vol. 27, pp. 74-77, 2008.
- [13] C. Jian, H. Miaojun, Z. Zak, K. Mark, L. Wei, D. Xin, Z. Zhe, C. Shaohua, W. Shanghua, L. Jianye, Q. Wenjun, W. Zhongping, "Microstructure analysis of high density WC-Co composite prepared by one step selective laser melting," *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, vol. 84, pp. 104980- 104986, 2019.
- [14] D. Peştrelî, "Mekanik Alaşım İlama Yönteminin WC-Co Sert Metal Sisteminin Sinterleme Davranışı Üzerine Etkisi," Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 2019.
- [15] H. L. Kyong, I. C.Seung, K. K. Byung, H. H. Soon, "Effect of WC/TiC grain size ratio on microstructure and mechanical properties of WC–TiC–Co cemented carbides," *International Journal of Refractory Metals & Hard Materials*, vol. 24, pp. 109–114, 2006.
- [16] H. Myalska, J.K. Michalska, G. Moskal, K. Szymański. "Effect of nano-sized TiC powder on microstructure and the corrosion resistance of WC-Co thermal spray coatings," *Surface & Coatings Technology*, vol. 318, pp.270–278, 2017.
- [17] L. Nan, H. Yuehui, W. Chonghu, L. Shaofeng, X. Xiaohua, J. Yao, "Influence of TiC additions on the corrosion behaviour of WC–Co hardmetals in alkaline solution," *Int. Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, vol. 46, pp. 52–57, 2014.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Altı Silindirli Bir Dizel Motorun Turbo Şaft Hızının Motor Performansına Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi

 Suat SARIDEMİR^{a,*},  Musab GÖKTAŞ^b

^a Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

^b Üretim Direktörlüğü, BMC Power Motor ve Kontrol Sistemleri A.Ş., Sakarya, TÜRKİYE

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

DOI: 10.29130/dubited.1009237

ÖZ

İçten yanmalı motorların icadı ile birlikte aynı hacimden daha fazla güç elde etmek, ortaya çıkan araştırma konularından biri olmuştur. Aşırı doldurma sistemlerinden biri olarak turboşarj, motorun yanma odasına gönderilen hava miktarını artırarak motordan daha fazla güç elde edilmesini amaçlamaktadır. Turboşarj kompleksi türbin ve kompresör olmak üzere 2 temel bileşenden oluşmaktadır. Yanma sonucu oluşan egzoz gazlarının enerjisini, motora giren havayı sıkıştırmak için kullanılan turboşarj sistemi, ortak bir şaft aracılığı ile motora giren havayı sıkıştırır. Basınçlanan ve sıkışan hava, yanma odasına iletilir ve böylece aynı hacme daha yoğun hava gönderilmiş olur. Bu çalışmada standart dizel yakıtı ile çalıştırılan, dört zamanlı, altı silindirli ve su soğutmalı dizel bir motorun, turbo tahliye basıncı ayarlanarak farklı turboşaft hızlarında motor performans değerleri ölçülmüştür. Motor tam yükte ve 1000, 1500 ve 1800 d/dak motor hızlarında iken farklı turboşaft hızlarının, motor gücüne, torkuna, silindir içi basınçlara, fren özgül yakıt tüketimine, egzoz manifold sıcaklığına ve emisyonlara (İs, NO_x, CO ve HC) etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Yapılan çalışmada, motor tam yük ve 1500 d/dak'da iken turboşaft hızı artışının motor tork ve gücünü doğru orantılı olarak artırdığı görülmüştür. Turboşarj hızı arttıkça İs, CO ve NO_x emisyonları azalmış, HC emisyonu ise artmıştır. Motor tam yük ve 1500 d/dak'da iken tahliye basıncının 2,6 bar seviyesine ayarlanması, egzoz manifoldu sıcaklığını aşırı arttırmış ve güvenli bölgenin dışına çıkmıştır.

Anahtar Kelimeler: Turbo şaft hızı, Tahliye basıncı, Motor performansı

Experimental Investigation of the Effect of Turbo Shaft Speed on Engine Performance of a Six Cylinder Diesel Engine

ABSTRACT

Since the invention of internal combustion engines, obtaining more power from the same volume has been one of the emerging research topics. As one of the supercharging systems, the turbocharger aims to obtain more power from the engine by increasing the amount of air sent to the combustion chamber of the engine. The turbocharger assembly consists of two basic components, the turbine and the compressor. The turbocharger system uses the energy of combustion exhaust gases to compress the air entering the engine. Pressurized and compressed air is transmitted to the combustion chamber, so that denser air is sent to the same volume. In this study, engine performance values of a four-stroke, six-cylinder and water-cooled diesel engine, which is run with standard diesel fuel, were measured at different turboshaft speeds by adjusting the waste gate pressure. The effects of different

turboshaft speeds on engine power, torque, peak fire pressures, brake specific fuel consumption, exhaust manifold temperature and emissions (Soot, NO_x, CO and HC) at full load and engine speeds of 1000, 1500 and 1800 rpm were experimentally investigated. In the study, it was observed that increase in the turboshaft speed increased in the engine torque and power when the engine was at full load and 1500 rpm. As the turbocharger speed increased, the soot, CO and NO_x emissions decreased and the HC emissions increased. Adjusting waste gate pressure to 2.6 bar when the engine is at full load and 1500 rpm has increased the exhaust manifold temperature excessively and the safe zone has been exceeded.

Keywords: Turbine shaft speed, Discharge pressure, Engine performance

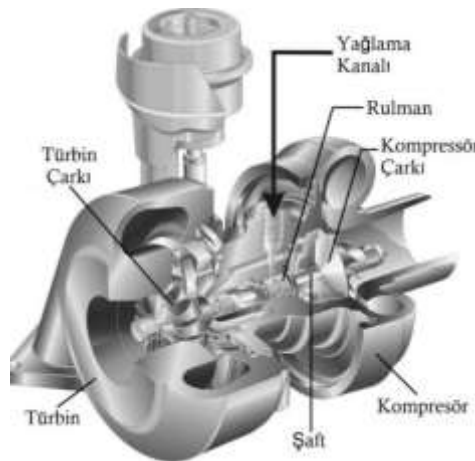
I. GİRİŞ

Otomotiv üretimi için daha da kısıtlayıcı hale gelen emisyon mevzuatı, otomotiv teknolojisinin egzoz emisyonlarını azaltacak şekilde gelişmesini gerektirmektedir. Bu gereklilik, üreticilerin belirlenen hedeflerin içinde kalması için onları zorlamakta ve benzersiz çözümler sunmalarını talep etmektedir.

Araçlarda üretilen emisyon seviyelerinin düşürülmesine ve yakıt tüketiminin iyileştirilmesine alternatif bir çözüm olarak motor hacimlerinin küçültülmesi gelmektedir. Büyük muadillerine göre daha az yakıtla çalışan daha küçük motorların kullanılması, oluşan emisyon miktarını ve yakıt tüketimini doğru orantılı olarak azaltmaktadır. Ancak bu durumda motordan elde edilecek güç, motor hacmine bağlı olarak azalma gösterecektir. Bu amaçla, motorun hacmindeki düşüşle azalan motor gücünü geri kazanıp, daha düşük emisyon ve daha fazla güç elde edilebilmesi için 1909 ile 1915 yılları arasında Alfred Buechi [1] tarafından turboşarj sistemi keşfedilmiştir [1]. Turboşarj sayesinde motor gücünde kayda değer bir artış görülmektedir. Günümüzde özellikle dizel motorlu araçlara entegre edilen turboşarj sistemi aşağıdaki temel avantajları beraberinde getirmektedir [2]:

- Turboşarj, belirli bir güç çıkışı için motorun ağırlığını ve hacmini azaltmaktadır. Bu nedenle, turboşarjlı motorlar boyut olarak daha küçüktürler. Küçük motor boyutu motor ısı kayıplarının yanı sıra, sürtünme kayıplarında da azalma sağlamaktadır.
- Turboşarj sistemi, atıl egzoz gazı enerjisini kullanır ve bu sayede yakıt ekonomisi sağlar.
- Turboşarj, gaz ve partikül emisyonlarında azalma sağlamaktadır.
- Turboşarj, yüksek devirlerde motor gücü kaybını önlemektedir.

Tipik bir turboşarj tasarımı Şekil 1’de gösterilmiştir [3].



Şekil 1. Turboşarj şematik resmi.

Turboşarj, temel olarak egzoz gazı tahrikli bir türbin ve bir radyal hava kompresöründen oluşmaktadır. Türbin ve kompresör, ortak bir milin karşılıklı uçlarına monte edilir ve döküm bir muhafaza içinde bulunmaktadır. Kompresör çarkını ve türbin çarkını birleştirmek için bir mil somunu veya dişli mil yapısı kullanılmaktadır. Mil, rulman muhafazası içine yerleştirilmiştir ve bir rulman ile desteklenmiştir.

Ortalama bir turboşarj için bu rulman, 100.000 d/dak'dan daha yüksek dönme hızları için tasarlanmıştır. Turboşarjın sağlıklı çalışabilmesi için, metal aksamda dolaşan bir yağ sirkülasyonu mevcuttur. Bu yağ, rulman ve mil arasındaki boşluğu doldurur. Boşluğun yağ ile dolu olması turboşarjın mekanik verimliliği ve ömrü için oldukça önemlidir. Turboşarj sistemlerinin dizel motorlu araçlardaki kullanımının artmasıyla birlikte, sistemin verimini arttırmaya yönelik çalışmalarda hız kazanmıştır. Turboşarjın, yakıt tasarrufu ve emisyon alanında yapılan başlıca araştırmalardan olan Shahed ve Bauer'in çalışması, turboşarj ile birlikte bir dizel motorun %40 oranında küçültülmesinin yakıt tüketiminde %23 azalma sağladığını doğrulamıştır [4]. Daha az yakıt tüketimi aynı zamanda daha az CO2 emisyonu anlamına gelmektedir. Ayrıca Pakale ve Patel, turboşarjın nitrojen oksitleri önemli ölçüde azalttığını ve yakıt verimliliğini ile güç ilişkisini iyileştirdiğini deneysel olarak ispatlamışlardır [5].

Turboşarjlı sistemlerde temel bir problem olarak tanımlanan tepki süresine bağlı turbo gecikmesiyle ilgili de literatürde birçok çalışma mevcuttur. Weissbaeck'in çalışmasında, turbo gecikmesinin azaltılması, egzoz gazlarındaki enerjiyi mekanik enerjiye geri kazanmak için kullanılan turboşarjın türbin bileşeninin tasarımı ile ilişkilendirilmiştir. Çalışmada turbo gecikmesini azaltmak için birçok yöntem önerilmiş ve test edilmiştir, nihai olarak sonuçlar göstermektedir ki temelde en önemli iyileşme kütle atalet momentini azaltarak sağlanmıştır [6]. Marchant ve ark. tarafından yapılan çalışmada, turboşarj simülasyon modellerinden elde edilen fren ortalama efektif basıncı (BMEP) ve hacimsel verimliliği (VE) içerecek şekilde turboşarj şaft hızını ve motor performansını etkileyen veriler incelenmiştir. Motor 2500 d/dak hızda iken türbin şaft hızı %11 oranında artmış, bu hız artışı volümetrik verimi ve fren özgül yakıt tüketimini sırasıyla %3,6 ve %10 oranlarında arttırmıştır. Türbin hızının artması ile birlikte, tüm simülasyondaki motor gücü ve torkunda ortalama %8,5'lik bir artış kaydedilmiştir [7]. Hasler, mevcut tahliye kapaklı turboşarj dizaynlarını, akışın yeniden verilme yöntemi, akışın yeniden verilme açısı ve tahliye kapağı bypass kapasitesi bağlamında araştırmıştır. Çalışmaları sonucunda tahliye kapağı olan bir turboşarjın, olmayan bir turboşarja göre %6,5'lük bir türbin güç artış olduğu sonucuna ulaşmıştır [8]. Kharazmi ve arkadaşları, benzinli bir motorda hava fazlalık katsayısının ve turbo tahliye basıncının NO_x emisyonu ve motor performansına etkilerini araştırmışlardır. Araştırma sonucunda, hava fazlalık katsayısının %20 oranında artması, motor gücünü %9 oranında arttırdığı ve yakıt tüketimini %7 oranında azalttığı belirtilmiştir [9]. Pesyridis ve ark., mekanik parçaların turboşarjlı dizel motor üzerindeki etkilerini incelemiştir. Simülasyonlar sonucunda mevcut sistemde önemli bir değişiklik yapılmadan alternatif bir egzoz enerjisi geri kazanım yöntemini sunmuşlardır [10]. Turboşarjın sağlayacağı yüksek güçler göz önüne alındığında, turboşarjlı dizel motorların farklı turboşaft hızlarının motor performansı üzerindeki etkileri hakkında literatürde bir boşluk olduğu görülmektedir. Bu doğrultuda yapılacak olan araştırmalar tanımlanan sistemin nasıl çalıştığının anlaşılmasına ve global bir sorun haline gelen emisyonun azaltılması için yapılacak olan potansiyel çalışmalara katkı sağlayacaktır.

Bu çalışmada, standart dizel yakıtı ile çalıştırılan, dört zamanlı, altı silindri ve su soğutmalı dizel bir motorun, turbo tahliye basıncı ayarlanarak farklı turboşaft hızlarında motor performans ve emisyon değerleri incelenmiştir.

II. MATERYAL VE METOD

A. DENEY MOTORUNUN TEKNİK ÖZELLİKLERİ

Deney motorunun teknik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Deney motorunun teknik özellikleri.

Motor Hacmi	12800 cm ³
Silindir Sayısı	6
Supap Sayısı	24

Piston apı	128 mm
Silindir Strok	166 mm
Sıkıştırma Oranı	17:1
Motor Gücü	600 Hp (1800 d/dak)
Motor Torku	2700 Nm (900-1400 d/dak)
Maksimum Devir	2700 d/dak
Emiş Sistemi	Turbo

Deneylerde 12,8 litre motor hacmine sahip, dört zamanlı, altı silindirli ve su soğutmalı dizel bir motor kullanılmıştır.

B. EGZOZ EMİSYONU CİHAZININ TEKNİK ÖZELLİKLERİ

Emisyon ölçümleri AVL marka duman ölçer ve emisyon cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Tüm ölçümler TSE13231 standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Deneyler esnasında is, NO_x, CO ve HC emisyonları ölçülmüştür. Emisyon ölçüm cihazının teknik özellikleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Emisyon ölçüm cihazının teknik özellikleri.

Özellik	NO _x (ppm)	CO (%)	HC (ppm)	İs (%)
Emisyon Hassasiyeti	+ 10	0,01	+ 10	+ 1

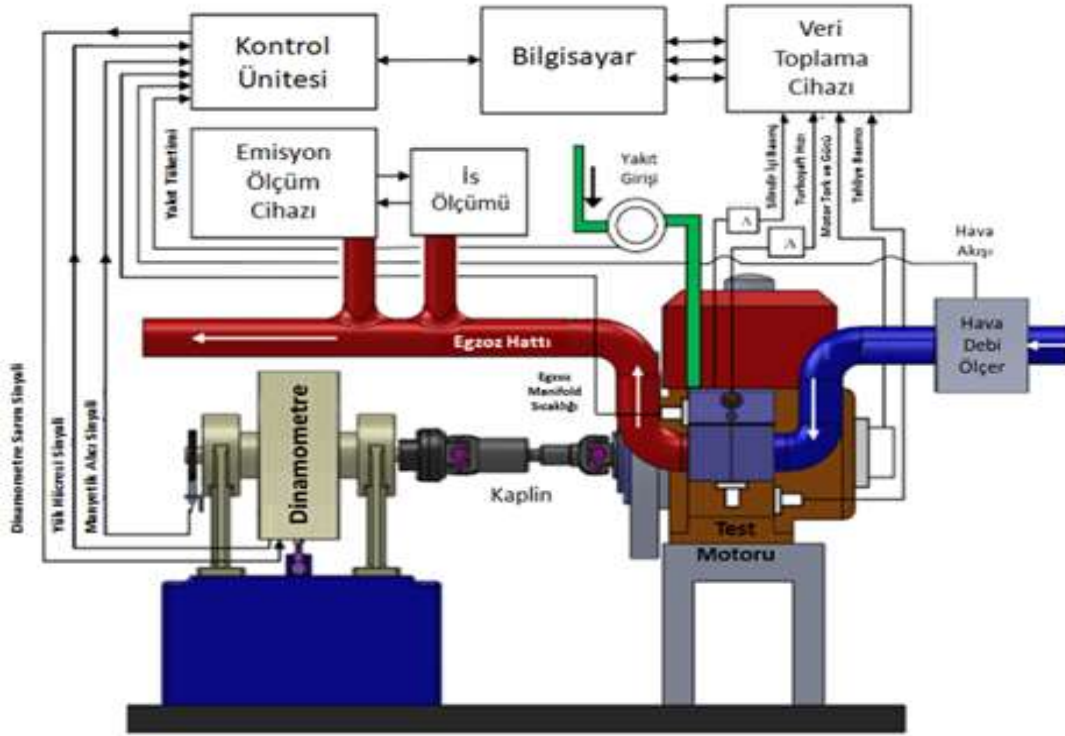
C. MOTOR TEST DİNAMOMETRESİNİN TEKNİK ÖZELLİKLERİ

Deneylerde elektrikli bir dinamometre kullanılmıştır. Dinamometrenin teknik özellikleri Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3. Dinamometrenin teknik özellikleri.

Motor Markası	Schneider
Maksimum Hız	5800 d/dak
Maksimum Güç (@ nominal hız)	590 Hp
Maksimum Tork (@ nominal hız)	3000 Nm

Deney düzeneği şematik olarak Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Deney düzeneğinin şematik görünümü.

D. KULLANILAN SENSÖRLERİN TEKNİK ÖZELLİKLERİ

Silindir içi basınç değerleri, Kistler 6044A model bir yüksek sıcaklık silindir içi basınç sensörü kullanılmıştır. Turbo şaft hızının ölçümünde Micro Epsilon marka DZ 140 model hız ölçüm sensörü kullanılmıştır. Farklı noktalardan alınan sıcaklık ölçümlerinde K tipi termokupllar kullanılmıştır. Sensörlere ait teknik veriler Tablo 4’te verilmiştir.

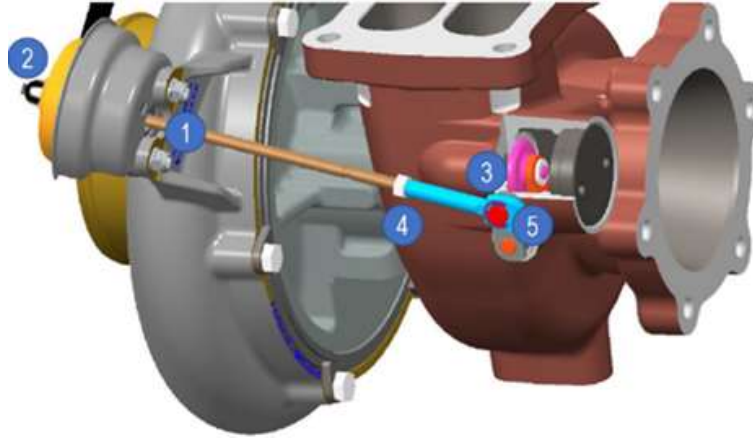
Tablo 4. Kullanılan Sensörlerin teknik özellikleri.

Sensör Adı	Çalışma Sıcaklığı (°C)	Ölçüm Aralığı	Hassasiyet
Micro Epsilon DZ140	-40	200	% ± 0,2
	+125	400 (d/dak)	(FSO)
Kistler 6044A	-20	0	≈ -30
	+350	300 (bar)	(pC/bar)
K tipi Termokupl	-200°	-200°	% 0,75
	+1350	+1350 (°C)	

E. KULLANILAN TURBOŞARJ SİSTEMİ

Günümüzde kullanılan aşırı doldurma sistemleri, turboşarj ve süperşarj olmak üzere iki ana grupta toplanabilir. Turboşarjlar kendi arasında tek kademeli, çift kademeli, tahliye kapaklı, tahliye kapaksız ve değişken geometri olarak farklı çeşitlere sahiptir. Bu çalışmada sabit geometriye sahip, tek kademeli ve tahliye kapaklı bir turboşarj kullanılacaktır. Turboşarj üreticisi PANKL şirkettir ve turboşarjın maksimum güvenli çalışma hızı 110.000 d/dak’dır. Tahliye kapaklı bir turboşarjda, turboşarj kompresör çıkış hattına bağlı bir yay bulunmaktadır. Sıkıştırılan hava basıncı belli bir değerin üzerine çıktığında yay basılır ve türbin kısmında bulunan tahliye kapağı açılır. Bu sayede egzozdan çıkan

gazların bir kısmı türbini döndürmeden doğrudan tahliye edilir. Bu şekilde shaftın dönüş hızı sınırlandırılmış olur. Deney sırasında kullanılan turboşarj şematik olarak Şekil 3’de verilmiştir.



Şekil 3. Kullanılan Turboşarjın şematik resmi.

F. KULLANILAN TURBOŞARJ SİSTEMİ

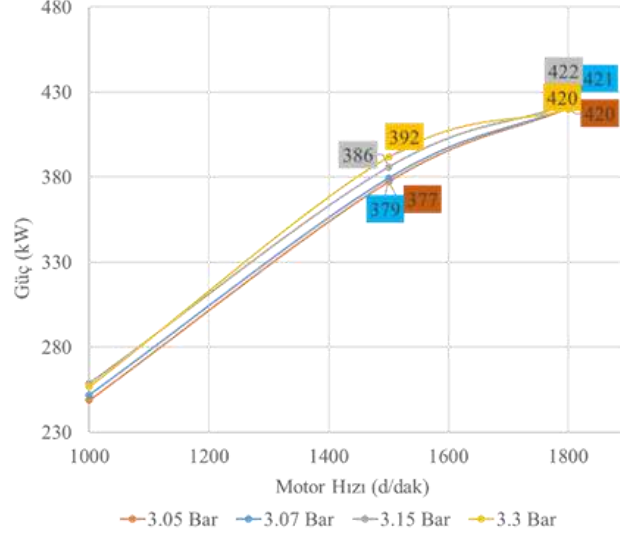
Deneylere motor soğutma suyu yaklaşık 90 °C’ye ve motor yağ sıcaklığı yaklaşık 100 °C’ye ulaşınca başlanmıştır. Deneyler motor tam yük altında 1000, 1500 ve 1800 d/dak hızlarında yapılmıştır. Deneyler esnasında turboşaft hızı, tahliye basınç ayarı yapılarak kontrol edilmiştir. Tahliye basınç ayarı, tahliye kapağına ön yükleme basıncı verilerek ayarlanmıştır. Tahliyeyi gerçekleştiren itici çubuğun ucunda sıkıştırılan bir yay bulunmaktadır. İlk olarak itici çubuğun diğer ucundaki somun gevşetilerek bu yayın boşa çıkması sağlanmıştır. Sonrasında yay tarafında bulunan girişten istenilen basınçta hava verilerek yayın sıkışması sağlanıp, somunun bu pozisyonda sıkılması ile ön yükleme ayarı yapılmıştır. Tahliye basınç ayarı, denenecek en düşük basınç olan 2,6 bar’a ayarlanarak ilk ölçümler alınmıştır. Akabinde motorun ısınma döngüsü tekrarlanarak, 3,05, 3,07, 3,15 ve 3,30 bar değerlerinde ölçümler tekrarlanmıştır.

III. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

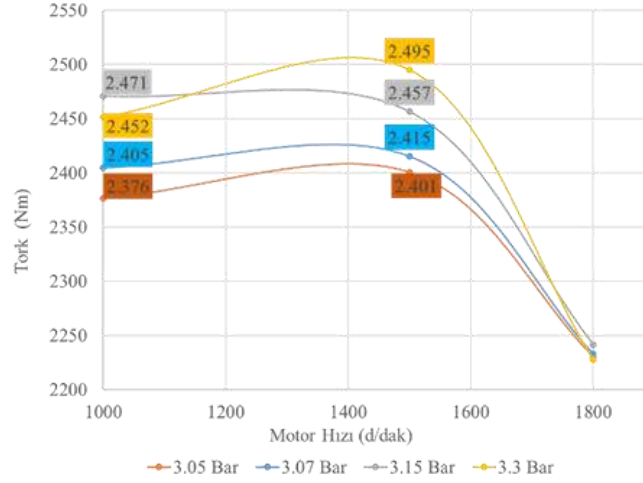
A. PERFORMANS KARAKTERİSTİKLERİ

Şekil 4’te farklı tahliye basınçlarının motor hızına bağlı olarak motor gücüne ve torkuna olan etkisi verilmiştir. Motor tam yükte iken tahliye basınç artışının motor gücünü ve torkunu doğru orantılı olarak arttırdığı görülmüştür. Bu artış 1500 d/dak’da daha belirgin iken, 1800 d/dak’da tüm tahliye basınçları için birbirine yakın değerler elde edilmiştir. 1500 d/dak’da 392kW maksimum motor gücüne ve 2495 Nm torka, 3,3 bar tahliye basıncında erişilmiştir. 1800 d/dak’da 422kW maksimum motor gücüne 3,15 bar tahliye basıncında erişilmiştir. 1800 d/dak’da supap açılma sürelerinin kısalmasına bağlı olarak düşen volumetrik verim, tüm tahliye basınçlarında maksimum motor güçlerinin birbirine yakın çıkmasına neden olmuştur.

Tahliye basıncı arttıkça, turboşarjın kompresör kısmı daha hızlı dönerek motora gönderilen hava debisini artırmıştır. Tahliye basıncına bağlı olarak volumetrik verimin artması, yanma verimini artırarak tam yanmayı sağlamıştır. Bu durum motor tarafından üretilen tork ve güç değerlerini, tahliye basıncı ile doğru orantılı olarak arttırmıştır. Motor devrine bağlı olarak püskürtülen yakıt miktarının artması, tüm tahliye basınçlarında devre bağlı olarak motor gücünü artırmıştır. Fakat motor devrine bağlı olarak volumetrik verimin düşmesi ve yanma için gerekli sürenin kısalması, tüm tahliye basınçlarında 1800 d/dak’da torkun düşmesine neden olmuştur.



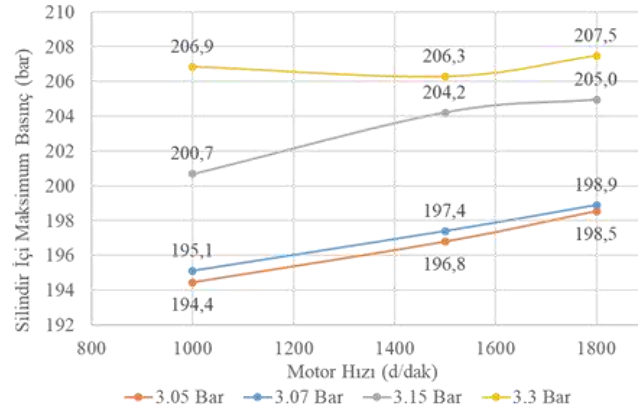
(a)



(b)

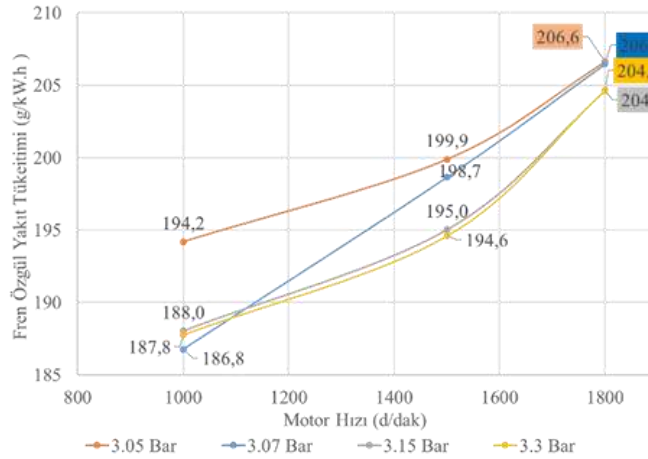
Şekil 4. Motor Hızına Bağlı olarak Tahliye Basıncının (a) Motor Gücüne ve (b) Motor Torkuna Etkisi.

Şekil 5'te farklı tahliye basınçlarının motor hızına bağlı olarak silindir içi maksimum basınç değerlerine olan etkisi verilmiştir. Motor için güvenli maksimum silindir içi basınç değeri 210 bar olarak öngörülmüştür. Silindir içi basınç değeri, silindir içine alınan hava miktarı ile doğru orantılıdır. Bu nedenle tahliye basıncına bağlı olarak silindir içi maksimum basınç değerleri artmıştır. Şekil 5'te, 1000 d/dak ve 1500 d/dak'da silindir içi basınç değerlerinin, tahliye basınç artışına ve motor devrine bağlı olarak arttığı görülmektedir. En yüksek silindir içi basınçlara 3,3 bar tahliye basıncında ulaşılmıştır. Bu durum en yüksek volumetrik verime 3,3 bar tahliye basıncında ulaşılmasından kaynaklanmıştır.



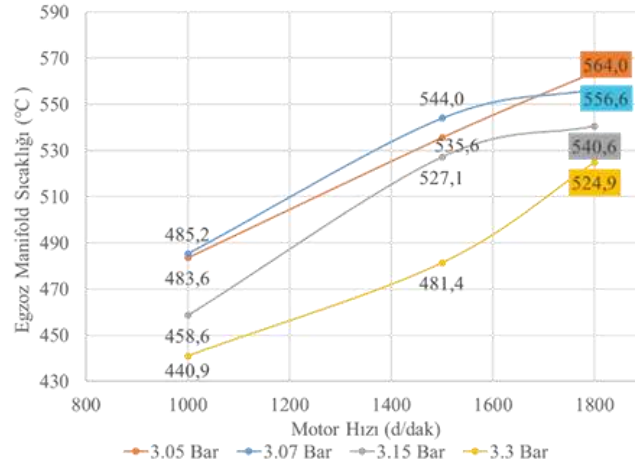
Şekil 5. Motor hızına bağlı olarak tahliye basıncının silindir içi basınca etkisi.

Şekil 6’da farklı tahliye basınçlarının motor hızına bağlı olarak özgül yakıt tüketimine etkisi verilmiştir. Özgül yakıt tüketimi, güç başına tüketilen yakıt miktarını ifade etmektedir. Şekil 6’da görüldüğü gibi, tahliye basıncı ve dolayısı ile turboşaft hızı arttıkça özgül yakıt tüketimi düşmektedir. 3,3 bar tahliye basıncında en büyük maksimum tork ve güç değerlerinin elde edilmesi, özgül yakıt tüketimini düşürmüştür. Silindire giren hava miktarı artışına bağlı olarak, yanma veriminin artması, güç başına tüketilen yakıt miktarını düşürmüştür.



Şekil 6. Motor hızına bağlı olarak tahliye basıncının özgül yakıt tüketimine etkisi.

Şekil 7’de farklı tahliye basınçlarının motor hızına bağlı olarak egzoz gazı sıcaklığına olan etkisi verilmiştir. Motorun egzoz manifoldu içerisine K tipi sıcaklık sensörleri yerleştirilerek yanma sonrası egzoz gazı sıcaklığı ölçülmüştür. Egzoz gazı sıcaklıklarının genel olarak tahliye basıncı arttıkça azaldığı görülmüştür. Bu durum yanma odasında yeterli oranda hava olması nedeni ile, püskürtülen yakıtın tamamının silindir içinde yanmasından kaynaklanmıştır. Püskürtülen yakıtın silindir içerisinde büyük oranda yanması, egzoz zamanı esnasında art yanma oranını düşürerek egzoz sıcaklığının da düşmesini sağlamıştır. Motor devrine bağlı olarak tüm tahliye basınçlarında püskürtülen yakıt miktarının artışı, egzoz sıcaklığını motor devrine bağlı olarak artırmıştır.



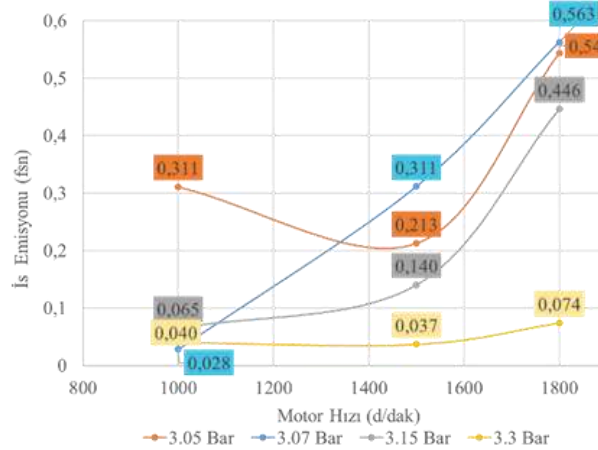
Şekil 7. Motor hızına bağlı olarak tahliye basıncının egzoz gazı (türbin giriş) sıcaklığına etkisi.

B. EMİSYON DEĞİŞİMLERİ

İs emisyonu, eksik yanma ile ortaya çıkan yanmamış karbonun toplanmasıyla oluşan zerreciklerdir. İs, yanmaya katılmadan atılan yakıt olduğundan yakıt tüketimini olumsuz yönde etkilerken, silindir yüzeyi ve segmanlardaki aşınmayı hızlandırmaktadır. Ayrıca, supap oturma yüzeylerinde kalan is parçacıkları kompresyon kaçağına da sebep olabilmektedir.

Şekil 8’de farklı tahliye basınçlarının motor hızına bağlı olarak is emisyonuna etkisi verilmiştir. Dizel motorlarda silindir içerisine giren hava miktarı arttıkça yanma verimi de artmaktadır. Verimli yanma sonucunda ise is oluşumu daha az görülmektedir.

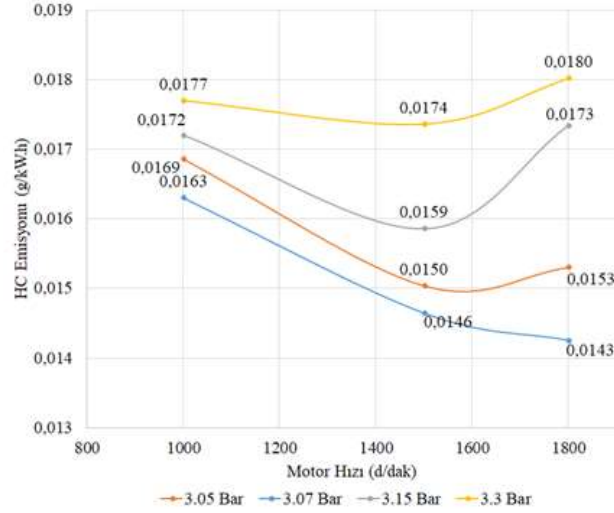
Yapılan ölçümler sonucu, tahliye basıncı arttıkça, is oluşumunun azaldığı görülmüştür.



Şekil 8. Motor hızına bağlı olarak tahliye basıncının is emisyonuna etkisi.

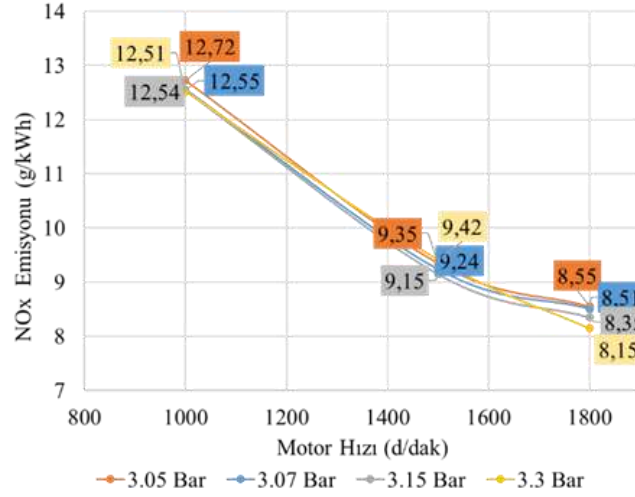
HC emisyonları, supap bindirmesi esnasındaki gaz kaçaqları, silindir iç cidarları üzerinde kalan yanmamış gazın egzoz çevrimi esnasında dışarı atılması, kötü yanma sonrasında yanmamış gazların mevcudiyeti, tüm alev cephesinin yanma odasının duvarlarına ulaşmasından önce alevin sönmesi ve yakıt hava karışımının çok zengin veya çok fakir olması gibi durumlardan dolayı yakıtın tutuşma sıcaklığına gelmemesi veya ortamda oksijenin yetersiz olmasından dolayı yanmanın tam gerçekleşmemesi nedeni ile oluşur [10].

Şekil 9’da farklı tahliye basınçlarının motor hızına bağlı olarak HC emisyonuna etkisi verilmiştir. Tahliye basıncının artması ile birlikte silindir içerisine giren daha fazla miktardaki hava, karışımı fakirleştirmiştir. Bu nedenle 3,3 bar tahliye basıncında, maksimum HC emisyonu ölçülmüştür. Motor devrinin artması ile yanma odasında oluşan türbülansın artması, yanma kalitesini artırarak HC emisyonlarını 1500 d/dak’a kadar düşürmüştür. 1500 d/dak’tan sonra yanma odasına püskürtülen yakıt miktarının artması, ve yanma için gerekli sürenin azalması tüm tahliye basınçları için 1800 d/dak’ta HC emisyonlarını artırmıştır.



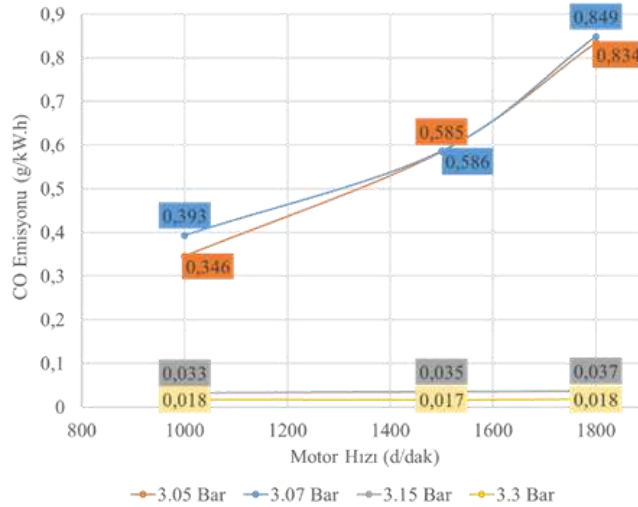
Şekil 9. Motor hızına bağlı olarak tahliye basıncının hc emisyonuna etkisi.

Azot ve oksijen gazlarının yüksek sıcaklıklarda değişik moleküllerinin birleşmesi ile NO, NO₂, N₂O, N₂O₃ vb. gibi çeşitli gazlar ortaya çıkar ki bunların hepsine birden “Azot oksitler” denir ve NO_x olarak ifade edilir. NO_x emisyonlarını azaltmak için, yanma odası içindeki sıcaklığın 1800 °C’ye ulaşmasını önlemek ve yüksek sıcaklıklara ulaşılan süreleri kısa tutmak gerekmektedir. Ayrıca oksijen konsantrasyonu oranı da, NO_x emisyonlarına etki eder. Şekil 10’da farklı tahliye basınçlarının motor hızına bağlı olarak NO_x emisyonuna etkisi verilmiştir. Motor devrinin artışına bağlı olarak yüksek sıcaklıklara ulaşılan sürenin kısılması, tüm tahliye basınçlarında devir artışına bağlı olarak NO_x’leri düşürmüştür. Şekil 10’da tüm tahliye basınçları için NO_x’lerin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Bu durum, düşük tahliye basınçlarında, havanın yetersiz olmasına nedeni ile oluşan zengin karışımdan dolayı, art yanmanın egzoz zamanına kaymasına ve bu nedenle egzoz sıcaklığının yüksek olmasına bağlıdır. Yüksek tahliye basınçlarında ise, yanmanın tam olması egzoz sıcaklığı artırmıştır. Tüm tahliye basınçlarında egzoz sıcaklıklarının yüksek olması, NO_x’lerin birbirine yakın çıkmasına neden olmuştur. 1000 dev/dak’da yanma için gerekli sürenin yeterli olması, yanma verimini ve yanma sonu sıcaklığını artırmıştır. Motor devrinin artmasına bağlı olarak yanma süresinin kısılması tüm tahliye basınçlarında yanma sonu sıcaklıklarının ve NO_x’leri düşürmüştür.



Şekil 10. Motor hızına bağlı olarak tahliye basıncının no_x emisyonuna etkisi.

Egzoz gazları arasında CO'nun bulunmasının en önemli nedeni, yanma ortamındaki oksijenin yetersiz olması ve bu nedenle yakıtın okside olamaması veya kısmen okside olmasıdır. CO oluşumunu etkileyen en önemli faktörlerden biri hava fazlalık katsayısıdır. Şekil 11'de farklı tahliye basınçlarının motor hızına bağlı olarak CO emisyonuna etkisi verilmiştir. 3,15 bar ve 3,3 bar tahliye basınçlarında tüm devirlerde yeterli oksijenin olması, CO emisyonlarını düşürmüştür. 3,05 ve 3,07 bar tahliye basınçlarında oksijenin daha az oranda olması, yakıt içindeki karbonun CO₂'ye dönüşümünü sınırladığından dolayı CO emisyonlarını artırmıştır.



Şekil 11. Motor hızına bağlı olarak tahliye basıncının co emisyonuna etkisi.

IV. SONUC

Bu çalışmada, hava tahliyeli turboya sahip altı silindirli bir dizel motorun, tahliye basıncına bağlı olarak turboşaft hızının motor performansı ve emisyonlara olan etkisi araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Tahliye basıncının düşmesi, egzoz sıcaklıklarını arttırmıştır. Motor devrinin artışına bağlı olarak püskürtülen yakıt miktarının artışı, egzoz sıcaklıklarını arttırmıştır.
- Tahliye basıncının motor tork ve güç değerlerine etkisi 1500 d/dak'da daha belirgin iken, 1000 ve 1800 d/dak'da değişimler minimum düzeyde kalmıştır. 1500 d/dak'da 392kW maksimum motor gücüne 3,3

bar tahliye basıncında erişilmiştir. 1800 d/dak'da 422kW maksimum motor gücüne 3,15 bar tahliye basıncında erişilmiştir. En büyük motor tork değerleri, 900-1400 d/dak arasında elde edilmiştir.

- 1400 d/dak'nın üzerinde üretilen tork miktarı önemli oranda düşüş göstermiştir. Farklı tahliye basınçlarında 1500 d/dak civarında üretilen torklar arasındaki fark daha fazla iken, 1800 d/dak'da fark azalmıştır. Motor maksimum tork değerine 1500 d/dak'da, 3,3 bar tahliye basıncında ulaşmıştır.
- Tahliye basınçlarına bağlı olarak silindir içi basınç değerlerinin değiştiği görülmüştür. 3,3 bar tahliye basıncında maksimum (207,5 bar) silindir içi basınca ulaşmıştır.
- Tahliye basıncı arttıkça egzoz gazı sıcaklığının düştüğü görülmüştür. En düşük egzoz gazı sıcaklığı 3,3 bar da, en yüksek egzoz gazı sıcaklığı ise 3,05 bar da elde edilmiştir. 1800 d/dak'da en düşük egzoz gazı sıcaklığı 524,9 °C iken, en yüksek gaz sıcaklığı 564°C'dir.
- Tahliye basıncı arttıkça özgül yakıt tüketiminin azaldığı görülmüştür.
- Tahliye basıncı arttıkça is, NO_x ve CO emisyonlarının azaldığı görülmüştür. Maksimum HC emisyonu ise 3,3 bar tahliye basıncında ölçülmüştür.

TEŞEKKÜR: Bu çalışma Düzce Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından desteklenmiştir. (Proje numarası: 2020.07.04.1133).

V. KAYNAKLAR

- [1] M.P. Guerrier, P.A. Williams, A.R. Greig, M. Fry, A.J. Allnutt and J.N. Stewart, "The application of phosphorescent particle tracking (PPT) to the visualisation of gas flows in the cylinder of a 1.8 litre 4-valve engine," *SAE Transactions*, vol. 108, no. 3, pp. 1538-1553, 1999.
- [2] H. Hiereth and P. Prenninger, *Charging the internal combustion engine*, Newyork, USA: Springer Science & Business Media, 2007, pp. 60–101.
- [3] S. Shaaban, "Experimental investigation and extended simulation of turbocharger non-adiabatic performance," Ph.D dissertation, Department of Mechanical Engineering, University of Hanover, Hanover, 2004.
- [4] S. M. Shahed and K.H. Bauer, "Parametric studies of the impact of turbocharging on gasoline engine downsizing," *SAE International Journal of Engines*, vol. 2, no. 1, pp. 1347-1358, 2009.
- [5] P.N. Pakale and S.U. Patel, "Performance analysis of IC engine using supercharger and turbocharger-a review," *International Journal of Research in Engineering and Technology*, vol. 4, no. 2, pp. 17-22, 2015.
- [6] M. Weissbäck, Mike Howlett, N. Ausserhofer and S. Krapf, "The efficiency engine - cost-effective alternative to downsizing," *Auto Tech Review*, vol. 1, no. 2, pp. 33–36, 2011.
- [7] D. Marchant, A. Kusztelan, Y. Yao and Y. Wang, "Comparative study of turbine shaft speed for two alternative turbocharger types fitted to a light-duty CI engine," *Scientific Proceedings XXI International Scientific-Technical Conference*, 2013, pp. 63-67.
- [8] C. Hasler, "Optimisation of wastegate bypass flow reintroduction for increased turbine stage efficiency," *13th International Conference on Turbocharges and Turbocharging*, 2018, pp. 309-320.
- [9] S. Kharazmi, A. Hajilouy-Benisi and A. Mozafari, "Experimental investigation of waste gate effects on performance and NO_x emissions in a turbocharged aftercooled CNG SI engine and its turbocharger," *SAE Technical Paper*, vol. 148, no. 1, pp. 7191-7202, 2015.
- [10] A. Teo Sheng Jye, A. Pesiridis and S. Rajoo, "Effects of mechanical turbo compounding on a turbocharged diesel engine," *SAE International and Copyrigh*, vol. 103, no. 1, pp. 1-10,2013.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Türkiye ve Yakın Çevresinde Güneş Fotometreleri ile Elde Edilen Aerosol Optik Derinliği Verisinin Zamansal ve Mekansal Değişimi

 Elif TEZCAN ^a,  Selin KARSLIOĞLU ^a,  Gizem TUNA TUYGUN ^a,  Tolga ELBİR ^{a,*}

^a Çevre Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: tolga.elbir@deu.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.960072

ÖZ

Yer seviyesinde konumlandırılmış AERONET ağına bağlı güneş fotometreleri ile belirlenen Aerosol Optik Derinliği (AOD), atmosferik aerosollerin izlenmesinde kullanılan temel parametredir. Kısaca, belli bir dalga boyundaki elektromanyetik enerjinin atmosferdeki aerosoller nedeniyle azalması olarak tanımlanan bu parametrenin bir bölgede mekansal ve zamansal değişimlerinin belirlenmesi o bölge atmosferinde aerosol varlığına ve özelliklerine ilişkin önemli bilgiler vermektedir. Bu çalışma kapsamında, ülkemizin de içinde yer aldığı Doğu Akdeniz bölgesinde 2008-2018 yılları arasındaki toplam 10 AERONET istasyonunda AOD değişimleri incelenmiştir. Değerlendirmeler farklı zaman dönemleri (yıllık, mevsimlik ve aylık) için ayrı ayrı yapılmıştır. Buna göre, çalışma alanı içinde AOD verilerinin mevsimlere göre farklılık gösterdiği ortaya konmuştur. İlkbahar ve yaz aylarında büyük AOD değerleri elde edilirken sonbahar ve kış aylarında daha küçük değerler görülmüştür. Türkiye’de yer alan kırsal istasyonda, kentsel istasyona göre daha büyük AOD değerleri elde edilmiştir. Özellikle yaz, ilkbahar ve sonbahar mevsimleri kırsal istasyonun Afrika ve Asya kaynaklı toz taşınımından en çok etkilendiği mevsimler olup, bu durumun istasyonda büyük AOD değerlerinin ölçülmesine neden olduğu bilinmektedir. Çalışma kapsamında değerlendirilen Türkiye ve yakın çevresinde yer alan 8 AERONET istasyonunda aylık değişimlerin birbirine benzediği, en çok veri sayısına yaz aylarında (Temmuz ve Ağustos) ulaşıldığı görülmüştür. En az veri sayıları ise kış mevsiminde Aralık ve Ocak aylarında elde edilmiştir. Diğer istasyonlardan farklı olarak toz taşınımından etkilendiği bilinen Atina (ATHENS-NOA), Kıbrıs Limasol (CUT-TEPAK), Girit adası (FORTH_CRETE) ve İskeçe (Xanthi) gibi Akdeniz Bölgesi istasyonlarında ilkbahar aylarında, Türkiye’de yer alan kırsal istasyonda olduğu gibi büyük AOD değerleri elde edilmiştir. Çalışma kapsamında elde edilen AOD verisi yardımıyla, bölgede yer seviyesindeki partikül madde konsantrasyonlarının tahminine yönelik istatistiksel tahmin modellerinin hazırlanması mümkün olabilecektir.

Anahtar Kelimeler: Aerosol optik derinliği, Aerosol, AOD, AERONET, Türkiye, Doğu Akdeniz

Temporal and Spatial Variation of Aerosol Optical Depth Data from Sun Photometers in Turkey and its Surroundings

ABSTRACT

Aerosol Optical Depth (AOD) is the main parameter monitored by sun photometers located at the ground in the AERONET network for the monitoring of atmospheric aerosols. AOD is defined as the reduction of electromagnetic energy of a certain wavelength due to aerosols in the atmosphere. It provides significant information about the spatial and temporal variations of aerosols and aerosol properties in a region. In this study, variation of AOD at 10 AERONET stations in the Eastern Mediterranean region including Turkey were determined between 2008-2018. Results were analyzed in different temporal scales including annual, seasonal, and monthly. The results indicated that the AOD data differed by season in the study area. In general, larger

AOD values were obtained at the rural station in Turkey compared to the urban station. Especially the rural station is mostly affected by dust transport from Africa and Asia in summer, spring, and autumn. It is known that this causes large AOD values at this station. Whereas larger AOD values were obtained in the spring and summer months, smaller values were observed in the autumn and winter months. It was determined that the monthly changes were similar at 10 AERONET stations. The highest number of data was observed in the summer months (July and August). The least data numbers were obtained in December and January in the winter season. Different from other stations, stations such as Athens (ATHENS-NOA), Cyprus Limassol (CUT-TEPAK), Crete Island (FORTH-CRETE), and Xanthi (Xanthi), which are known to be affected by dust transport, showed similar results with the rural station in Turkey. They had larger AOD values mainly in the spring and summer months. Statistical models for estimation of ground-level particulate matter concentrations in the region could be established with AOD obtained by this study.

Keywords: Aerosol optical depth, Aerosol, AOD, AERONET, Turkey, Eastern Mediterranean

I. GİRİŞ

Havada asılı kalan küçük katı ve/veya sıvı parçacıklar olarak bilinen aerosollerin kaynakları arasında volkanik patlamalar, orman yangınları, okyanus dalgaları, toz fırtınaları gibi doğal kaynaklar ile endüstriyel faaliyetler ve fosil yakıtların yakılması gibi antropojenik kaynaklar sayılabilir [1-3]. Bunların dışında, aerosollerin atmosferde güneş ve nem etkisiyle bazı fotokimyasal reaksiyonlar sonucu ikincil kirleticiler olarak da oluşabildiği bilinmektedir [4]. Bu nedenle aerosoller atmosferdeki varlıkları nedeniyle özellikle hava kalitesinin izlenmesi, iklim değişikliğinin incelenmesi ve sağlık etkilerinin belirlenmesi gibi çalışmalarda incelenen temel hava kirleticilerin başında gelir [5-9]. Ayrıca, aerosoller meteorolojik etkenlerle atmosferde uzak mesafelere taşınabildikleri için oluştukları kaynağın etrafındaki yerel hava kalitesini olumsuz etkiledikleri gibi yüzlerce ya da binlerce kilometre uzağa taşınarak bölgesel ve küresel ölçekte de etkili olabilmektedir [10-15].

Aerosoller güneş radyasyonunu soğurmakta, yansıtmakta ve bulut mikro fiziği özelliklerini etkilemektedir. Aynı zamanda, insan sağlığını etkilemekte ve görüş mesafesini azaltmaktadır [16]. Bu özellikleri nedeniyle aerosoller dünyanın radyasyon değişimini etkileyen en önemli faktör olarak kabul edilmektedir [17]. Bu nedenle, atmosferdeki aerosol miktarının tespit edilmesi, bunların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi, radyasyon değişimine katkısının incelenmesi, iklim değişikliği, hava kalitesi, ekosistemler ve insan sağlığı üzerine olan etkilerinin araştırılması oldukça önemlidir [16].

Atmosferdeki aerosol varlığının bir göstergesi olan Aerosol Optik Derinliği (AOD), belli bir dalga boyundaki elektromanyetik enerjinin atmosferdeki aerosoller nedeniyle azalması olarak tanımlanır [4]. Atmosferin derinliği boyunca birim taban alanına sahip bir kolon içindeki ortalama aerosol miktarını AOD yardımıyla izlemek mümkündür [18]. Birimsiz olan AOD değeri sıfıra yakınsa atmosferde yok denecek kadar az miktarda aerosol bulunduğu ve güneş ışığının yeryüzüne bir engelle karşılaşmadan doğrudan ulaşabildiği anlamına gelmektedir. Artan AOD değeri ise, atmosferde artan aerosol miktarını ve dolayısıyla daha az güneş ışığının yeryüzüne ulaştığını gösterir [19]. AOD değerinin 0,2-0,3 aralığında yer alması atmosferde orta derecede aerosol varlığını göstermekte iken bu değer 0,3'ten büyük olması durumunda ise toz taşınımı veya yerel kaynaklı bir aerosol kirliliğinden bahsedilebilir. Özellikle 0,5'in üzerinde yer alan AOD değeri oldukça yoğun aerosol varlığını (orman yangınları, volkan patlamaları, tarımsal yangınlar, vb.) işaret etmektedir. AOD değeri 1,0'den büyük olmaya başladığında gökyüzünün kahverengi renkli çok puslu bir görüntüye sahip olduğu bilinmektedir [15]. Ayrıca teorik olarak alabileceği en büyük değer olan 5,0'e ulaşması durumunda ise yazın öğle saatlerinde bile güneşin gökyüzünde görünemeyeceği kadar yoğun sisli/puslu bir atmosfer düşünülmelidir [19-22].

Yer seviyesinden AOD gözlemi için küresel bir ağ olan Aerosol Robotik Ağı (AERONET – Aerosol Robotic Network) bünyesindeki güneş fotometreleri kullanılmaktadır [23]. AERONET, NASA (National Aeronautics and Space Administration) ve PHOTON (PHOTométrie pour le Traitement Opérationnel de Normalisation Satellitaire) iş birliği ile oluşturulan küresel ölçekte çeşitli ulusal kamu

kurumları, üniversiteler ve enstitüler ile ortak çalışmalar yürütmek, aerosol araştırmaları yapmak ve uydular tarafından üretilen verilerin kalite kontrolünü sağlamak amacıyla geliştirilen bir ağıdır. Tüm dünyayı kapsayan bu ağ içinde yer alan toplam 1200'ün üzerindeki farklı istasyonda yer seviyesinde güneş fotometreleri ile yüksek zamansal çözünürlüğe sahip AOD verisi üretilmektedir [23]. Bu ağ tarafından üretilen AOD verileri çoğunlukla uydulardan temin edilen AOD verilerinin doğrulanması amacıyla kullanılmaktadır [24-25].

AERONET ağındaki tüm istasyonlar her 15 dakikada bir 340–1020 nm dalga boyları arasında 8 farklı dalga boyunda (340, 380, 440, 500, 675, 870, 940 ve 1020 nm) AOD ölçümü gerçekleştirmektedir [23]. Bu dalga boyları içinde 940 nm spesifik olarak atmosferde bulunan su buharının tespiti için kullanılmakta iken 500 nm dalga boyu atmosferik aerosollerin göstergesi olarak AOD ölçümünde yaygın olarak kullanılmaktadır [23].

AOD verileri kullanılarak yapılan ulusal çalışmalar oldukça sınırlıdır. Güneydoğu Anadolu Bölgesinde gerçekleştirilen bir çalışmada küresel güneş radyasyonu ile MODIS uydusundan elde edilen AOD verisi karşılaştırılmıştır [35]. Doğu Akdeniz Havzası için gerçekleştirilen diğer bir çalışmada sıcaklık, yağış ve AOD'nin zamansal değişimlerini incelenmiştir [36]. Bir başka çalışmada ise matematiksel bir model kullanılarak AOD verilerinden PM_{2.5} konsantrasyonu tahmin edilmiştir [37]. Ancak bilgimize göre AERONET istasyonlarında kaydedilen AOD verisinin Türkiye için zamansal ve mekansal değişiminin incelendiği bir çalışma bulunmamaktadır.

AERONET ağından elde edilen AOD verileri Seviye 1, Seviye 1,5 ve Seviye 2 olmak üzere 3 ayrı seviyede ve kalitede elde edilmektedir. Seviye 1 verileri herhangi bir filtreleme işlemi uygulanmamış ham verileri işaret etmektedir. Seviye 1,5 verileri, bulut varlığından kaynaklanan problemlili verilerin ayıklanması ve bazı uç değerlerin uzaklaştırılması sonrası kalitesi iyileştirilmiş verileri göstermektedir. En kaliteli veri olarak kabul edilen Seviye 2 verileri ise; doğrudan karşılaştırmalarda kullanılması önerilen kalite kontrolü tamamlanmış ve kalite güvencesi sağlanmış AOD verilerini ifade etmektedir [23]. Bu çalışma kapsamında, Türkiye ve sınır komşusu Yunanistan, Romanya, Kıbrıs ve Ukrayna gibi ülkelerde bulunan toplam 10 AERONET istasyonunda ölçülen AOD verisinin zamansal ve mekansal değişimleri incelenmiştir.

II. GEREK VE YÖNTEM

Ülkemizde sürekli gözlem yapan tek AERONET istasyonu Mersin'in Erdemli ilçesinde Orta Doğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ) Deniz Bilimleri Enstitüsü yerleşkesinde bulunan IMS-METU-ERDEMLİ istasyonudur. Bu istasyon deniz kenarında konumlandırılmış olup kırsal bir alanda bulunmaktadır. Bunun dışında AERONET ağına bağlı 4 ulusal istasyonumuz (TUBITAK_UZAY_Ankara, Tuz_Golu, Tuz_Golu_2, Tuz_Golu_3) daha bulunuyor olsa da bunlar geçmiş yıllarda özel amaçlarla kısa süreli veri üretmiş ve şu anda hizmet vermemektedir. Dolayısıyla bu istasyonlarda üretilen verilerle uzun süreli aerosol çalışmaları gerçekleştirmek mümkün değildir. Türkiye'deki istasyon sayısının yetersizliğinden dolayı bu çalışma kapsamında Türkiye'nin sınır komşusu ülkelerde yer alan ve olabildiğince ülke sınırlarına yakın konumlanmış AERONET istasyonları da çalışmaya dahil edilerek daha geniş bir alanda değerlendirmeler gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla; Yunanistan'dan 4, Romanya'dan 2, Güney Kıbrıs'tan 1 ve Ukrayna'dan 1 istasyon olmak üzere yurtdışından toplam 8 AERONET istasyonu daha çalışmaya dahil edilmiştir. Her ne kadar ülkemizde kesikli olarak çalışmış olsa da (2010 ve 2011 yıllarında tüm aylar, 2009 yılında 1 ay, 2012 yılında 4 ay ve 2017 yılında 1 ay) birkaç yıllık veri sağlaması nedeniyle Ankara kent merkezinde ODTÜ Yerleşkesi içinde yer alan TÜBİTAK Uzak Teknolojileri Araştırma Enstitüsü'nde bulunan TUBITAK_UZAY_Ankara istasyonu da çalışmaya dahil edilerek değerlendirilmiştir. Böylece, Türkiye'deki 2 istasyon ile komşu ülkelerdeki 8 istasyon çalışmada birlikte incelenmiş ve tüm sonuçlar toplam 10 istasyon için irdelenmiştir. Çalışmada incelenen 10 AERONET istasyonunun konumları Şekil 1'te verilmiştir. İstasyonların coğrafi koordinatları ve istasyonlardan veri temin edilebilen yıllar ise Tablo 1'de listelenmiştir.

Çalışmada Giles vd. [26] tarafından geliştirilmiş ve 2018 yılı içinde kullanılmaya başlanan AERONET Versiyon-3 verileri kullanılmıştır. Bu versiyonda en yüksek kaliteye sahip 500 nm dalga boyundaki Seviye 2 AOD verileri ile çalışılmıştır. Veriler, AERONET'in web sitesinden (https://aeronet.gsfc.nasa.gov/cgi-bin/webtool_aod_v3) Microsoft Excel dosyaları olarak indirilmiş ve arşivlenmiştir.



Şekil 1. Çalışmada incelenen AERONET istasyonları ve konumları.

Tablo 1. İncelenen AERONET istasyonlarına ait bilgiler.

AERONET İstasyonu	Ülke	Enlem (N°)	Boylam (E°)	Rakım (m)	Veri Temin Edilen Dönem
IMS-METU-ERDEMLI	Türkiye	36,565	34,255	3	1999 – 2018
TUBITAK_UZAY_Ankara	Türkiye	39,891	32,778	924	2009 – 2017*
ATHENS-NOA	Yunanistan	37,972	23,718	130	2008 – 2018
FORTH_CRETE	Yunanistan	35,332	25,282	20	2003 – 2017
Thessaloniki	Yunanistan	40,630	22,960	60	2005 – 2018
Xanthi	Yunanistan	41,146	24,918	54	2008 – 2015
Bucharest_Inoe	Romanya	44,450	26,525	89	2007 – 2016
Eforie	Romanya	44,075	28,632	40	2009 – 2018
CUT-TEPAK	Kıbrıs	34,674	33,042	22	2010 – 2018
Sevastopol	Ukrayna	44,615	33,517	80	2006 – 2013

* 2010 ve 2011 yıllarında tüm aylar, 2009 yılında 1 ay, 2012 yılında 4 ay ve 2017 yılında 1 ay

Çalışmada Türkiye’de ve komşu ülkelerde yer alan AERONET istasyonlarından alınan AOD verilerine ilişkin yıllara, mevsimlere ve aylara göre veri sayıları, minimum, maksimum, ortalama, standart sapma, medyan, vb. gibi tanımlayıcı istatistiksel göstergeler hesaplanmıştır. Ayrıca, AOD verilerinin zamansal değişimleri yıllık, mevsimlik ve aylık olarak incelenmiştir. Çalışmada gerçekleştirilen tüm istatistiksel analizler ve görselleştirme işlemleri R programlama dili kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

III. BULGULAR

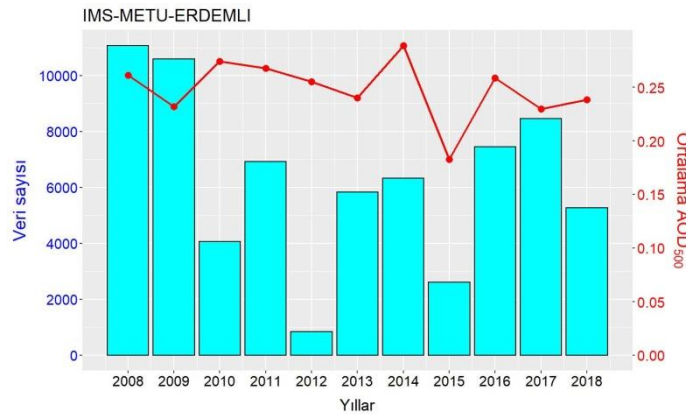
A. TÜRKİYE’DE AERONET AĞINDAN ELDE EDİLEN AOD VERİLERİ

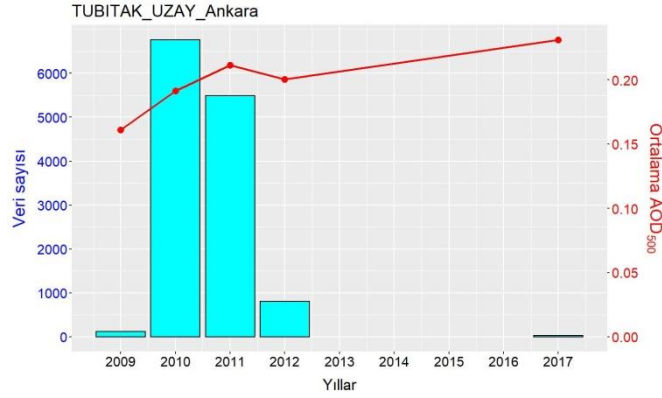
Türkiye sınırları içinde yer alan ve verisi kullanılabilir olan iki AERONET istasyonunda (IMS-METU-ERDEMLİ ve TUBITAK_UZAY_Ankara) 2008-2018 yılları arasında ölçülmüş 500 nm dalga boyundaki 15 dakikalık AOD verileri temin edilmiştir. Birisi kent merkezi içinde, diğeri ise deniz kenarında ve kırsal bir bölgede bulunan bu iki istasyondan on bir yıllık dönem için elde edilen AOD verilerine ilişkin bazı temel istatistiksel göstergeler Tablo 2’de özetlenmiştir.

Tablo 2. Türkiye’deki iki AERONET istasyonundan 2008-2018 yılları arasında elde edilen AOD verileri.

AOD	IMS-METU-ERDEMLİ	TUBITAK_UZAY_Ankara
Toplam Veri Sayısı	69472	13203
Kullanılabilir Veri Sayısı	69443	13198
Ortalama	0,250	0,200
Standart Sapma	0,149	0,097
Medyan	0,219	0,188
Minimum	0,017	0,035
Maksimum	1,870	1,060

Kentsel bölgede bulunan TUBITAK_UZAY_Ankara istasyonu 2009-2017 yılları arasında sınırlı sayıda veri ürettiği için (2010 ve 2011 yıllarında neredeyse tüm aylar, 2009 yılında 1 ay, 2012 yılında 4 ay ve 2017 yılında 1 ay), kırsal bölgede yer alan IMS-METU-ERDEMLİ istasyonu Türkiye’de uzun süreli ve kesintisiz ölçüm gerçekleştiren tek istasyon durumundadır. IMS-METU-ERDEMLİ istasyonunda 2008-2018 yılları arasında toplam kullanılabilir AOD verisi sayısı 69443 iken TUBITAK_UZAY_Ankara istasyonunda bu sayı 13198 (yaklaşık beşte biri) olmuştur. Her iki istasyonda kullanılabilir AOD verisi sayısının yıllara göre değişimi Şekil 2’de verilmiştir. IMS-METU-ERDEMLİ istasyonunda en çok veri 2008 ve 2009 yıllarında elde edilmişken en az veri 2012 ve 2015 yıllarında görülmüştür. Diğer yıllarda ise veri sayıları genellikle 4000-8000 arasında değişmiştir. TUBITAK_UZAY_Ankara istasyonunda en çok veri sayısına 2010 ve sonra 2011 yıllarında ulaşılmıştır. İstasyonun bu yıllardaki veri sayısının IMS-METU-ERDEMLİ istasyonunda elde edilen yıllık veri sayılarına yakın olduğu görülmüştür. Elde edilen kullanılabilir veri sayıları literatür ile kıyaslandığında, farklı ülkelerdeki AERONET istasyonlarında da benzer mertebelerde veri sayıları elde edildiği görülmüştür [27-32]. Bu durum, ülkemizde farklı atmosferik ve arazi kullanım koşulları altında AERONET istasyonları ile yeterli sayıda veri ürettiğimizi göstermiştir.

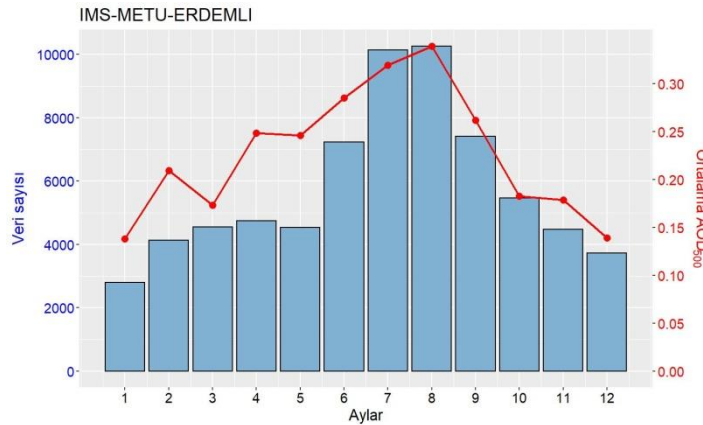


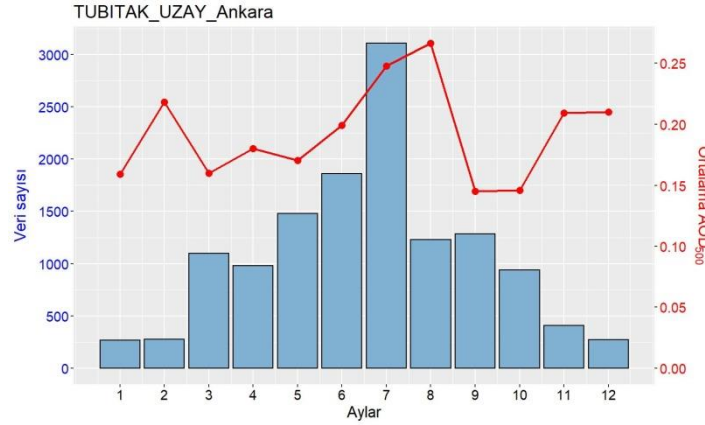


Şekil 2. Türkiye'deki iki AERONET istasyonunda yıllara göre toplam kullanılabilir AOD verisi sayısı ve ortalama AOD değerleri.

Yıllara göre ortalama AOD değerleri kırsal bölgedeki IMS-METU-ERDEMLİ istasyonunda 0,18-0,29 arasında değişirken kentsel bölgedeki TUBITAK_UZAY_Ankara istasyonunda 0,16-0,23 arasında değişmiştir. Kırsal istasyonda birbirine yakın yıllık ortalama AOD değerleri (2015 yılı hariç) elde edilmiştir. Kentsel istasyonda ise 2010 ve 2011 yılları arasında ortalama AOD değerlerinde büyük bir değişim görülmemiş olup 2009 yılında ölçümlerin sadece kış aylarını kapsaması nedeniyle küçük, 2017 yılında ise sadece yaz aylarını içermesi nedeniyle büyük değerler elde edildiği görülmüştür. Genel olarak, kırsal istasyonda kentsel istasyona göre daha büyük AOD değerleri elde edilmiştir.

Şekil 3'te AOD verilerinin her iki istasyonda aylık değişimleri görülmektedir. Her iki istasyonda da en çok veri sayısı yaz aylarında elde edilmiştir. İstasyonlara göre değişmekle birlikte en büyük veri sayısı Temmuz ve Ağustos aylarında elde edilmiş, bu ayları Mayıs, Haziran, Eylül ve Ekim gibi ilkbahar ve sonbahar ayları izlemektedir. En az veri sayısı ise Ocak, Şubat ve Aralık gibi kış mevsimi aylarında görülmektedir. Bu durum çoğunlukla kış aylarında atmosferde sıkça yaşanan bulutluluk ve yağış gibi aerosol tespitini zorlaştıran meteorolojik faktörlerden kaynaklanmaktadır. Ayrıca, yaz, ilkbahar ve sonbahar mevsimleri kırsal istasyonun Afrika ve Asya kaynaklı toz taşınımından en çok etkilendiği mevsimler olup bu durumun istasyonda büyük AOD değerlerinin (Ağustos=0,34, Temmuz=0,32, Haziran=0,29) elde edilmesine neden olduğu bilinmektedir [33-34]. Kentsel istasyonda en büyük AOD değerleri yaz aylarında (Ağustos=0,27, Temmuz=0,25) elde edilmişken sonbahar ve kış aylarında en küçük değerler izlenmiştir. Erdemli'deki kırsal istasyonda görülmeyen bu durumun temel nedeni ise, Ankara'daki istasyonunun kent merkezi içinde bulunması ve kış aylarında evsel ısınmadan kaynaklanan antropojenik kaynaklı aerosollerin atmosferde yaygın bulunmasıdır.





Şekil 3. Türkiye'de AERONET istasyonlarında kullanılabilir verisi sayısının ve ortalama AOD değerlerinin aylara göre değişimi.

B. KOMŞU ÜLKELERDEKİ AERONET AĞINDAN ELDE EDİLEN AOD VERİLERİ

Türkiye sınırları içinde yeterince AERONET istasyonu bulunmaması nedeniyle sınır komşusu olan bazı ülkelerin sınıra yakın konumdaki AERONET istasyonlarında incelenmiştir. Böylece mekansal farklılıkların değerlendirmesi için yetersiz olan ulusal AERONET istasyon sayısı arttırılmış ve çalışmalar ülkemizi de kapsayan daha geniş bir bölgeye yayılmıştır. Çalışma kapsamında ülkemizdeki iki istasyona ilave olarak 8 AERONET istasyonu daha çalışmaya dahil edilmiştir. Ulusal istasyonlar için gerçekleştirilen çalışmaların bir benzeri bu istasyonlar için de yapılmıştır.

Çalışma kapsamında incelenen 10 AERONET istasyonundan elde edilen kullanılabilir AOD veri sayısı ve bunların ortalamaları yıllar bazında Şekil 4'te verilmiştir. İstasyonların çoğunun aynı ülkemizdeki kentsel istasyon gibi 2008-2018 yılları arasında kesikli veri ürettiği ve bu nedenle bazı yıllara ait hiç verinin bulunmadığı görülmüştür. Buna karşın ülkemizdeki kırsal istasyon gibi Yunanistan'daki Athens-NOA, Romanya'daki Eforie ve Girit Adası'ndaki FORTH_CRETE istasyonlarının en uzun süreli veri üreten istasyonlar olduğu görülmüştür. İstasyonlardaki yıllık ortalama AOD değerleri birbirine yakın iken bazı istasyonlarda bazı yıllarda sadece birkaç ay veri olması nedeniyle çok büyük ya da küçük ortalama AOD değerleri oluştuğu görülmüştür. Tüm istasyonlarda aylık değişimlerin birbirine benzediği, en çok veri sayısına Temmuz ve Ağustos aylarında ulaşıldığı görülmüştür. Bu ayları Mayıs ve Haziran ayları izlemektedir. En az veri sayıları ise Aralık ve Ocak aylarında elde edilmiştir. Diğer istasyonlardan farklı olarak toz taşınımından etkilendiği bilinen Atina (ATHENS-NOA), Kıbrıs Limasol (CUT-TEPAK), Girit adası (FORTH_CRETE) ve İskeçe (Xanthi) gibi Akdeniz Bölgesi istasyonlarının ilkbahar aylarında, yaz aylarında olduğu gibi büyük AOD değerlerine sahip olduğu görülmüştür [3]. İstasyonlara ait aylık veri sayıları ve ortalama AOD değerleri Şekil 5'te verilmiştir.

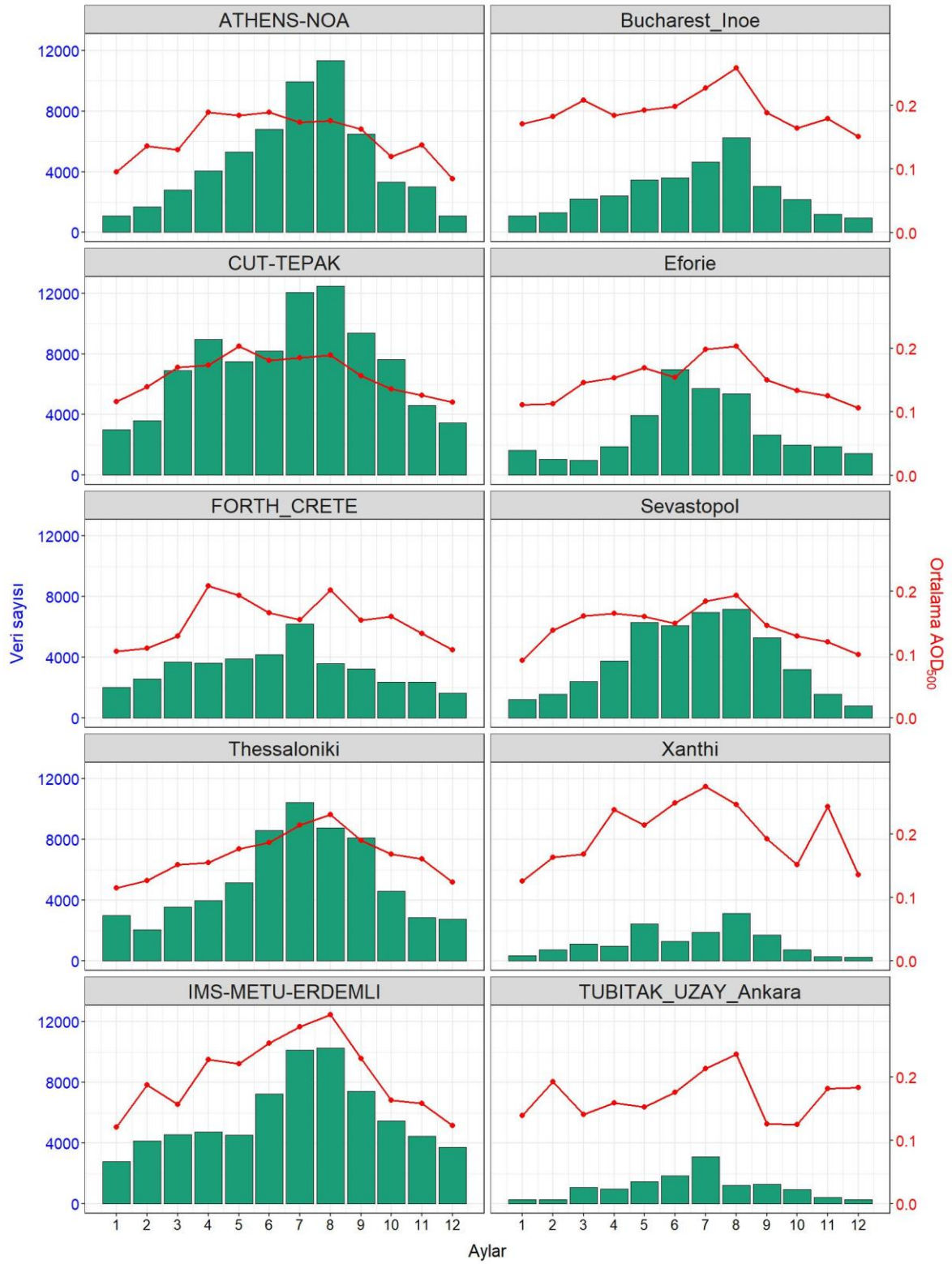
IV. SONUÇ

Küresel ölçekte güneş fotometreleri ile yer seviyesinden AOD ölçümü yapılmaktadır. AERONET ağına ait bu istasyonlar yüksek kurulum ve işletme maliyetleri nedeniyle bazı ülkelerde sayıca çok fazla değildir. Bu çalışma kapsamında, ülkemizdeki AERONET istasyonlarından temin edilen AOD verilerinin Türkiye'deki zamansal ve mekansal değişimleri belirlenmiştir. Ancak, ülkemizde bu tür çalışmalarda kullanılacak tek AERONET istasyonu bulunmaktadır. Mersin ili Erdemli ilçesindeki IMS-METU-ERDEMLİ istasyonu, ülkemizde uzun yıllardır gözlem yapan tek yer istasyonu durumundadır. Bu istasyon dışında, AERONET ağı içinde ülkemize ait olduğu görülen başka istasyonlar da bulunmaktadır. Ancak bunların hiçbiri bu çalışmada incelenen on bir yıllık döneme ait AOD verisine sahip değildir. Bunun nedeni, bu istasyonların tamamı farklı bilimsel araştırma projeleri kapsamında kısa süreli kullanılmış istasyonlar olmasıdır. Buna rağmen, bu istasyonlar içinde en fazla veriye sahip olan Ankara kentindeki TUBITAK_UZAY_Ankara isimli istasyon sahip olduğu birkaç yıllık verisi ile bu çalışmaya dahil edilmeye çalışılmıştır. Ancak, Türkiye gibi geniş bir coğrafyada bir

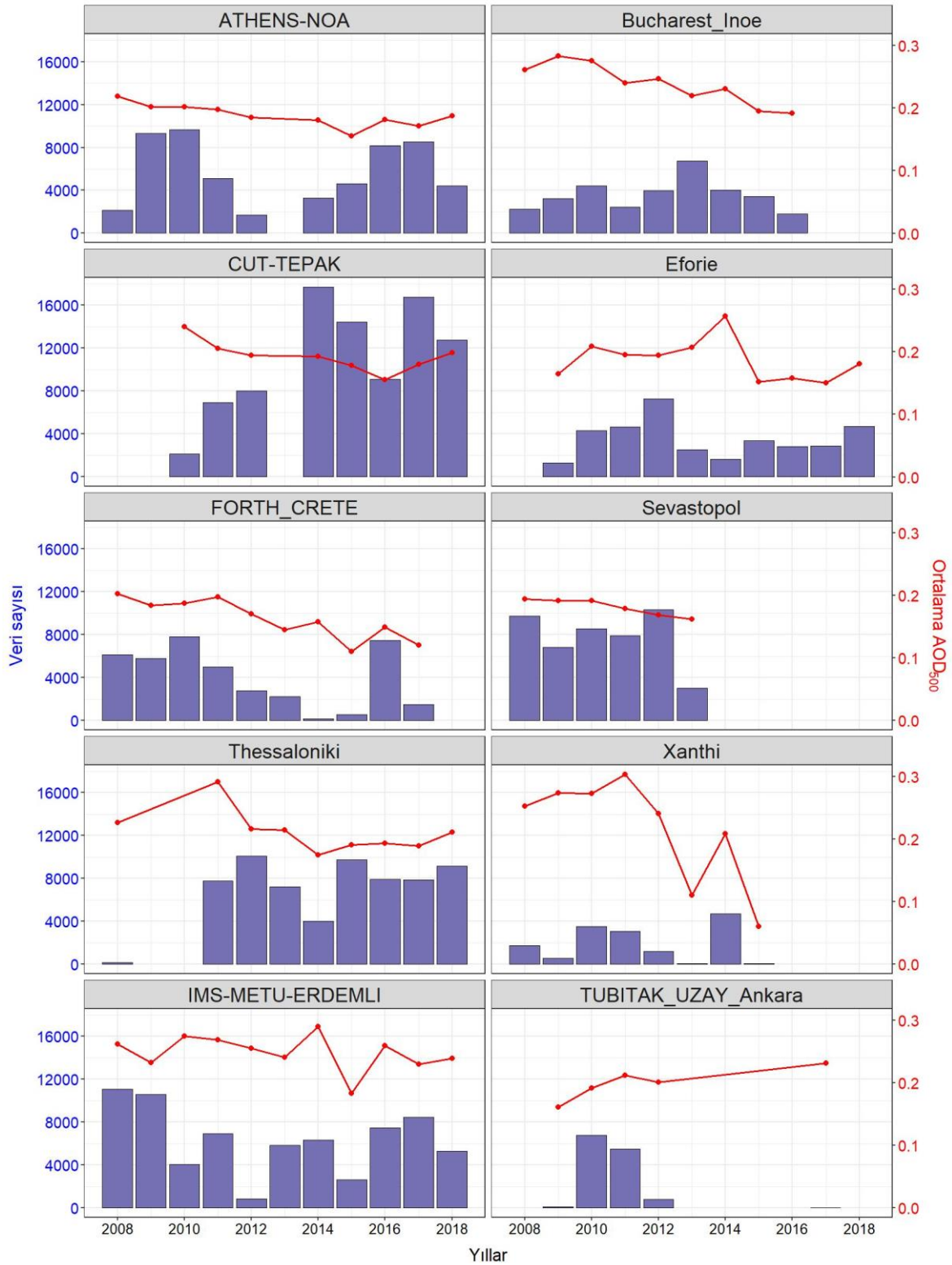
(bazı yıllarda iki) noktada AOD verisi yeterli olmayacağı düşüncesiyle bazı sınır komşusu ülkelere ait ve olabildiğince ülke sınırlarımıza yakın konumlarda bulunan 8 AERONET istasyonu daha çalışmaya dahil edilmiştir. Böylece çalışma kapsamında birbirinden farklı konumlarda bulunan toplam 10 AERONET istasyonu karşılaştırmalı değerlendirilebilmiştir.

Çalışma sonuçları, ülkemizde AOD verilerinin mevsimlere göre farklılık gösterdiğini ortaya koymuştur. Ülkenin genelinde ilkbahar ve yaz aylarında daha büyük AOD değerleri elde edilirken sonbahar ve kış aylarında daha küçük değerler görülmüştür. Ülkemizin bazı bölgelerinde bitki örtüsü mevsimlere göre değişmektedir. Vejetasyonun başladığı ve sonlandığı dönemler arasında canlılığını koruyan bazı geniş yapraklı ağaçlar ve bitkiler sonbahar ve kış aylarında yapraklarını dökerler ve buldukları bölgenin bitki örtüsü varlığını azaltırlar. Bu duruma, yaz ve kış aylarında görülen meteorolojik koşul farklılıkları (güneşlenme miktarı, yağış, nem, vb.) da eklenince ülkemizde de AOD değerlerinin mevsimsel değişimi kaçınılmaz olmaktadır. Tüm bunlara ilave olarak, ülkemizin Afrika ve Asya çöllerinden toz taşınımına maruz kaldığı bilinmektedir. Daha çok ilkbahar aylarında görülen bu etki, bu çalışmada da özellikle Akdeniz ve Ege bölgelerindeki büyük AOD değerleri ile izlenmiştir.

Bu çalışma gelecekte bu bölgede AOD verisi kullanmayı hedefleyen çalışmalarda araştırmacılara doğru istasyon ve örnekleme dönemi seçiminde yol gösterecektir.



Şekil 4. Çalışma alanındaki AERONET istasyonlarında yıllara göre kullanılabilir AOD veri sayısı ve ortalama değerleri.



Şekil 5. Çalışma alanındaki AERONET istasyonlarında aylara göre kullanılabilir AOD veri sayısı ve ortalama değerleri.

TEŞEKKÜR: Bu çalışma TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir (Proje no: 119Y005). Yer bazlı AOD verilerinin temini konusunda National Aeronautics and Space Administration (NASA)'ya teşekkür ederiz.

V. KAYNAKLAR

- [1] A. I. Calvo, C. Alves, A. Castro, V. Pont, A. M. Vicente ve R. Fraile, “Research on aerosol sources and chemical composition: Past, current and emerging issues,” *Atmospheric Research*, vol. 120–121, pp. 1–28, 2013.
- [2] E. Tutsak ve M. Koçak, “Long-term measurements of aerosol optical and physical properties over the Eastern Mediterranean: Hygroscopic nature and source regions,” *Atmospheric Environment*, vol. 207, pp. 1–15, 2019.
- [3] E. Ozdemir, G. Tuna Tuygun ve T. Elbir, “Application of aerosol classification methods based on AERONET version 3 product over eastern Mediterranean and Black Sea,” *Atmospheric Pollution Research*, vol. 11, no. 12, pp. 2226–2243, 2020.
- [4] K. L. Chan ve K. L. Chan, “Aerosol optical depths and their contributing sources in Taiwan,” *Atmospheric Environment*, vol. 148, pp. 364–375, 2017.
- [5] N. Bellouin, “Aerosols: Role in Climate Change,” *Encyclopedia of Atmospheric Sciences, Second Edition*, pp. 76–85, 2015.
- [6] S. Zhao, H. Zhang, S. Feng ve Q. Fu, “Simulating direct effects of dust aerosol on arid and semi-arid regions using an aerosol-climate coupled system”, *International Journal of Climatology*, vol. 35, no. 8, pp. 1858–1866, 2015.
- [7] T. H. Zhang ve H. Liao, “Aerosol absorption optical depth of fine-mode mineral dust in eastern China,” *Atmospheric and Oceanic Science Letters*, vol. 9, no. 1, pp. 7–14, 2016.
- [8] T. Banerjee, M. Kumar, R. K. Mall ve R. S. Singh, “Airing ‘clean air’ in Clean India Mission,” *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 24, no. 7, pp. 6399–6413, 2017.
- [9] J. R. Horne ve D. Dabdub, “Impact of global climate change on ozone, particulate matter, and secondary organic aerosol concentrations in California: A model perturbation analysis,” *Atmospheric Environment*, vol. 153, pp. 1–17, 2017.
- [10] Y. C. Lee, Y. F. Lam, G. Kuhlmann, M. O. Wenig, K. L.Chan, A. Hartl ve Z. Ning, “An integrated approach to identify the biomass burning sources contributing to black carbon episodes in Hong Kong,” *Atmospheric Environment*, vol. 80, pp. 478–487, 2013.
- [11] F. Tsai, J. Y. Tu, S. C. Hsu ve W. N. Chen, “Case study of the Asian dust and pollutant event in spring 2006: Source, transport, and contribution to Taiwan,” *Science of the Total Environment*, vol. 478, pp. 163–174, 2014.
- [12] Z. Zhang, M. Wenig, W. Zhou, T. Diehl, K. L. Chan ve L. Wang, “The contribution of different aerosol sources to the Aerosol Optical Depth in Hong Kong,” *Atmospheric Environment*, vol. 83, pp. 145–154, 2014.

- [13] D. Rupakheti, S. Kang, M. Bilal, J. Gong, X. Xia ve Z. Cong, “Aerosol optical depth climatology over Central Asian countries based on Aqua-MODIS Collection 6.1 data: Aerosol variations and sources,” *Atmospheric Environment*, vol. 207, pp. 205–214, 2019.
- [14] L. Shen, F. Hao, M. Gao, H. Wang, B. Zhu, J. Gao, Y. Cheng ve F. Xie, “Real-time geochemistry of urban aerosol during a heavy dust episode by single-particle aerosol mass spectrometer: Spatio-temporal variability, mixing state and spectral distribution,” *Particuology*, vol. 53, pp. 197–207, 2020.
- [15] M. Filonchyk, V. Hurynovich ve H. Yan, “Trends in aerosol optical properties over Eastern Europe based on MODIS-Aqua,” *Geoscience Frontiers*, vol. 11, no. 6, pp. 2169–2181, 2020.
- [16] I. Kloog, M. Sorek-Hamer, A. Lyapustin, B. Coull, Y. Wang, A. C. Just, J. Schwartz ve D. M. Broday, “Estimating daily PM_{2.5} and PM₁₀ across the complex geo-climate region of Israel using MAIAC satellite-based AOD data,” *Atmospheric Environment*, vol. 122, pp. 409–416, 2015.
- [17] NASA - National Aeronautics and Space Administration. (2021). Atmospheric Aerosols: What Are They, and Why Are They So Important? [Online]. Available:<https://www.nasa.gov/centers/langley/news/factsheets/Aerosols.html>.
- [18] S. Ghotbi, S. Sotoudeheian ve M. Arhami, “Estimating urban ground-level PM₁₀ using MODIS 3km AOD product and meteorological parameters from WRF model,” *Atmospheric Environment*, vol. 141, pp. 333–346, 2016.
- [19] A. D. Douglas, “A Geographical Comparison of the Relationship Between Aerosol Optical Depth and Fine Particulate Matter in Indiana,” M.S. thesis, Indiana University, Indiana, 2015.
- [20] A. K. Georgoulas, G. Alexandri, K. A. Kourtidis, J. Lelieveld, P. Zanis, U. Pöschl, R. Levy, V. Amiridis, E. Marinou ve A. Tsikerdekis, “Spatiotemporal variability and contribution of different aerosol types to the aerosol optical depth over the Eastern Mediterranean,” *Atmospheric Chemistry and Physics*, vol. 16, no. 21, pp. 13853–13884, 2016.
- [21] P. Glantz, E. Freud, C. Johansson, K. J. Noone ve M. Tesche, “Trends in MODIS and AERONET derived aerosol optical thickness over Northern Europe,” *Tellus, Series B: Chemical and Physical Meteorology*, vol. 71, no. 1, pp. 1–21, 2019.
- [22] J. Wei, Z. Li, Y. Peng ve L. Sun, “MODIS Collection 6.1 aerosol optical depth products over land and ocean: validation and comparison,” *Atmospheric Environment*, vol. 201, pp. 428–440, 2019.
- [23] NASA - National Aeronautics and Space Administration. (2020). AERONET Site Information Database [Online]. Available:https://aeronet.gsfc.nasa.gov/new_web/photo_db_v3/TUBITAK_UZAY_Ankara.html.
- [24] Y. Guo, N. Feng, S. A. Christopher, P. Kang, F. B. Zhan ve S. Hong, “Satellite remote sensing of fine particulate matter (PM_{2.5}) air quality over Beijing using MODIS,” *International Journal of Remote Sensing*, vol. 35, no. 17, pp. 6522–6544, 2014.

- [25] S. M. Loría-Salazar, H. A. Holmes, W. Patrick Arnott, J. C. Barnard ve H. Moosmüller, “Evaluation of MODIS columnar aerosol retrievals using AERONET in semi-arid Nevada and California, U.S.A., during the summer of 2012,” *Atmospheric Environment*, vol. 144, pp. 345–360, 2016.
- [26] D. M. Giles, A. Sinyuk, M. G. Sorokin, J. S. Schafer, A. Smirnov, I. Slutsker, T. F. Eck, B. N. Holben, J. R. Lewis, J. R. Campbell, E. J. Welton, S. V. Korkin ve A. I. Lyapustin, “Advancements in the Aerosol Robotic Network (AERONET) Version 3 database - Automated near-real-time quality control algorithm with improved cloud screening for Sun photometer aerosol optical depth (AOD) measurements,” *Atmospheric Measurement Techniques*, vol. 12, no. 1, pp. 169–209, 2019.
- [27] A. De Meij ve J. Lelieveld, “Evaluating aerosol optical properties observed by ground-based and satellite remote sensing over the Mediterranean and the Middle East in 2006,” *Atmospheric Research*, vol. 99, no. 3–4, pp. 415–433, 2011.
- [28] M. Mallet, O. Dubovik, P. Nabat, F. Dulac, R. Kahn, J. Sciare, D. Paronis ve J. F. Leon, “Absorption properties of Mediterranean aerosols obtained from multi-year ground-based remote sensing observations,” *Atmospheric Chemistry and Physics*, vol. 13, no. 18, pp. 9195–9210, 2013.
- [29] P. Nabat, S. Somot, M. Mallet, I. Chiapello, J. J. Morcrette, F. Solmon, S. Szopa, F. Dulac, W. Collins, S. Ghan, L. W. Horowitz, J. F. Lamarque, Y. H. Lee, V. Naik, T. Nagashima, D. Shindell ve R. Skeie, “A 4-D climatology (1979-2009) of the monthly tropospheric aerosol optical depth distribution over the Mediterranean region from a comparative evaluation and blending of remote sensing and model products,” *Atmospheric Measurement Techniques*, vol. 6, no. 5, pp. 1287–1314, 2013.
- [30] S. A. Logothetis, V. Salamalikis ve A. Kazantzidis, “Aerosol classification in Europe, Middle East, North Africa and Arabian Peninsula based on AERONET Version 3,” *Atmospheric Research*, vol. 239, 2020.
- [31] S. S. Ningombam, E. J. L. Larson, U. C. Dumka, V. Estellés, M. Campanelli ve C. Steve, “Long-term (1995–2018) aerosol optical depth derived using ground based AERONET and SKYNET measurements from aerosol aged-background sites,” *Atmospheric Pollution Research*, vol. 10, no. 2, pp. 608–620, 2019.
- [32] X. Xu, L. Xie, X. Yang, H. Wu, L. Cai ve P. Qi, “Aerosol optical properties at seven AERONET sites over Middle East and Eastern Mediterranean Sea,” *Atmospheric Environment*, vol. 243, 2020.
- [33] N. Kubilay, S. Nickovic, C. Moulin ve F. Dulac, “An illustration of the transport and deposition of mineral dust onto the eastern Mediterranean,” *Atmospheric Environment*, vol. 34, no. 8, pp. 1293–1303, 2000.
- [34] N. Kubilay, T. Oguz, M. Koçak ve O. Torres, “Ground-based assessment of Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) data for dust transport over the northeastern Mediterranean,” *Global Biogeochemical Cycles*, vol. 19, no. 1, pp. 1–9, 2005.

[35] Y.B. Öztaner, A. Kahraman, E. Çalışkan, Ş. Tilev Tanrıöver, C. Kahya, B. Aksoy, S. İncecik, S. Topçu, Z. Aslan, B. Barutçu, İ. Sezen, S. Sarıkaya ve A. Deniz, “Açık gökyüzü şartlarında güneş radyasyonunun WRF modeli ile kısa vadeli tahmininde aerosol etkisinin değerlendirilmesi,” *Hava Kirliliği Araştırmaları Dergisi*, c. 3, s. 1, ss. 2-11, 2013.

[36] O. Kahraman ve B.S. Akın, “Doğu Akdeniz havzasında sıcaklık, yağış ve aerosol değişiminin incelenmesi,” *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, c. 7, s. 2, ss. 244-253, 2019.

[37] T.K. Koçak ve F. Ebrahimi, “Uydulardan elde edilebilen aerosol optik derinlik verilerini kullanarak zemin seviyesi ince partikül konsantrasyonlarını tahmin etmek için doğrusal olmayan bir model geliştirilmesi,” *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, c. 3, s. 3, s. 119-127, 2019.



Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

On Certain Power Horadam Sequences

 Cagla CELEMOGLU ^{a,*},  Selime Beyza OZCEVIK ^a,  Senol EREN ^a

^a Department of Mathematics, Faculty of Science and Arts, Ondokuz Mayıs University, Samsun, TURKEY

* Corresponding author's e-mail address: cagla.ozyilmaz@omu.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1015011

ABSTRACT

In this study, firstly, we analyzed power Fibonacci sequences defined by Ide and Renault in [13]. Then, we described two power Horadam sequences modulo s for $u = 1, v = 3$ and $u = 3, v = 1$, respectively. We determined those modulus s for which the two power Horadam sequences exist and the number of such sequences for a given s . We formulated the periods of these power Horadam sequences in terms of the periods of Horadam sequences for $u = 1, v = 3$ and $u = 3, v = 1$. Finally, we compared that the period formulas of power Horadam sequences which we obtained and the period formulas of power Fibonacci sequences. We found that, the periods formulas of the power Horadam sequences for $u = 3, v = 1$ are the same as the period formulas of the power Fibonacci sequences; but for $u = 1, v = 3$, a certain relationship couldn't be established between the periods of these power sequences.

Keywords: Horadam sequence, power Fibonacci sequence, Period

Belirli Horadam Kuvvet Dizileri Üzerine

ÖZ

Bu çalışmada, ilk olarak, kaynak [13]de Ide ve Renault tarafından tanımlanan Fibonacci kuvvet dizilerini inceledik. Sonrasında, sırasıyla $u = 1, v = 3$ ve $u = 3, v = 1$ için modül s de iki tane Horadam kuvvet dizisi tanımladık. Bu iki kuvvet dizisinin var olduğu s modüllerini ve verilen bir s modülü için bu dizilerin sayısını belirledik. $u = 1, v = 3$ ve $u = 3, v = 1$ durumları için tanımladığımız bu Horadam kuvvet dizilerinin periyotlarını, Horadam dizilerinin periyotları cinsinden formülize ettik. Son olarak, Horadam kuvvet dizilerinin elde ettiğimiz periyot formülleri ile Fibonacci kuvvet dizilerinin periyot formüllerini karşılaştırdık. $u = 3, v = 1$ için Horadam kuvvet dizilerinin periyot formülleri Fibonacci kuvvet dizilerinin periyot formülleri ile aynı iken $u = 1, v = 3$ durumunda bu iki kuvvet dizisinin periyotları arasında belirli bir ilişki kurulamadığını elde ettik.

Anahtar Kelimeler: Horadam dizisi, Fibonacci kuvvet dizisi, Periyot

Received: 26/10/2021, Revised: 07/12/2021, Accepted: 12/12/2021

I. INTRODUCTION

If any term of sequence can be calculated with the predecessor terms, these sequences are called recurrence sequence. For example, Fibonacci sequence. The Fibonacci sequence, $\{F_n\}_0^\infty$, is a sequence of numbers, beginning with the integer couple 0 and 1, in which the value of any element is computed by taking the sum of the two antecedent numbers. If so, for $n \geq 2$, $F_n = F_{n-1} + F_{n-2}$ [1]. This number sequence, which was previously found by Indian mathematicians in the sixth century. But the sequence was introduced by Fibonacci as a result of calculating the problem related to the reproduction of rabbits in 1202. The first terms of this sequence are 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21. Fibonacci has not done any work using these sequences. In fact, the first researches on these sequences were made about 600 years later. However, the subsequent research has increased substantially. There have been many studies in the literature dealing with the quadratic number sequences. Some authors have obtained generalization of the Fibonacci sequence by changing only the first two terms of the sequence or with minor changes only the recurrence relation, while others have obtained generalizations of the Fibonacci sequence by changing both of them. Some of these sequences are chronologically as follows:

Lucas, Pell, Pell Lucas, Horadam, Jacobsthal and Jacobsthal–Lucas, k – Fibonacci and k –Lucas, generalized k –Fibonacci and generalized k –Lucas, generalized k –Horadam, power Fibonacci sequence modulo m [2-13].

All of these sequences are based on the Fibonacci sequence. The Fibonacci sequence has many impressive features. Studies on the properties of these impressive sequences are still ongoing. There are quite a lot applications of these number sequences different areas like engineering, nature and cryptography and coding theory.

Also, there are many of study on the period of the Fibonacci sequences and some sequences are based on the Fibonacci sequence modulo m in literature. Authors built some methods and obtained some equations related to the length of period related to Fibonacci numbers modulo m , even though there is no known explicit formula for length of period [4, 14-16].

In this study, firstly, we examined power Fibonacci sequences defined by Ide and Renault in [13]. Then, we described two power Horadam sequences modulo s for $u = 1, v = 3$ and $u = 3, v = 1$, respectively. We determined those modulus s for which the two power Horadam sequences exist and the number of such sequences for a given s . Also, we investigated that the periods of these special power sequences for both $u = 1, v = 3$ and $u = 3, v = 1$. Finally, we compared that the period formulas of power Horadam sequences which we obtained and the period formulas of power Fibonacci sequences. We found that, the periods formulas of the power Horadam sequences for $u = 3, v = 1$ are the same as the period formulas of the power Fibonacci sequences; however for $u = 1, v = 3$, a certain relationship couldn't be established between the periods of these power sequences.

II. MATERIALS AND METHODS

Here, some Horadam sequences, power Fibonacci sequences are used as material, and periodic relations of these sequences with the Fibonacci sequence modulo s are used as method.

Definition 2.1. Horadam sequences are defined by recurrence relation $H_k = uH_{k-1} + vH_{k-2}$ with initial conditions $H_0 = a, H_1 = b$ where a, b are real numbers and u, v are non zero numbers [2].

In this study, particularly, we used Horadam sequences for $u = 1, v = 3$ and $u = 3, v = 1$.

Moreover, it can be easily seen that standard Fibonacci sequence obtained when $u = 1, v = 1, a = 0, b = 1$.

Definition 2.2. Let G be a bi-infinite integer sequence providing the recurrence relation $G_k = G_{k-1} + G_{k-2}$. Providing $G \equiv 1, \gamma, \gamma^2, \gamma^3, \dots \pmod{s}$ for some modulus s , then G is named a power Fibonacci sequence modulo s [13].

Example 2.3. For modulo $s = 31$, the two power Fibonacci sequences are following:

1, 13, 14, 27, 10, 6, 16, 22, 7, 29, 5, 3, 8, 11, 19, 30, 18, 17, 4, 21, 25, 15, 9, 24, 2, 26, 28, 23, 20, 12, 1, 13, ... and 1, 19, 20, 8, 28, 5, 2, 7, 9, 16, 25, 10, 4, 14, 18, 1, 19, 20, ...

Theorem 2.4. There is precisely one power Fibonacci sequence modulo 5. For $s \neq 5$, there exist power Fibonacci sequences modulo s certainly when s has prime factorization $s = p_1^{e_1} p_2^{e_2} \dots p_k^{e_k}$ or $s = 5 p_1^{e_1} p_2^{e_2} \dots p_k^{e_k}$, where each $p_i \equiv \mp 1 \pmod{10}$; in either case there are definitely 2^k power Fibonacci sequences modulo s [13].

We know that $\pi(s)$ denote the period of the Fibonacci sequence modulo s and there is no known explicit formula for $\pi(s)$. But, providing $(s, m) = 1$ then $\pi(sm) = [\pi(s), \pi(m)]$ [14]. It is easily seen that, if S is any periodic sequence mod sm and $(s, m) = 1$, then its period is the least common multiple of the period of S taken mod s and the period of S taken mod m . For $u > 2$, $\pi(s)$ is even [14, 15].

In addition, we know that Ide and Renault established a relationship between $\pi(s)$ and the period of power Fibonacci sequences modulo s . And, they obtained following theorems:

Theorem 2.5. Let p be a prime of the form $p \equiv \mp 1 \pmod{10}$ and let β and σ be two roots of $f(x) \equiv x^2 - x - 1 \pmod{p^e}$. Suppose $|\beta| \geq |\sigma|$.

- i. For $\pi(p^e) \equiv 0 \pmod{4}$, $|\beta| = |\sigma| = \pi(p^e)$.
- ii. For $\pi(p^e) \equiv 2 \pmod{4}$, $|\beta| = 2|\sigma| = \pi(p^e)$ [13].

Theorem 2.6. Let $s = p_1^{e_1} p_2^{e_2} \dots p_k^{e_k}$ is the product of the primes of the form $p_i \equiv \mp 1 \pmod{10}$.

- i. For $\pi(s) \equiv 0 \pmod{4}$, the period of each power Fibonacci sequence modulo s is $\pi(s)$.
- ii. For $\pi(s) \equiv 2 \pmod{4}$, the period of one power Fibonacci sequence modulo s is $\frac{\pi(s)}{2}$ and the periods of the others are $\pi(s)$.
- iii. For $\pi(s) \equiv 0 \pmod{4}$, the period of each power Fibonacci sequence modulo $5s$ is $\pi(s)$.
- iv. For $\pi(s) \equiv 2 \pmod{4}$, the period of each power Fibonacci sequence modulo $5s$ is $2\pi(s)$ [13].

III. RESULTS AND DISCUSSION

A. SOME SPECIAL POWER HORADAM SEQUENCES

Here, firstly, we defined two special power Horadam sequences modulo s .

Definition 3.1. Let H' be a bi-infinite integer sequence satisfying the recurrence relation $H'_n = H'_{n-1} + 3H'_{n-2}$ (or $H'_n = 3H'_{n-1} + H'_{n-2}$). If $H' \equiv 1, \gamma, \gamma^2, \gamma^3, \dots \pmod{s}$ for some modulus s , then H' is called a special power Horadam sequence modulo s .

In this definition, we used Horadam sequences for $u = 1, v = 3$ and $u = 3, v = 1$.

Example 3.2. For modulo $s = 17$, there are two special power Horadam sequences for $u = 1, v = 3$ as follows:

1,5,8,6,13,14, 2, 10, 16, 12, 9, 11, 4, 3, 15, 7, 1,5, ... and 1,13,16,4,1,13, ...

Example 3.3. For modulo $s = 53$, there are two special power Horadam sequences for $u = 3, v = 1$ as follows:

1,9,28,40,42,7,10,37, 15, 29, 49, 17, 47, 52, 44, 25, 13, 11, 46, 43, 16, 38, 24, 4, 36, 6, 1, 9, ... and
1, 47, 36, 49, 24, 15, 16, 10, 46, 42, 13, 28, 44, 1, 47, ...

Then, we determined those modulus s for which these special power Horadam sequences for $u = 1, v = 3$ and $u = 3, v = 1$ exist and the number of such sequences for a given s by following theorem. And we obtained that these special power Horadam sequences exist for the same modulus.

Theorem 3.4. There is exactly one special power Horadam sequence modulo $s = 13$ in both cases for $u = 1, v = 3$ and $u = 3, v = 1$. For $s \neq 13$, there exist special power Horadam sequence modulo s precisely when s has prime factorization $s = p_1^{e_1} p_2^{e_2} \dots p_k^{e_k}$ or $s = 13 p_1^{e_1} p_2^{e_2} \dots p_k^{e_k}$, where each $p_i \equiv \pm 1, \pm 3, \pm 4 \pmod{13}$; in either case there are exactly 2^k special power Horadam sequences modulo s .

Proof. If $h(x) = x^2 - 3x - 1$ (or $h(x) = x^2 - x - 3$) where γ is a root of $h(x)$, $1, \gamma, \gamma^2 \dots$ is a special power Horadam sequences modulo s . The roots of $h(x)$ are those residues of the form $2^{-1}(3 + u)$ (or $2^{-1}(1 + u)$) where $u^2 \equiv 13 \pmod{s}$, then s is odd. Let $f(x) = x^2 - 13$. Counting the number of solutions to $f(x) \equiv 0 \pmod{s}$. For $s = 13$, the only solution to $x^2 \equiv 13 \pmod{13}$ is 0 and there are no solutions to $x^2 \equiv 13 \pmod{169}$. Thus, $x^2 \equiv 13 \pmod{13^e}$ has a solution only when $e = 1$ and that solution $x \equiv 0 \pmod{13}$. The corresponding special power Horadam sequence is 1,8,12,5,1, 8, ... (or 1,7, 10, 5, 9, 11, 12, 6, 3, 8, 4, 2, 1, 7, ...). For $s \neq 13$, by use of the law of quadratic reciprocity, is found that 13 is a quadratic residue modulo primes of the form $p \equiv \pm 1, \pm 3, \pm 4 \pmod{13}$. Thus, if $p \equiv \pm 1, \pm 3, \pm 4 \pmod{13}$, then $f(x) \pmod{s}$ has two distinct roots. Moreover, with $f(x) = x^2 - 13$ and p is a prime of the form $p \equiv \pm 1, \pm 3, \pm 4 \pmod{13}$, if x_1 is a root of $f(x) \pmod{p}$, then $f'(x_1) = 2x_1 \not\equiv 0 \pmod{p}$. By Hensel's Lemma [17], we obtained that $f(x) \pmod{p^e}$ has two distinct roots for every positive integer e .

Lastly, if s and s' are relatively prime, if $f(x) \equiv 0 \pmod{s}$ has z solutions and $f(x) \equiv 0 \pmod{s'}$ has t solutions, by Chinese Remainder Theorem, then $f(x) \equiv 0 \pmod{s \cdot s'}$ has $z \cdot t$ solutions ■.

A. 1. The Periods of Special Power Horadam Sequences

In this section, we studied on the period of two special power Horadam sequences which we described and obtained some results. Here, the period of Horadam sequences for $u = 1, v = 3$ and $u = 3, v = 1$ modulo s is denoted by $\rho(s)$.

Firstly, we investigated the period of special power Horadam sequences for $u = 3, v = 1$. And we obtained following results:

Lemma 3.5. The prime number p is in the form of $p \equiv \pm 1, \pm 3, \pm 4 \pmod{13}$, and let θ and μ be the two roots of $h(x) \equiv x^2 - 3x - 1 \pmod{p^e}$. Suppose $|\theta| \geq |\mu|$.

- i. For $\rho(p^e) \equiv 0 \pmod{4}$, $|\theta| = |\mu| = \rho(p^e)$.
- ii. For $\rho(p^e) \equiv 2 \pmod{4}$, $|\theta| = 2|\mu| = \rho(p^e)$.

Proof. Due to θ and μ are roots of $h(x) = x^2 - 3x - 1 \pmod{p^e}$, $\theta \cdot \mu \equiv -1$ and $(\theta \cdot \mu)^n \equiv \theta^n \mu^n \equiv (-1)^n \pmod{p^e}$

for any n (n is a positive integer). So, the proof of Lemma 3.5. can be easily obtained similarly to the proof of Lemma 3.2. in [13].

Theorem 3.6. Suppose that $s = p_1^{e_1} p_2^{e_2} \dots p_k^{e_k}$ in the form of $p_i \equiv \pm 1, \pm 3, \pm 4 \pmod{13}$.

- i. For $\rho(s) \equiv 0(mod4)$, the period of each special power Horadam sequence modulo s is $\rho(s)$.
- ii. For $\rho(s) \equiv 2(mod4)$, the period of one of special power Horadam sequences modulo s is $\frac{1}{2}\rho(s)$, and the periods of others are $\rho(s)$.
- iii. For $\rho(s) \equiv 0(mod4)$, the period of each special power Horadam sequence modulo $13s$ is $\rho(s)$.
- iv. For $\rho(s) \equiv 2(mod4)$, the period of each special power Horadam sequence modulo $13s$ is $2\rho(s)$.

Proof. Firstly, if $s = p^e$, then it can be easily seen that the conditions *i* and *ii* has been provided according to Lemma 3.5. Let s and m be relatively prime, and for induction, suppose that theorem is provided for modulo s and m . Now, if we show that it holds for modulo s, m , then the conditions *i* and *ii* will be proved.

Denote the roots of $h(x) \equiv x^2 - 3x - 1(mods)$ by a_1, a_2, \dots, a_k and denote the roots of $h(x)(modm)$ by b_1, b_2, \dots, b_t . Then k, t roots of $h(x)(mod s, m)$ are represented d_{ij} for $1 \leq i \leq k, 1 \leq j \leq t$ with root d_{ij} satisfying the following congruences:

$$\begin{aligned} d_{ij} &\equiv a_i(mods) \\ d_{ij} &\equiv b_j(modm) \end{aligned}$$

One easily sees that $|d_{ij}|_{s,m} = [|a_i|_s, |b_j|_m]$.

To build *i* in theorem, assume that either $\rho(s) \equiv 0(mod4)$ or $\rho(m) \equiv 0(mod4)$. Then $|d_{ij}|_{s,m} = [|a_i|_s, |b_j|_m]$ or $[\rho(s), \frac{1}{2}\rho(m)]$ or $[\frac{1}{2}\rho(s), \rho(m)]$, but from all these results it is seen that $|d_{ij}|_{s,m} = \rho(s, m) \equiv 0(mod4)$.

To prove *ii* in theorem, suppose that either $\rho(s) \equiv 2(mod4)$ or $\rho(m) \equiv 2(mod4)$. If $|d_{ij}|_{s,m} = [|a_i|_s, |b_j|_m]$ or $[\rho(s), \frac{1}{2}\rho(m)]$ or $[\frac{1}{2}\rho(s), \rho(m)]$ then we have $|d_{ij}|_{s,m} = \rho(s, m) \equiv 2(mod4)$ for all these cases. The one remaining case is $|d_{ij}|_{s,m} = [\frac{1}{2}\rho(s), \frac{1}{2}\rho(m)] = \frac{1}{2}\rho(s, m)$, which is odd.

For *iii* and *iv* in theorem, let show the roots of $h(x) \equiv x^2 - 3x - 1(mods)$ by a_1, a_2, \dots, a_k and obtain that the only root of $h(x)(mod13)$ is 8. In addition, let the roots of $h(x) mod 13s$ are represented d_i .

$$\begin{aligned} d_i &\equiv 8(mod13) \\ d_i &\equiv a_i(mods) \end{aligned}$$

Now, $|d_i|_{13s} = [|8|_{13}, |a_i|_s] = [4, |a_i|_s]$. If $\rho(s) \equiv 0(mod4)$, then $|a_i|_s = \rho(s) \equiv 0(mod4)$. Therefore $|d_i|_{13s} = [4, |a_i|_s] = \rho(s)$.

Finally, if $\rho(s) \equiv 2(mod4)$, then either $|a_i|_s = \rho(s) \equiv 2(mod4)$ or $|a_i|_s = \frac{1}{2}\rho(s) \equiv 1(mod2)$. And, for the both cases, we obtained $|d_i|_{13s} = 2\rho(s)$ ■.

According to the Theorem 3.5 and Theorem 3.6, we obtained the periodic relations between special power Horadam sequence and Horadam sequence for $u = 3, v = 1$ are the same as the periodic relations between power Fibonacci sequence and the Fibonacci sequence. Then, we examined the periods of special power Horadam sequences for $u = 1, v = 3$. And we obtained following results:

If $u = 1, v = 3$, then we obtained that the periods of the special power Horadam sequences can't been formulated similar to the period of power Fibonacci sequences. And even, we obtained that periods of the special power Horadam sequences for $u = 1, v = 3$ can't been characterized based on Horadam sequences in a certain formula. Let illustrate this situation as follows:

Example 3.7. For modulo $s = 43, s \equiv +4(13)$, Horadam sequence is

0,1,1,3,6,15,33,35,5,24,39,25,13,2,41,4,41,10,4,34,3,19,28,42,40,37,28,10,8,38,19,4,18,30,41,2,39,2,33,39,9,40,24,15,1,3 ... , then $\rho(43) = 42$.

There are two special power Horadam sequences:

- 1,12,15,8,10,34,21,37,14,39,38,26,11,3,36,2,24,30,16,20,25,42,31,28,35,33,9,27,6,29,4,5,17,32,40,7,41,19,13,27,23,18,1,12 ... , then $|12|_{43} = 42$
- 1,32,35,2,21,27,4,42,11,8,41,22,16,39,1,32 ... , then $|32|_{43} = 14$.

In this situation, we obtained $|12|_{53} = 3|32|_{43} = \rho(43)$.

Example 3.8. For modulo $s = 17$, $s \equiv +4(13)$, Horadam sequence is 0,1,1,4,7,2,6,12, 13, 15, 3, 14, 6, 14, 15, 6, 0,1,1, then $\rho(17) = 16$.

There are two special power Horadam sequences:

- 1,5,8,6,13,14,2,10,16,12,9,11,4,3,15,7,1,5, ... , then $|5|_{17} = 16$
- 1,13,16,4,1,13, ... , then $|13|_{17} = 4$.

In this situation, we obtained $|5|_{17} = 4|13|_{17} = \rho(17)$.

It is easily seen that $s \equiv +4(13)$ for both Example 3.7. and Example 3.8. And, we know that there are two special power Horadam sequence modulo $s = p^e$ according to Theorem 3.4. For the periods of the two sequences, we obtained that while the period of one of these sequences is $\frac{1}{3}\rho(s)$ for modulo $s = 43$, that is $\frac{1}{4}\rho(s)$ for modulo $s = 17$. And, the period of the other special power Horadam sequence is equal to $\rho(s)$ for both $s = 43$ and $s = 17$.

Example 3.9. For modulo = 61 , $s \equiv -4(13)$, Horadam sequence is 0,1,1,4,7,19,11,10,14,15,28,15,12,28,6,3,21,1,6,9,27,25,19,7,6,27,16,10,0,1 So, $\rho(61) = 20$.

And, there are two special power Horadam sequences:

- 1,24,27,38,58,50,41,8,9,33,60,37,34,23,3,11,20,53,52,28,1,24 ... , then $|24|_{61} = 20$
- 1,37,40,29,27,53,12,49,24,49,60,24,21,32,34,8,49,12,37,12,1,37 ... , then $|37|_{61} = 20$

So, we obtained that the period of both power sequences is 20. In this situation, we obtained $|24|_{61} = |37|_{61} = \rho(61)$.

For $\rho(61) \equiv 0(mod 4)$, the period of both of special power Horadam sequences is equal to $\rho(61)$. But for $\rho(17) \equiv 0(mod 4)$, the period of one of these sequences is $\frac{1}{4}\rho(17)$, while the period of the others is $\rho(17)$. And, similarly, for $\rho(43) \equiv 2(mod 4)$, the period of one of these sequences is $\frac{1}{3}\rho(43)$, while the period of the other is $\rho(43)$. But for $\rho(23) \equiv 2(mod 4)$, the period of one of these sequences is $\frac{1}{2}\rho(23)$, while the period of the other is $\rho(23)$. From these examples, we obtained the periodic relations between special power Horadam sequence and Horadam sequence for $u = 1, v = 3$ are not alike the periodic relations between power Fibonacci sequence and the Fibonacci sequence.

Also, when we compare the periods of these special power Horadam sequences for both for $u = 1, v = 3$ and for $u = 3, v = 1$ with the periods of the Horadam sequences in the same modulo, we can easily see that the period of one of these special power Horadam sequences modulo s is definitely equal to the period of Horadam sequence modulo s . Moreover, the periods of the other power Horadam sequences are a divisor of $\rho(s)$.

IV. CONCLUSION

In here, first of all, we analyzed power Fibonacci sequence modulo s which is defined by Ide and Renault [13] and the numbers and periods of these sequences. Then, we described two special power Horadam sequences modulo s for $u = 1, v = 3$ and $u = 3, v = 1$, respectively. And, for both cases of

these sequences, we determined those modulo s for which these power Horadam sequences exist and the number of such sequences for a given s . Also, we obtained that these special power Horadam sequences exist for the same modulus in both cases. Then, we investigated that the periods of these special power sequences for both $u = 1, v = 3$ and $u = 3, v = 1$. And, we obtained for $u = 3, v = 1$ as follows:

- i. For $\rho(s) \equiv 0 \pmod{4}$, the period of each special power Horadam sequence modulo s is $\rho(s)$.
- ii. For $\rho(s) \equiv 2 \pmod{4}$, the period of one of special power Horadam sequences modulo s is $\frac{1}{2}\rho(s)$, and the periods of others are $\rho(s)$.
- iii. For $\rho(s) \equiv 0 \pmod{4}$, the period of each special power Horadam sequence modulo $13s$ is $\rho(s)$.
- iv. For $\rho(s) \equiv 2 \pmod{4}$, the period of each special power Horadam sequence modulo $13s$ is $2\rho(s)$.

In addition, we obtained for $u = 1, v = 3$, periods of the special power Horadam sequences can't be characterized based on power Horadam sequences in a certain way. But we obtained that the period of one of these special power Horadam sequences is definitely equal to the period of Horadam sequence, while the periods of the other power Horadam sequences are a divisor of $\rho(s)$.

Finally, we compared that the period formulas of power Horadam sequences which we obtained and the period formulas of power Fibonacci sequences. We found that, the periods formulas of the power Horadam sequences for $u = 3, v = 1$ are the same as the period formulas of the power Fibonacci sequences while those defined for $u = 1, v = 3$ are different from the periods of the power Fibonacci sequences.

V. REFERENCES

- [1] T. Koshy, *Fibonacci and Lucas Numbers with Applications*. New York, John Wiley&Sons, 2019.
- [2] A.F. Horadam, "Basic properties of a certain generalized sequence of numbers," *The Fibonacci Quarterly*, vol. 3, no. 3, pp. 161-176, 1965.
- [3] M. Edson, O.Yayenie, "A new generalization of Fibonacci sequence extended Binet's formula," *Integers*, vol. 9, no. 6, pp. 639, 2009.
- [4] S. Falcon, A. Plaza, "On the Fibonacci k -numbers," *Chaos, Solitons & Fractals*, vol. 32, no. 5, pp. 1615-1624, 2007.
- [5] G.Y. Lee, "Fibonacci k -Lucas numbers and associated bipartite graphs," *Lineer Algebra and its Applications*, vol. 320, pp. 51-61, 2000.
- [6] D. Andrica, O. Bagdasar, *Recurrent Sequences: Key Results, Applications, and Problems*. Springer Nature, 2020.
- [7] N.J.A. Sloane, *A Handbook of Integer Sequences*. New York, Academic Press, Inc, 1973.
- [8] D. Taşçi, E. Kilic, "On the order k -generalized Lucas numbers," *Applied Mathematics and Computation*, vol. 155, no.3, pp. 637-641, 2004.
- [9] N. Taşkara, K. Uslu, H.H. Güleç, "On the properties of Lucas numbers with binomial coefficients," *Applied Mathematics Letters*, vol. 23, no.1, pp. 68-72, 2010.
- [10] K. Uslu., N. Taskara, H. Kose, "The generalized k -Fibonacci and k -Lucas number," *Ars Combinatoria*, vol. 99, pp. 25-32, 2011.

- [11] S. Vajda, *Fibonacci and Lucas Numbers and the Golden Section*. Chichester: Ellis Horwood, 1989.
- [12] Y. Yazlik, N. Taşkara, “A note on generalized k –Horadam sequence,” *Computers & Mathematics with Applications*, vol. 63, no 1, pp. 36-41, 2012.
- [13] J. Ide, M.S. Renault, “Power Fibonacci sequences,” *The Fibonacci Quarterly*, vol. 50, no. 2 pp. 175-180, 2012.
- [14] D.D. Wall, “Fibonacci series modulo m ,” *The American Mathematical Monthly*, vol. 67, no. 6, pp. 525-532, 1960.
- [15] M. Renault, “The Fibonacci sequence under various moduli,” Wake Forest University, Institute of Science, Master's Thesis, 82p, Winston-Salem. 1996.
- [16] C. Guo, A. Koch, “Bounds for Fibonacci period growth,” *Involve A Journal of Mathematics*, vol. 2, no. 2, pp. 195-210, 2009.
- [17] I. Niven, H. Zuckerman, H. Montgomery, *An Introduction to the Theory of Numbers*. John Wiley & Sons, Inc., 1991.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Moleküler Baskılanmış/Altın Nanoparçacık-Peptit Nanotüp ile Fonksiyonelleştirilmiş Tek Kullanımlık Biyoçip ile IL-6 Tayini

 Yeşim Tuğçe YAMAN ^{a,*}  Serdar ABACI ^b

^a İleri Teknolojiler Uygulama ve Araştırma Merkezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, TÜRKİYE

^b Kimya Bölümü, Fen Fakültesi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: tugce.yaman@hacettepe.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1003867

ÖZ

Bu çalışmada, çeşitli hastalık türlerine sahip hastalarda miktarının arttığı tespit edilen ve kanser biyobelirteci olarak kabul edilmiş bir sitokin türü olan İnterlökin 6 (IL-6)'nın tayini için moleküler baskılanmış aşırı oksitlenmiş polipirrol (MIP(o-ppy)) ve altın nanoparçacık-peptit nanotüp (GNP-PNT) ile fonksiyonelleştirilmiş tek kullanımlık elektrot sistemi geliştirildi. Hem modifiye edici ajan hem de elektrot yüzeyi çeşitli yöntemlerle karakterize edildi. Moleküler baskılanmış elektrotlar ile IL-6'nın nicel analizi redoks çiftinin elektrokimyasal davranışı değişimi üzerinden voltametrik olarak gerçekleştirildi. Diferansiyel puls voltametri (DPV) tekniği kullanılarak doğrusal çalışma aralığı 1-200 pg/mL ve gözlenebilme sınırı (LOD) ise 0,2 pg/mL olarak bulundu. Önerilen çalışma kapsamında, düşük maliyetli, uzmanlık gerektirmeyen, kullanımı kolay, yüksek hassasiyetle ölçüm ve analiz yapan, hızlı cevap süresine sahip moleküler baskılanmış tek kullanımlık elektrotlar ileride hasta başı ölçümlerine uyarlanabilme potansiyeline sahiptir.

Anahtar Kelimeler: Sitokin, İnterlökin 6, Moleküler baskılama, Peptit nanotüp, Tek kullanımlık elektrot

Detection of IL-6 with a Functionalized with Gold Nanoparticle- Peptide Nanotube Molecularly Imprinted Single-used Biochip

ABSTRACT

In this study, molecularly imprinted over oxidized polypyrrole (MIP(o-ppy)) and functionalized with gold nanoparticle-peptide nanotube (GNP-PNT) single-used electrode system was developed for detection of Interleukin 6 (IL-6) which is a type of cytokine that has been found to be increased in patients with various disease types and has been accepted as a cancer biomarker. Both the modifying agent and the electrode surface were characterized by various methods. Quantitative analysis of IL-6 with molecularly imprinted electrodes was performed voltammetrically over the change in the electrochemical behavior of the redox couple. By using the differential pulse voltammetry (DPV) technique, the linear working range was achieved as 1-200 pg/mL and the limit of detection (LOD) was found as 0.2 pg/mL. Within the scope of the proposed study, molecularly imprinted disposable electrodes that do not require expertise, are easy to use, measure and analyze with high sensitivity, and have a fast response time have the potential to be adapted to point of care measurements in the future.

Keywords: Cytokine, Interleukin 6, Molecular imprinting, Peptide nanotube, Disposable electrode

I. GİRİŞ

184 amino asitten oluşan ve 26 kDa molekül ağırlığına sahip bir glikoprotein türü olan İnterlökin-6 (IL-6) kanser hücrelerinin aktivitesini etkileyen çok işlevli bir sitokindir [1]. Dolaşımında yer almakla birlikte sağlıklı bireylerin plazmasında 6 pg/mL gibi çok düşük bir miktarda bulunmaktadır [2]. IL-6'nın aşırı ekspresyonu, tümör oluşumunda, büyümesinde ve habis farklılaşmasında, tümör mikro çevresinde, immünomodülasyon ve metabolizmada yer alan hemen hemen tüm tümör tiplerinde bildirilmiştir [3]. Artan IL-6 seviyeleri, gelişmiş neo-anjiyogenez, kanser hücresi apoptozunun inhibisyonu ve mikro-ortamdaki kontrol mekanizmalarının serbest bırakılmasından sorumludur. Ayrıca kansere bağlı kaşeksi bulunan hastalarda miktarının çok olduğu tespit edilmiş ve bu nedenle kanser biyobelirteci olarak kabul edilmiştir [1,3]. IL-6 dâhil olmak üzere biyobelirteç olarak belirlenen proteinlerin hassas, hızlı ve doğru tespiti, özellikle hücre dışı ortama salınan derişimlerinin çok düşük olması nedeniyle oldukça zordur. Ancak, IL-6'nın tayini, birçok hastalığın ilerlemesini teşhis etmek ve belirli tedavilere verilen yanıtı değerlendirmek açısından oldukça önem taşımaktadır. Literatür incelendiğinde IL-6'nın teşhis ve tayini geleneksel olarak immünolojik test yöntemleri ile gerçekleştirildiği belirlenmiştir. Enzim bağılı immünosorbent testi (ELISA), kemilüminesans immünoassay (CLIA), antikor dizi analizleri, boncuk temelli analizler, enzime bağılı immünosorbent spot (ELISPOT) testi, floresan mikrodizilim, iletkenlik temelli immünosensör ve floresan temelli fiber optik biyosensörler IL-6'nın tayini için geliştirilen sistemlere örnek olarak verilebilir [4–11]. Ayrıca nanoplazmonik biyosensör mikrodizileri [12] ve yüzey plazmon rezonansı [13] yöntemlerini esas alan çalışmalarda literatürde yerini almıştır. Bununla birlikte, hem ELISA hem de CLIA yöntemleri analiz süresi, çoğullama, numune hacmi ve hatta bazı belirli analitlerin duyarlılığı açısından çeşitli sınırlamalara sahiptir [9,14]. Ayrıca belirtilen yöntemlerin tümünde kalifiye eleman gerekliliği ve uzun süren etiketleme süreçleri mevcuttur. Tüm bu yöntemlere alternatif olarak IL-6'nın teşhisi için geliştirilmiş elektrokimyasal temelli biyosensör [7,15] çalışmaları da literatürde yerini almıştır. Elektrokimyasal yöntemler yukarıda belirtilen diğer yöntemlere göre nispeten basit ve maliyetsiz cihazların geliştirilmesi için oldukça uygundur [16]. Ancak, IL-6'nın elektrokimyasal tayininde geliştirilen sensör sistemleri genelde yüzeyde antijen-antikor ilişkisini inceleyen ve aptamer/IL-6 ilişkisini temel alan sistemler olarak karşımıza çıkmaktadır [10,11,17–21]. IL-6'nın antijen-antikor ilişkisine dayanan elektrokimyasal tayin çalışmalarında çalışma elektrodunun modifikasyonu oldukça karmaşık ve uzun deneysel süreçleri içermektedir. Bu yöntemeye dayalı çalışmalarda elektrodun kararlılığı da kısa olduğundan bu da önemli bir dezavantaj olarak karşımıza çıkmaktadır. Ayrıca sensör yüzeyinde oluşturulan her bir yeni modifikasyon ek maliyeti de beraberinde getirmektedir. Antikor ve aptamerlerin kullanımına alternatif olarak, biyomimetik materyaller ve moleküler baskılama teknolojisi ile hazırlanan elektrotlar, immünosensörler ve aptasensörlere alternatif olarak oldukça umut vaat etmektedir.

Moleküler baskılı polimer (MIP) matrisler, genellikle şablon molekül varlığında bir monomerin polimerizasyonu yoluyla üretilirler. Polimerizasyon işlemi tamamlandığında, şablon molekül matristen uzaklaştırılır ve şablona özgü boşluklar geride kalır [22]. MIP'ların, düşük maliyetli, kolay sentezlenebilmeleri ve birçok çözücüde iyi fiziksel ve kimyasal kararlılığa sahip olmaları dâhil olmak üzere sahip olduğu özellikler sayesinde biyolojik muadillerine göre birçok avantajları vardır. Hem klasik kimyasal polimerizasyon reaksiyonları (örneğin, radikal, anyonik, katyonik) hem de elektrokimyasal polimerizasyon dâhil olmak üzere moleküler baskılı matrisler üretmek için birçok farklı yöntem kullanılmaktadır. Elektrokimyasal polimerizasyonun en önemli avantajı, polimer filmin biriktirildiği potansiyeli tam olarak kontrol etme yeteneğidir [23]. Bu yöntem ile moleküllerin hiçbir işlevselliğe sahip olmadığı durumlarda bile, analit seçimi için kısıtlama olmaksızın elektrot yüzeyinde analite karşı yüksek seçiciliği olan bir tanıma filmi oluşturulabilir. Moleküler baskılama ve elektrokimyasal sensörü birleştiren moleküler baskılanmış elektrokimyasal sensörler (MIECS), hedef molekül için özel tanıma elemanı olarak MIP'ları kullanan yüksek seçicilik ve duyarlılığa sahip sistemlerdir. MIECS'ler düşük maliyetli, hızlı ve güvenilir sistemler olup karmaşık matris ortamlarında bile rahatlıkla kullanılabilirler [24]. Tek kullanımlık elektrot çeşitlerinden olan perde baskılı elektrotlar (SPEs) çalışma elektrodu olarak elektrokimyasal biyosensör çalışmalarında oldukça dikkat çekmektedir. Son yıllarda özellikle nanomalzemelerle modifiye edilerek (sinyal/gürültü oranı düşürülerek) daha duyarlı ve seçici hale getirilebilmektedirler. Rutin olarak elektrokimyasal olarak sentezlenen bir polimer olan

polipirol (ppy), hazırlama kolaylığı, yüksek kararlılık ve sahip olduğu geniş uygulama alanları nedeniyle yaygın olarak elektrokimya çalışmalarında uygulanmaktadır. Çapraz bağlayıcı bir ko-monomer kullanmak zorunda kalmadan kısmen çapraz bağlanan ppy, çeşitli taban malzemeleri üzerinde kolaylıkla polimerleştirilebilir bir malzemedir [23,25–27]. İyi biyouyumluluk, yüksek kararlılık ve oda sıcaklığında üretim gibi avantajlara sahip olan moleküler baskılanmış polipirol (MIP-ppy) katmanları üretmek için en basit yöntem, hem pirol (veya başka bir pirol temelli monomer) hem de istenen şablonu içeren bir çözeltiliye uygulanan elektrokimyasal yöntemlerle çalışma elektrodu üzerinde elektrokimyasal polimerizasyon ile üretimin gerçekleştirilmesidir [23,25–27]. Potansiyon-dinamik yöntemlerde, yüksek pozitif potansiyeller uygulandığında ppy aşırı oksidasyona uğramakta (o-ppy) ve moleküler baskılamada başarılı bir ppy türevi olarak karşımıza çıkmaktadır [28,29]. MIP(o-ppy) üretiminde konjüge bağ sisteminin kısmi bozunması nedeniyle yapının iletkenliğini bir dereceye kadar kaybetmesine neden olur. Ancak, o-ppy'nin azalan iletkenliği, elektrot yüzeyi iletkenliği arttırabilecek farklı nano malzemelerle dekore edilerek iletkenlik bir dereceye kadar arttırılabilir ve bu sayede sensörün hassasiyeti de arttırılabilir [30]. Literatürde yayınlanan çalışmalar incelendiğinde, karbon nanotüpler, nanoparçacıklar (manyetik, metal vb.) ve grafen oksit gibi nano malzemelerle modifiye edilmiş yüzeyler üzerinde hazırlanan MIP(o-ppy) sistemlerinin yüksek hassasiyet ve seçicilikle farklı analitlerin nicel tayininde başarıyla uygulandığı belirlenmiştir [31–34].

Peptid nanotüpler (PNT) kendiliğinden düzenlenebilen yapıları, küçük boyutları, yüksek en-boy oranları ve ayarlanabilir yüzey karakteristikleri ile önemli biyomalzemeler arasında yer alırlar [35–38]. Karbon nanotüpler veya silikon nanoteller gibi nano malzemelere göre, kendinden düzenlenen protein yapıları uygun koşullarda daha hızlı, daha az maliyetli ve temiz oda gerektirmeden üretilebilirler. Elektrokimyasal yönden avantajları ise, yüksek sinyal/gürültü oranına sahip olmaları ve mikroskobik yüzey alanında artışa neden olmaları olarak sıralanabilir [39–42]. Bunun yanında PNT'ler farklı türde malzemelerle kompozit yapımında kullanıldığında çalışma elektrodunun seçicilik ve hassasiyetini arttırabilirler. Bu nedenle önerilen çalışmada, PNT ve altın nanoparçacıkların (GNP) eş zamanlı olarak sentezi gerçekleştirilmiş ve yüzey modifiye ajanı olarak kullanılmıştır. GNP'ler iyi biyouyumluluk gösterirler ve etkin yüzey alanını arttıran yüksek yüzey alanı/hacim oranına sahip malzemeler olmalarından ve PNT'lerle beraber sinerjik etki yaratmasından dolayı tercih edilmiştir [43]. Eş zamanlı üretilebilen GNP-PNT nanokompozitinin elektrokimyasal alanda uygulamasının yer aldığı çalışma sayısı oldukça kısıtlıdır [44,45]. Ayrıca gerçekleştirilen literatür taramasında GNP-PNT ile yüzey modifikasyonu sonrası MIP(o-ppy) üretiminin gerçekleştirildiği bir sensör sisteminin bulunmadığı tespit edilmiştir.

Özetle bu çalışmada, IL-6'nın yüksek hassasiyetli tayini için MIP(o-ppy)/GNP-PNT modifiye elektrotları ilk kez üretildi ve uygulaması araştırıldı. Çalışma kapsamında üretilen moleküler baskılanmış elektrot yüzeyleri elektrokimyasal, mikroskobik ve spektrometrik yöntemlerle karakterize edildi ve moleküler baskılamının başarısı ortaya konuldu. Redoks çiftinin elektrokimyasal yükseltgenme özelliğinden yararlanılarak IL-6'nın voltametrik olarak nicel analizi gerçekleştirildi. En uygun deneysel şartlar belirlenerek, bu koşullar altında sensörün doğrusal çalışma aralığı pg/mL seviyesinde elde edildi. Girişim etkisi gösterebilecek türlere karşı seçicilik çalışması gerçekleştirildi ve önerilen biyoçipin IL-6'ya karşı yüksek seçicilik gösterdiği belirlendi. Böylece ileride hasta başı bakım analizlerinde kullanılacak yüksek hassasiyete sahip tek kullanımlık biyoçipler başarıyla üretildi. Ayrıca gelecekte önerilen sensör sistemi farklı hedef moleküllere göre uyarlanabilir ve nicel analiz sistemleri geliştirilebilir.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

A. KİMYASALLAR VE ÇÖZELTİLER

Pirol monomeri, altın (III) klorür trihidrat ($\text{HAuCl}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), fosfat tampon tuzu (PBS) ve 1,1,1,3,3,3-Hekzafloro-2-propanol (HFIP) Sigma Aldrich (Almanya)'den satın alındı. Potasyum ferrisiyanür ($\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$) ve potasyum ferrosiyanür ($\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) ise sırasıyla Fisher (USA) ve Analar

(İngiltere) üreticilerinden temin edildi. Difenilalanin (FF) Bachem (İsviçre) firmasından satın alındı. IL-6 ve IL-8 ise, eBioscience (USA)'tan temin edildi. Perde baskılı altın elektrotlar (Au-SPEs) ve kablo bağlantısı ise Metrohm (Türkiye)'dan satın alındı.

Elektrokimyasal ölçümlerin gerçekleştirildiği redoks çifti çözeltisi 5,0 mM $K_3[Fe(CN)_6]$ ve $K_4[Fe(CN)_6]$ (1:1) olacak şekilde 0,1 M KCl içerisinde hazırlandı.

IL-6'nın stok çözeltisi 0,1 M KCl içeren pH 7,4 fosfat tampon çözeltisi (PBS) içerisinde hazırlandı.

Hedef molekülün (IL-6) polimer yüzeyinden uzaklaştırılması amacıyla kullanılan yıkama çözeltisi etanol:su (2:1 v/v) + 0,25 mol L^{-1} NaOH olacak şekilde hazırlandı.

Seçicilik çalışması için kullanılan girişim yapabilecek türlerin stok çözeltileri ve seyreltmeleri de pH 7,4 PBS içerisinde hazırlandı.

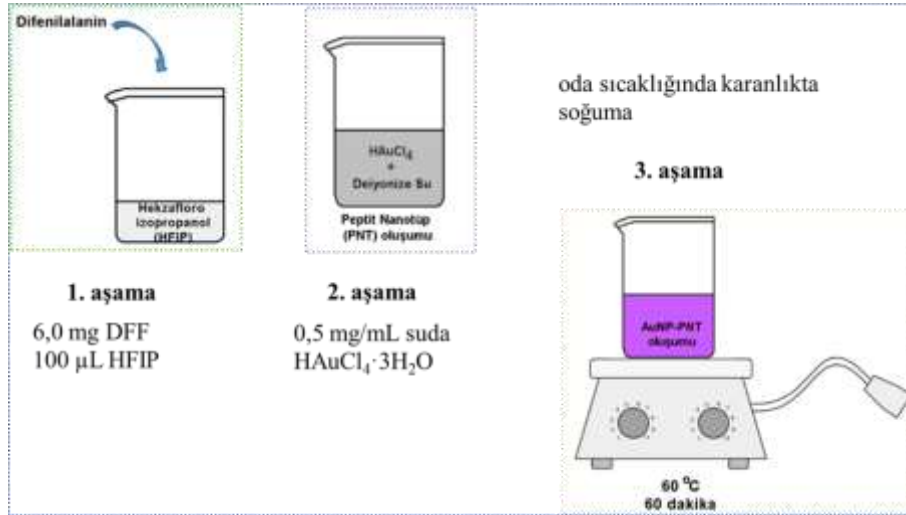
B. CİHAZLAR

Elektrokimyasal ölçümlerin tümü CHI600 model potansiyostat/galvanostat kullanılarak gerçekleştirildi. Au-SPE'ler, Au çalışma elektrodu, Ag/AgCl referans elektrodu ve Ag karşıt elektrodun yer aldığı 3'lü elektrot sisteminden oluşmaktadır. Elektrotların bağlantıları gümüş elektrik kontaklarla sağlanmaktadır. Çalışma elektrodunun çapı 4 mm'dir. Au-SPE'nin elektrik kontakları ile potansiyostat/galvanostatın elektrik bağlantıları arasında ara yüz oluşturacak şekilde uygun bir anahtar kutusuna yerleştirilerek ölçümler kaydedildi.

Sentezlenen GNP-PNT ile moleküler baskılanmış elektrot yüzeylerinin morfolojik karakterizasyonu taramalı elektron mikroskobu (SEM) (Tescan GAIA 3 FIB-SEM/Czech Republic), molekül yapısındaki bağların tanımlanması amacıyla spektrokimyasal karakterizasyonu zayıflatılmış toplam yansıma-Fourier dönüşümlü kızılötesi spektrofotometre (ATR-FTIR ATR-FTIR, Thermo Fisher Scientific/USA) ile gerçekleştirildi. Ultraviyole ve görünür ışık (UV-Vis, Shimadzu/Japan) absorpsiyon spektroskopisi ise GNP-PNT yapısının absorpsiyon bantlarının araştırılmasında kullanıldı.

C. GNP-PNT SENTEZİ

Şema 1'de gösterilen GNP-PNT sentezi için 6,0 mg DFF tartılarak 100 μ L HFIP içerisinde çözdürüldü ve 0,5 mg/mL suda hazırlanan $HAuCl_4 \cdot 3H_2O$ çözeltisinde dağıtıldı. Elde edilen karışım 60 °C'de 1 sa inkübe edildikten sonra oda sıcaklığında karanlıkta soğumaya bırakıldı. GNP-PNT karışımının renginin sarıdan koyu mora dönmesi ile nanokompozit yapının başarıyla sentezlendiği gözlemlendi.



Şekil 1. GNP-PNT nano yapıların sentezlenmesinin şematik gösterimi.

D. MOLEKÜLER BASKILANMIŞ ELEKTROTLARIN HAZIRLANMASI

Elektrot yüzeyinin fonksiyonelleştirilmesi amacıyla öncelikle GNP-PNT modifikasyonu gerçekleştirildi. GNP-PNT nanokompozit yapısı elektrot yüzeyine damlat-kurut yöntemiyle modifiye edildi. Bu amaçla hazırlanan nanokompozitten 5 µL hacminde alındı ve çalışma elektrodu yüzeyi üzerine damlatılarak oda sıcaklığında kurumaya bırakıldı.

MIP çözeltisini hazırlamak için 0,1 M KCl içeren pH 7,4 PBS içinde 1 µg/mL IL-6 ve 10 mM pirol monomeri karışımı, monomer-hedef molekül arası etkileşimin tamamlanması için 24 sa boyunca 4 °C’de bekletildi. GNP-PNT üzerine IL-6 baskılanmış MIP(o-ppy) oluşturmak için, GNP-PNT modifiye SPE üzerine 20 µL MIP çözeltisi damlatıldı. Daha sonra bir elektropolimerizasyon tekniği olan dönüşümlü voltametri (CV) ile 50 mVs⁻¹ tarama hızında, -0,6 V ile 1,0 V gerilim aralığında (Ag/AgCl’ye karşı) 5 döngü tarandı ve elde edilen elektrotlar MIP(o-ppy)/GNP-PNT olarak adlandırıldı. Hazırlanan elektrotlar saf suya daldırıp çıkarıldı ve oda sıcaklığında kurumaya bırakıldı. Kontrol grubu olarak aynı basamaklar izlenerek IL-6 içermeyen çözeltide elektrot modifikasyonu gerçekleştirildi ve elektrotlar NIP(o-ppy)/GNP-PNT olarak isimlendirildi.

Moleküler olarak baskılanmış IL-6 şablon moleküllerinin elektrot yüzeyinden uzaklaştırılması amacıyla yıkama çözeltisi olarak etanol:su (2:1 v/v) + 0,25 mol L⁻¹ NaOH kullanıldı. Bu amaçla hazırlanan desorpsiyon çözeltisine daldırılan elektrotlar 3 sa (optimum süre) bekletilerek polimer filmde IL-6 molekülleri uzaklaştırıldı ve ardından PBS ile yıkanarak oda sıcaklığında kurutuldu. Daha sonra yüzeyde oluşturulan ve IL-6’ya özgü olan bu boşluklara IL-6’nın yeniden adsorpsiyonu için MIP(o-ppy)/GNP-PNT üzerine farklı derişimlerde hazırlanan IL-6 çözeltisinden (5 µL) damlatıldı ve kurutuldu (oda sıcaklığında 30 dk).

E. ELEKTROKİMYASAL ANALİZLER

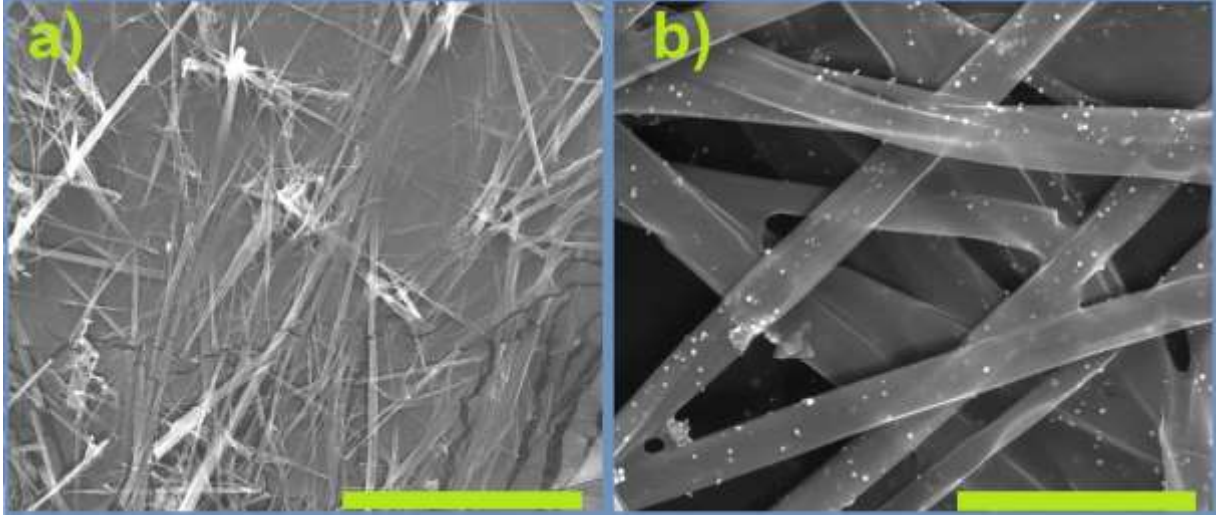
Moleküler baskılama işlemi elektropolimerizasyon tekniği olan CV ile 50 mVs⁻¹ tarama hızı kullanılarak -0,6 V ile 1,0 V arasında (Ag/AgCl’ye karşı) 5 döngü taranarak gerçekleştirildi.

MIP(o-PPy)/GNP-PNT’nin polimer film yapısına yerleşen IL-6 molekülleri için elektrokimyasal cevabı 0,1 M KCl içeren pH 7,4 PBS içinde hazırlanan 5,0 mM Fe(CN)₆^{3-/4-} redoks çifti çözeltisinde -0,2 V ile 0,5 V (Ag/AgCl’ye karşı) arasında kaydedilen diferansiyel puls voltamogramları (DPV) ile incelendi.

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

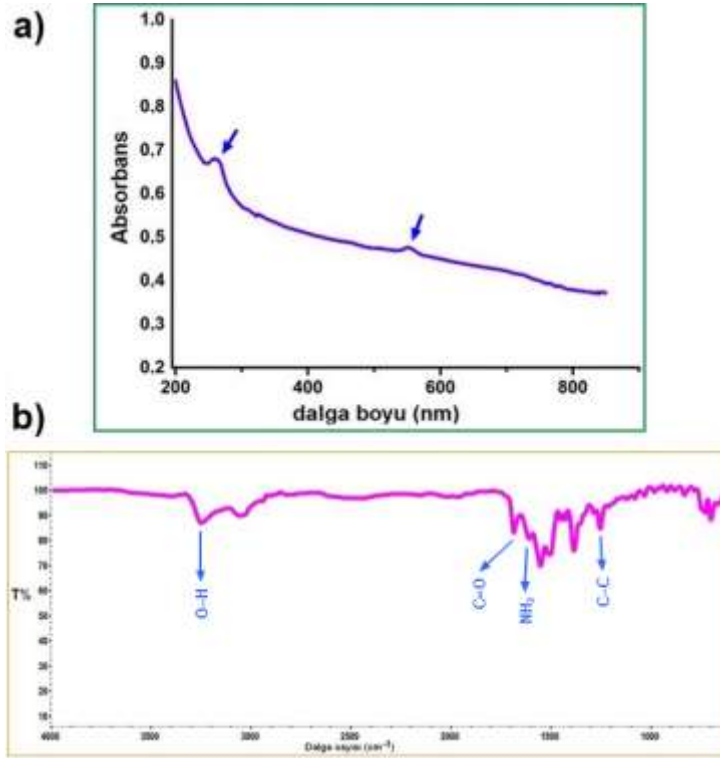
A.GNP-PNT NANOKOMPOZİTİNİN KARAKTERİZASYON ÇALIŞMALARI

Önerilen çalışma kapsamında, öncelikle elektrot yüzeyinin fonksiyonelleştirilmesinde kullanılmak üzere kendiliğinden düzenlenme yöntemi ile sentezlenen GNP-PNT yapılarının sentez başarısını ortaya koymak amacıyla çeşitli yöntemler kullanılarak karakterizasyon çalışmaları tamamlandı. Karakterizasyon çalışmalarında ilk olarak morfolojik yapının araştırılması SEM ile gerçekleştirildi ve sonuçlar Şekil 1’de gösterildi.



Şekil 1. GNP-PNT nanoyapılarının SEM görüntüsü ölçek çubuğu (a) 100 µm ve (b) 2 µm.

Yapılan morfolojik karakterizasyon sonucunda Şekil 1’de verildiği üzere, PNT’lerin tübüler şekle sahip olduğu ve GNP’lerin ise küresel yapıda sentezlendiği belirlendi. Ayrıca üretilen GNP’lerin yaklaşık 25 nm çapında ve PNT’lerin yüzeyinde olduğu gözlemlendi. Karakterizasyon çalışmalarının devamında sulu çözeltideki GNP-PNT’lerin UV-vis spektrumu kaydedildi (Şekil 2 (a)). Şekil 2 (a)’da oklarla gösterildiği üzere 260 nm’de PNT ve 545 nm’de GNP’ye ait absorpsiyon piklerinin varlığı ortaya koyuldu. Elde edilen bu bulguların literatür ile de uyumlu olduğu tespit edildi [46], [47].

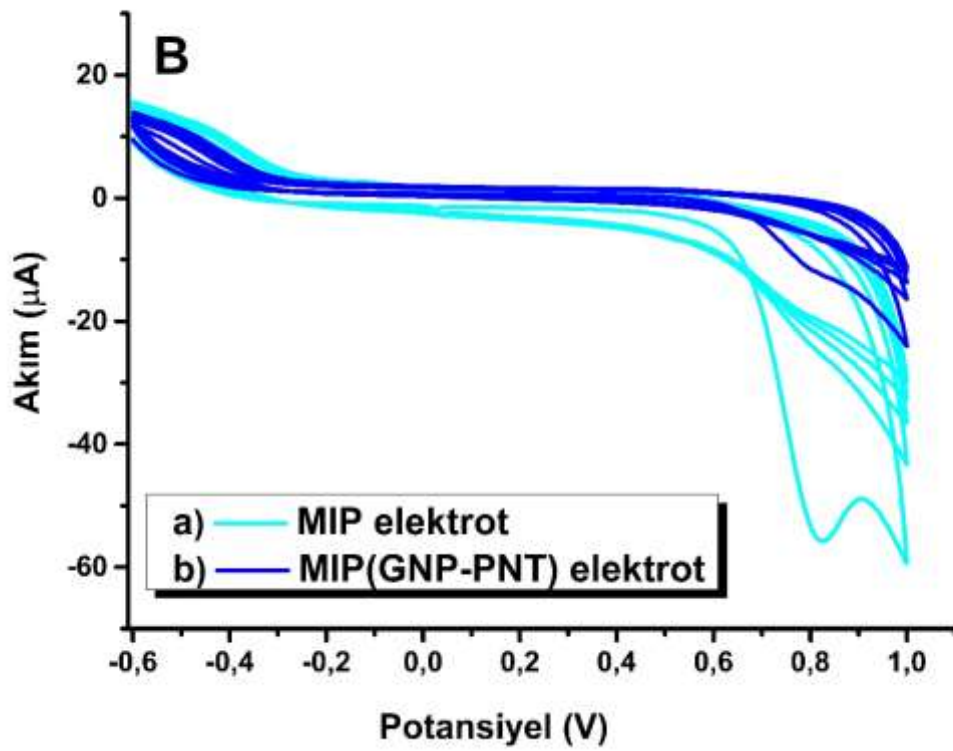
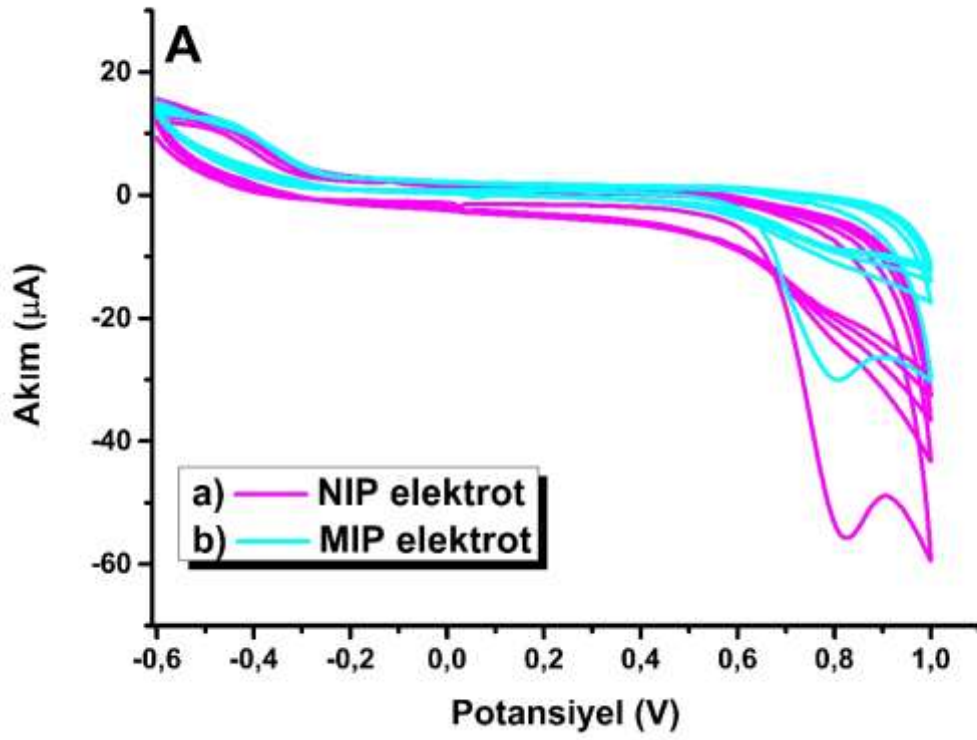


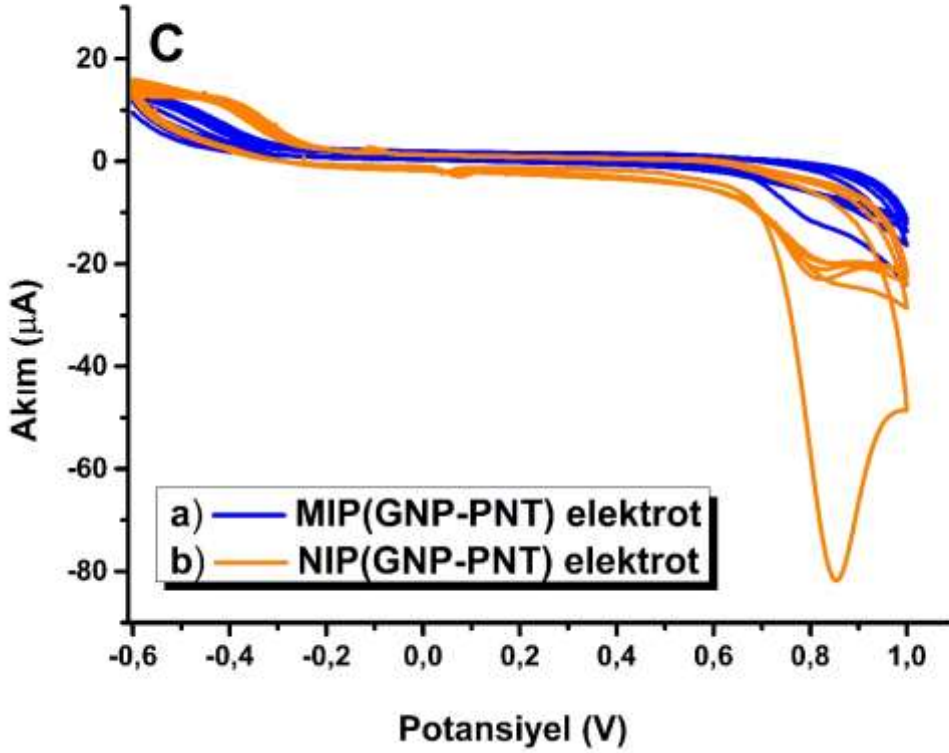
Şekil 2. Sentezlenen GNP-PNT'lerin (a) UV-Vis ve (b) ATR-FTIR spektrumu.

Nanoyapıların fizikokimyasal karakterizasyonu için ise, ATR-FTIR analizi gerçekleştirildi ve ilgili sonuç Şekil 2(b)'de verildi. Şekil 2 (b)'de elde edilen spektrumdan gözlemlendiği üzere GNP'ye ait karakteristik absorpsiyon bantları sırasıyla 1218 cm^{-1} 'deki aromatik C-C ve 3308 cm^{-1} 'de simetrik O-H gerilmesidir [48]. Ayrıca PNT yapısındaki amid C=O gerilmesi ve NH_2 bükülmesi sırası ile 1687 cm^{-1} ve 1611 cm^{-1} 'de gözlemlendi [49]. Elde edilen spektrumdan sentezlenen nanokompozit yapıda hem altın hem de peptit varlığı gösterildi. Gerçekleştirilen farklı karakterizasyon çalışmaları neticesinde GNP-PNT nanokompozit yapısının başarılı bir şekilde sentezlendiği belirlendi. Sonraki basamakta ise, IL-6'nın nicel analizinde kullanılmak üzere elektrotlar GNP-PNT ile fiziksel adsorpsiyon yöntemi kullanılarak modifiye edildi ve MIP(o-ppy) temelli biyoçipler hazırlandı.

B. MOLEKÜLER BASKILANMIŞ ELEKTROTLARIN HAZIRLANMASI

Çalışmanın ikinci kısmında, GNP-PNT nanokompozit yapısının elektrot yüzeyine modifiye edilmesi ile geliştirilen sensörün etkinliği arasındaki ilişki araştırıldı. Bu amaçla öncelikle herhangi bir malzeme ile modifiye edilmemiş (çıplak) SPE'ler üzerine MIP ve NIP'lar elektropolimerizasyon yöntemi ile hazırlandı (Şekil 3 (a)). Moleküler baskılama çalışmalarında en yaygın kullanılan polimerlerden biri olan ve çeşitli moleküllere karşı etkinliği kanıtlanmış pirol monomerinin o-ppy oluşturmak üzere elektro-polimerizasyonu CV yöntemiyle gerçekleştirildi. Yapılan literatür taramasında aşırı oksidasyona uğramış polipirol temelli moleküler baskılanmış yüzeylerin hazırlandığı ve farklı hedef moleküllerin analizinde başarıyla kullanıldığı gözlemlendi [28]. Bu nedenle pirol monomeri kullanılarak MIP'lar sentezlendi. Hem pirol monomerinin hem de IL-6 biyomolekülünün suda çözünürlüğünün yüksek olması nedeniyle herhangi bir organik çözücü veya yardımcı çözücüye ihtiyaç duyulmadan PBS tamponunda elektropolimerizasyon işlemi gerçekleştirildi. Şekil 3(a)'da sadece pirol monomeri içeren ortamda gerçekleştirilen elektro-polimerizasyona ait voltamogramlar gösterildi.





Şekil 3. (A) Modifiye edilmemiş SPE yüzeylerinde kaydedilen (a) IL-6 içermeyen (NIP) yalnızca 10 mM pirol monomeri içeren, (b) 1 µg/mL IL-6 ve 10 mM pirol monomeri içeren (MIP), (B) (a) modifiye edilmemiş SPE ve (b) GNP-PNT modifiye SPE üzerinde (C) GNP-PNT modifiye SPE yüzeylerinde kaydedilen (a) IL-6 içermeyen (NIP) yalnızca 10 mM pirol monomeri içeren ve (b) 1 µg/mL IL-6 ve 10 mM pirol monomeri içeren (MIP) pH 7,4 PBS içinde -0,6 V ile 1,0 V arasında (Ag/AgCl'ye karşı) 5 döngü kaydedilen voltamogramlar.

Şekil 3'ten görüldüğü üzere voltamogramlar anodik yönde -0,6 V'den başlanarak 1,0 V'ye (Ag/AgCl'ye karşı) kadar tarandı ve yaklaşık 0,82 V (Ag/AgCl'ye karşı) geriliminde pirolün aşırı oksidasyonuna neden olan tersinmez yükseltgenme piki ilk döngüde belirgin bir şekilde gözlemlendi. Pirolün sulu ortamdaki bu davranışının literatürde daha önce gerçekleştirilen çalışmalarla uyum içinde olduğu gözlemlendi [29,50,51]. Pirol monomerinin tersinmez yükseltgenmesine ait pik akım değeri ise, döngü sayısı ile ters orantılı olarak değişim gösterdi ve ilk döngüdeki değere göre oldukça azalma eğilimi gösterdi (Şekil 3 (a)). Böylece 5 döngünün sonunda kısmen çapraz bağlanmış, kararlı ve fonksiyonel ince polimer filmleri elektrokimyasal olarak tampon ortamında SPE yüzeyinde (NIP/SPE) başarıyla sentezlendi [52]. Daha sonra ise, IL-6'ya özgü karakteristik tanıma bölgeleri oluşturmak üzere monomer çözeltisine hedef molekül eklendi (IL-6) ve MIP/SPE'nin üretimi gerçekleştirildi (Şekil 3 (b)). Böylece polimerizasyon işlemi yer alan kalıp moleküle özgü boşlukların oluşturulması hedeflendi. Şekil 3(b)'den görüldüğü üzere pirole ait yükseltgenme pik akımında anlamlı bir azalış olduğu ve pik geriliminin pozitif yönde kayma eğilimi olduğu gözlemlendi. Bu davranış, elektroaktif pirol monomerinin elektrot yüzeyine daha fazla ulaşmasını engelleyen aşırı oksitlenmiş polimerik filmlerin oluşumuna bağlandı. Polimerizasyon ortamında yer alan IL-6'nın katkısıyla pik akımındaki azalış beklenen bir durumdur. Bu sonuç IL-6'nın pirol ile birlikte polimerik yapıya katıldığını gösterdi. Böylece polimerik yapı içerisinde IL-6'ya karşı seçimli olan ve IL-6'yı şekil, boyut ve fonksiyonel olarak tanıyabilecek boşluklar başarıyla oluşturuldu.

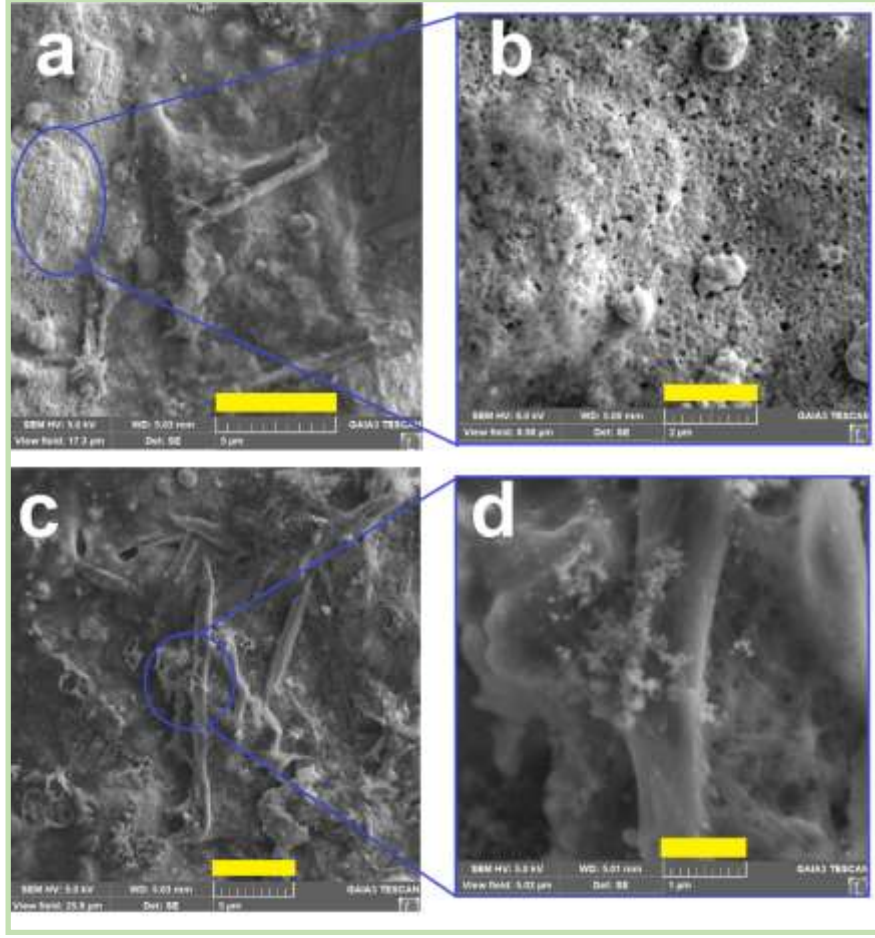
MIP temelli hazırlanan sensör sistemleri analite özgü yüksek seçicilik, kararlılık ve afinite göstermeleri ve düşük maliyetli sistemler olarak tanımlanmalarına rağmen elektrokatalitik etkilerinin bazen düşük olması bu sistemlerin en önemli dezavantajlarından birisidir. Bu nedenle belirtilen dezavantajı ortadan kaldırmanın en etkili yolu elektrot yüzeyinin nano malzemeler ile modifiye edilmesidir. Böylece düşük

kütle transfer direnci yaratılmakta ve analitin elektrot alanından desorpsiyonu/adsorpsiyonu gibi önemli parametrelerde iyileştirme sağlanmaktadır [30]. Literatürde farklı türde nanoyapılar (nanopartiküller, tübüler yapılar, grafen ve türleri vb.) MIP temelli sensörlerin analitik performansının artırılmasında kullanılmıştır [24]. Önerilen çalışmada ise, daha önce MIP temelli bir sensör çalışmasında destek nanomalzeme olarak kullanılmamış bir nanokompozit yapı olan GNP-PNT'lerin kullanımı araştırıldı. Bu nedenle elektrot yüzeyleri öncelikle GNP-PNT nanokompoziti ile damlat-kurut tekniği ile modifiye edildi ve polimerizasyon tekrarlanarak MIP(o-ppy)/GNP-PNT/SPE'ler üretildi (Şekil 3 (B)).

Şekil 3 (C)'de nanokompozit modifikasyonu öncesi ve sonrası MIP'ların elektrosentezine ait voltamogramlar verildi. GNP-PNT modifikasyonundan sonra iki malzemenin sinerjik etkisinden dolayı pirolün yükseltgenme pik akımında azalış olduğu ve elektrot yüzeyinin değişiminden etkilendiği belirlendi. Böylece elektrot yüzeyinin GNP-PNT nanokompoziti ile kaplanmasıyla çıplak elektroda göre geniş elektroaktif yüzey alanı sağlaması ve yüksek elektron transfer yeteneği sayesinde daha iyi hassasiyet ve seçiciliğe sahip MIP'lar hazırlandı [53,54]. Şekil 3 (C)'den görüldüğü üzere MIP sentezinde pirolün yükseltgenme pik akımı azaldı ve bu beklenen bir sonuçtur. Ayrıca GNP-PNT/SPE'lerle hem MIP hem de NIP sentezi başarılı bir şekilde gerçekleştirildi.

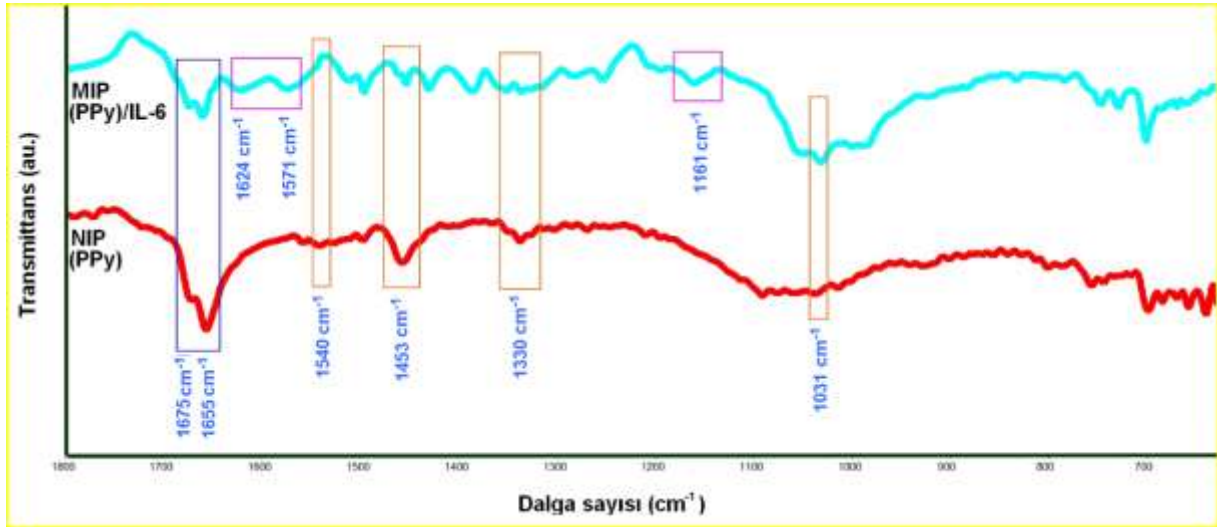
C. ELEKTROT SİSTEMİ İÇİN KARAKTERİZASYON ÇALIŞMALARI

Önerilen sensör sisteminin karakterizasyonu farklı yöntemler kullanılarak gerçekleştirildi. Öncelikle geliştirilen sensör yüzeyinin morfolojik özellikleri SEM ile araştırıldı ve ilgili sonuçlar Şekil 4'te verildi. Hazırlanan elektrot yüzeyinde farklı bileşenler bulunduğundan farklı büyütmelerde görüntüler kaydedildi. Elektro-polimerizasyon işlemi sonrasında, Şekil 4 (a-b)'de görüldüğü üzere GNP-PNT ile modifiye edilmiş SPE yüzeyinin pürüzlü yapıdaki MIP(o-ppy) polimer tabakası ile tamamen kaplandığı gözlemlendi [51,55]. Ayrıca, hem efektif yüzey alanını arttırması hem de IL-6 ile etkileşimi arttırarak MIP oluşturmak üzere uygun bir platform sağlaması amacıyla kullanılan GNP-PNT'lerin elektrot yüzeyinde varlığı da gösterildi. GNP-PNT'lerin MIP(o-ppy) tabakası oluştuktan sonra da tübüler yapısını koruduğu ve küresel formda GNP'leri içerdiği de anlaşıldı (Şekil 4 (c-d)).



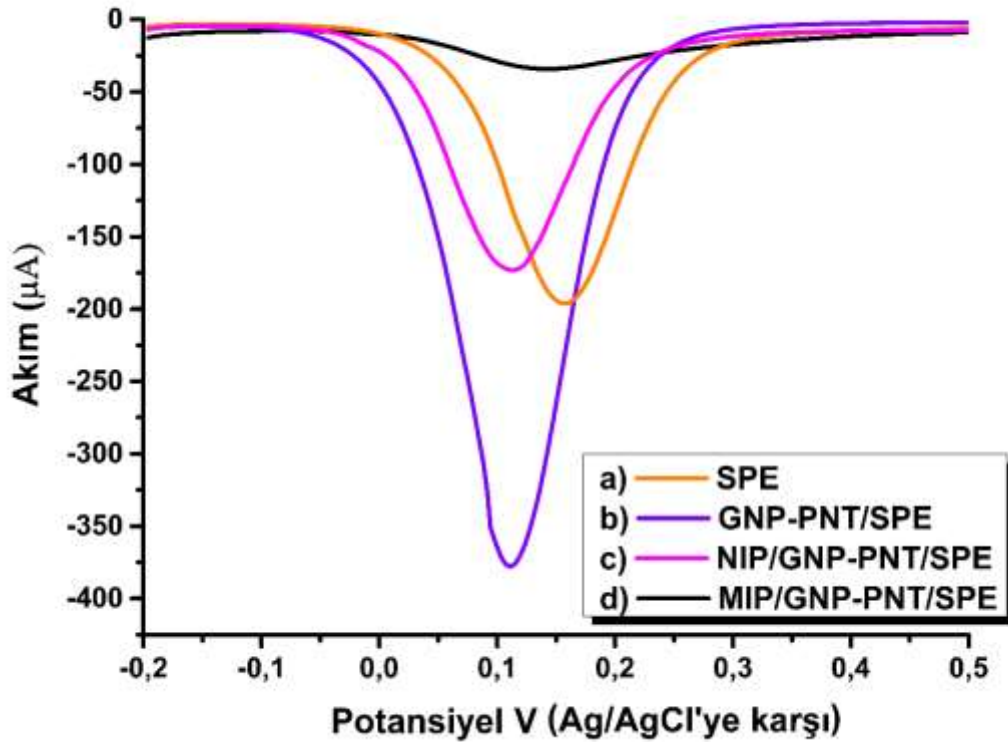
Şekil 4. MIP(o-ppy)-GNP-PNT SPE yüzeyinden kaydedilen farklı büyütmelerdeki SEM görüntüleri (a) 12 kx, (b) 23 kx, (c) 8 kx ve (d) 41,4 kx.

Morfolojik karakterizasyonun ardından NIP(o-ppy) ve MIP(o-ppy) modifiye edilmiş elektrot sistemlerinin yüzeylerinin bu bileşenleri içerdiğini ve yüzeyin kaplandığını ortaya koymak amacı ile ATR-FTIR spektrumları kaydedildi (Şekil 5). Bunun için elektrot yüzeyi önce GNP-PNT yapılarla modifiye edildi ardından modifiye elektrot yüzeyleri pirolün elektropolimerizasyonu sonucunda o-ppy ile kaplandı. Şekil 5'te verilen spektrumlarda hem NIP hemde MIP yapısında 1453 cm^{-1} ve 1540 cm^{-1} 'de gözlemlenen absorpsiyon pikleri ppy halkasının simetrik ve asimetrik gerilim titreşiminden kaynaklanmaktadır. 1031 cm^{-1} 'deki pik C-H düzlem içi deformasyon titreşimlerini gösterirken 1300 cm^{-1} civarındaki pikler C-N ve C=N bağ gerilimlerini ifade etmektedir. Bunun yanı sıra, yine her iki spektrumda da gözlemlenen 1655 cm^{-1} ve 1675 cm^{-1} deki absorpsiyon pikleri PNT yapısında yer alan amid bantlarına ait sırasıyla C=O gerilme ve NH_2 bükülmesini ifade etmektedir. Öte yandan NIP'tan farklı olarak 1624 cm^{-1} ve 1571 cm^{-1} de gözlemlenen pikler MIP yapısındaki IL-6'ya ait amid I ve II yi ifade ederken; 1161 cm^{-1} de gözlemlenen pik ise yine IL-6'ya ait C-N gerilimini ifade etmektedir. Bu analizden yola çıkarak NIP ve MIP yapıların başarılı bir şekilde geliştirildiği ortaya koyuldu [45,56–59].



Şekil 5. MIP(PPy)-GNP-PNT SPE'ye ve NIP(PPy)-GNP-PNT SPE'ye ait ATR-FTIR spektrumu.

Son olarak yapılan modifikasyonların redoks çiftinin elektrokimyasal davranışı üzerindeki etkisini incelemek amacıyla diferansiyel puls voltamogramları kaydedildi. Şekil 6 (b)'de kaydedilen voltamogramdan görüldüğü üzere elektrot yüzeyi GNP-PNT ile modifiye edildiğinde Şekil 6 (a)'da gösterilen SPE'ye ait voltamograma göre redoks çiftine ait yükseltgenme pik akımında anlamlı bir artış gözlemlendi [60].

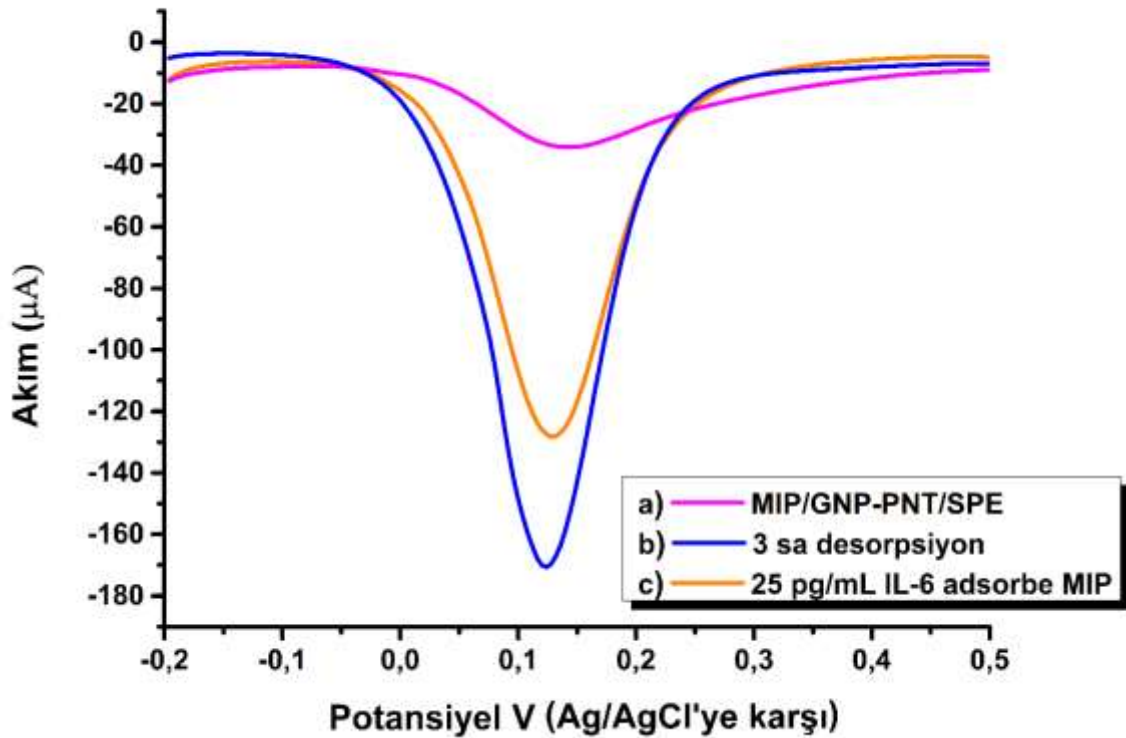


Şekil 6. (a) SPE, (b) GNP-PNT modifiye SPE, (c) NIP/GNP-PNT/SPE ve (d) MIP/GNP-PNT/SPE ile 0,1 M KCl içeren pH 7,4 PBS içinde hazırlanan 5,0 mM $Fe(CN)_6^{3-/4-}$ redoks çözeltisinde -0,2 V ile 0,5 V (Ag/AgCl'ye karşı) arası kaydedilen diferansiyel puls voltamogramları.

Bu davranış GNP-PNT ile modifiye edilmiş SPE'nin gelişmiş elektron transfer kabiliyetini ve geniş yüzey alanını tanımlamaktadır. GNP-PNT modifikasyonu sonrası sağlanan geniş yüzey alanı sayesinde polimerizasyonun gerçekleşeceği alan da arttı. Bu sayede eş zamanlı olarak elektrot yüzeyine daha fazla IL-6'nın baskılanmasına olanak sağlandı. Şekil 6 (c)'de gösterilen voltamogramda NIP(o-ppy) üretiminin ardından elektrot yüzeyinde o-ppy polimerinin varlığı ile redoks çiftine ait pik akımının GNP-PNT yüzeyine göre azaldığı tespit edildi ve bu beklenen bir durumdur. Daha sonra GNP-PNT yüzey üzerinde sentezlenen MIP(o-ppy) varlığı ile pik akımının neredeyse sıfıra yaklaştığı gözlemlendi (Şekil 6 (d)). MIP(o-ppy)/GNP-PNT/SPE yüzeyinde iletken olmayan bir tür olan IL-6 ve aşırı oksidasyonla sentezlenen polipirol varlığıyla birlikte redoks çiftinin pik akımı beklendiği üzere en düşük değere ulaştığı gözlemlendi. Elde edilen bu sonuçlar, redoks çifti davranışına göre modifikasyonların başarılı bir şekilde gerçekleştirildiğini gösterdi. Ayrıca DPV yöntemi nicel analizler için yüksek duyarlık, kısa sürede analiz gibi avantajlar sağladığından ve elektrokimyasal tayin çalışmalarında sıklıkla kullanılan bir yöntem olduğundan IL-6'nın nicel analizi için uygun bir yöntem olduğu gözlemlendi. Bu nedenle bir sonraki basamakta IL-6'nın nicel analizinde DPV'nin kullanımı araştırıldı.

D. MIP(o-ppy)/GNP-PNT/SPE İLE IL-6 ETKİLEŞİMİNİN İNCELENMESİ

IL-6 hedef molekülünün MIP polimerik film yapısından desorpsiyonu ve daha sonra yeniden bağlama basamağı üzerindeki etkileşimi redoks çiftinin yükseltgenme pik akımından yararlanılarak araştırıldı (Şekil 7). Moleküler olarak baskılanmış IL-6 moleküllerinin elektrot yüzeyinden uzaklaştırılması amacıyla literatürden yararlanılarak etanol:su (2:1 v/v) + 0,25 mol L⁻¹ NaOH karışımı yıkama çözeltisi olarak kullanıldı [61]. Bu amaçla hazırlanan yıkama çözeltisine daldırılan elektrotlar 3 sa bekletilerek IL-6 moleküllerinin polimerik yüzeyden uzaklaştırılması hedeflendi. Desorpsiyon sonrası kaydedilen voltamogram Şekil 7 (b)'de verildi.



Şekil 7. (a) MIP(o-ppy)/GNP-PNT/SPE, (b) 3 sa desorpsiyon sonrası ve (c) 15 dk 25 pg/mL IL-6 adsorpsiyonu sonrası 0,1 M KCl içeren pH 7,4 PBS içinde hazırlanan 5,0 mM Fe(CN₆)^{3-/4-} redoks çifti çözeltisinde -0,2 V ile 0,5 V (Ag/AgCl'ye karşı) arası kaydedilen diferansiyel puls voltamogramları.

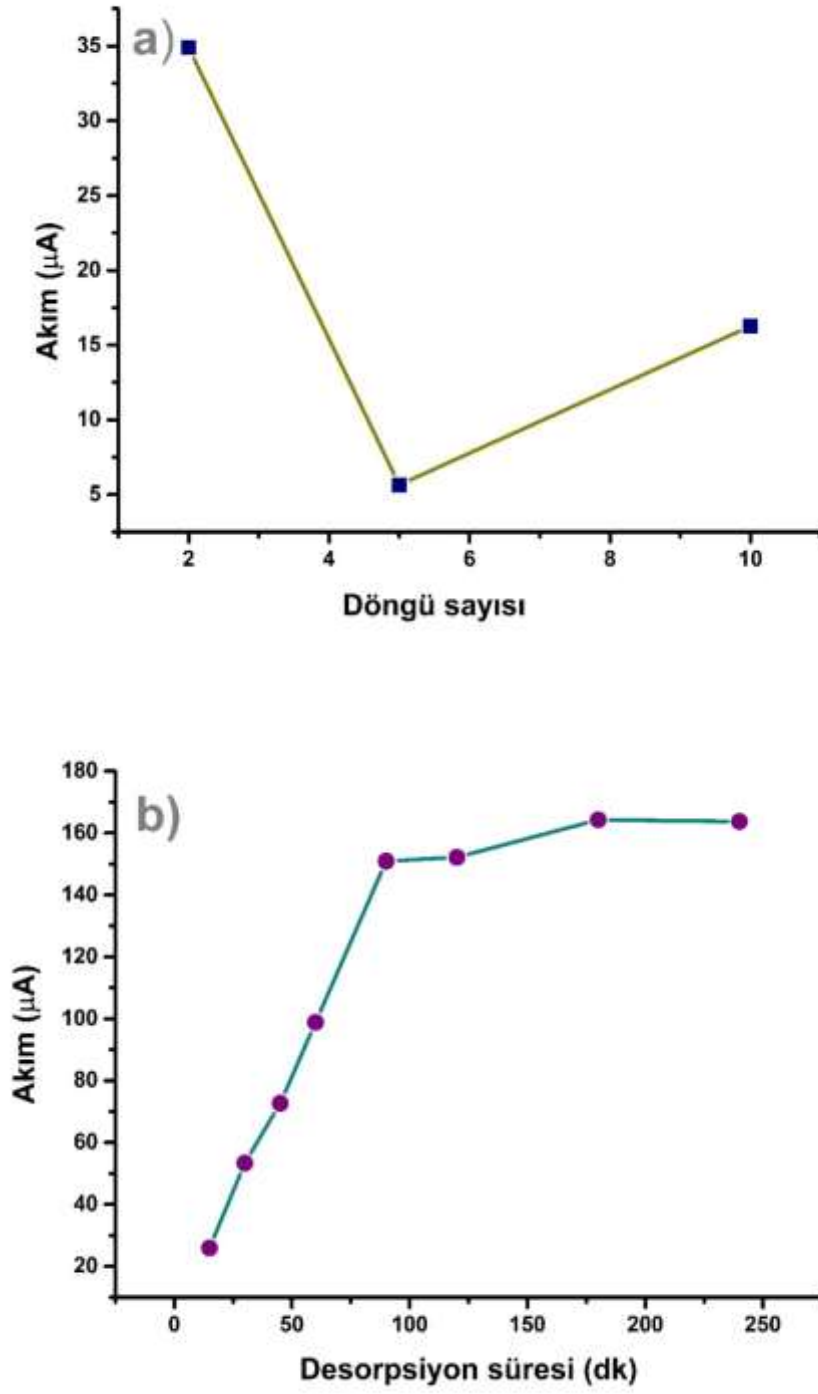
Şekil 7 (a)'da yıkama öncesi MIP(o-ppy)/GNP-PNT/SPE ile kaydedilen voltammogramdan elde edilen yükseltgenme pik akımı oldukça düşük olarak elde edildi. Desorpsiyonun başarımı ise, Şekil 7 (b)'den

elde edilen pik akımının artan yoğunluğu gösterdi. IL-6 molekülleri yüzeyden uzaklaştırıldığında elektrodun yüzeyinde oluşan boşluklar sayesinde redoks çiftinin elektron aktarım hızı arttı böylece yüzeye daha fazla redoks çifti ulaştığından yüksek pik akımı kaydedildi. Daha sonra bu boşluklara 25 pg/mL IL-6'nın yeniden adsorpsiyonu (15 dk) sağlandı ve polimer film yapısına yerleşen IL-6 molekülleri, elektrot çözelti ara yüzeyinde bir direnç oluşturdu. Böylece $Fe(CN)_6^{3-/4-}$ redoks çiftinin elektrot yüzeyinde yükseltgenmesi engellendi ve desorpsiyon sonrasına göre daha düşük bir pik akımı kaydedildi (Şekil 7 (c)). Gerçekleştirilen etkileşim çalışmasıyla IL-6'nın MIP yapısından başarıyla uzaklaştırılabildiği ve polimer filmi içerisine tekrar bağlanabildiğini gösterildi. Deneyle devamında sensörün hassasiyet ve seçiciliği üzerine etkisi olan bazı deneysel koşullar optimize edildi.

E. OPTİMİZASYON ÇALIŞMALARI

Geliştirilen sensörün analitik performansının geliştirilmesi amacıyla bazı deneysel koşulların optimizasyonu gerçekleştirildi. MIP tabanlı sensörün hassasiyetinin, sensör yüzeyindeki baskı boşluklarının miktarı ile ilgili olduğu iyi bilinmektedir, bu da baskı yapılan bölgelerin ve polimer film kalınlığının doğru orantılı olarak değiştiği anlamına gelmektedir. Bu amaçla, öncelikle farklı döngü sayılarında polimerizasyon gerçekleştirildi ve analiz sonuçları yorumlandı. Döngü sayısı 2, 5 ve 10 olacak şekilde elektrot yüzeyinde farklı kalınlıklarda polimerik filmler sentezlenmesi sağlandı. Elde edilen akım değerlerinden en uygun döngü sayısının 5 olduğu gözlemlendi (Şekil 8 (a)). 2 döngüden sonra elde edilen polimerik yapıda yeterli sayıda tanıma boşlukları elde edilememiş olabileceğinden yüksek akım sinyalleri kaydedildi. Ayrıca artan film kalınlığı, analitin boşluklara difüzyonunu yavaşlatmış olabilir ve ayrıca yüzey üzerinde bulunan tanıma boşlukları arasında yetersiz etkileşime yol açabileceğinden 10 döngüde de 5 döngüye göre daha yüksek pik akım değerleri elde edildi. Bu nedenle polimerizasyonda en uygun döngü sayısı 5 olarak kabul edildi.

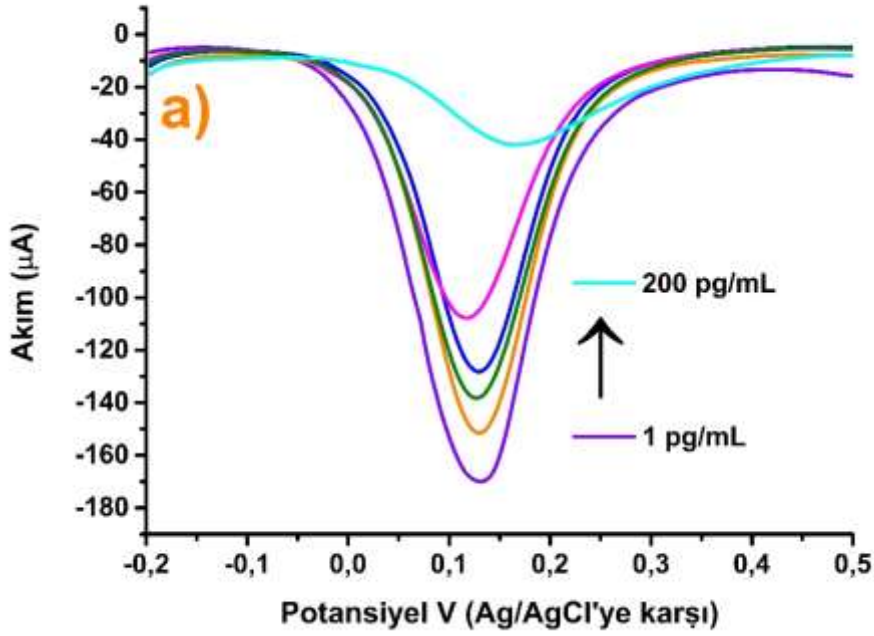
Daha sonra ise, moleküler baskılanan IL-6 moleküllerinin yüzeyden uzaklaştırılma süresi araştırıldı. Baskılı polimerin oluşturulmasının ardından hedef moleküllerin polimere yeniden seçici olarak bağlanması için şablon moleküllerin polimerik yüzeyden tamamen uzaklaştırılması gerekmektedir. Bu amaçla MIP(o-ppy)-GNP-PNT/SPE yüzeyleri yıkama çözeltileri ile farklı sürelerde muamele edildi. 15 dk'dan başlanarak 4 saate kadar farklı sürelerde elektrot yüzeyleri yıkandı ve sonrasında elektrotlar oda sıcaklığında kurutuldu (Şekil 8 (b)). Desorbe edilen yüzeylerden redoks çifti çözeltisinde diferansiyel puls voltamogramları kaydedildi ve kendi aralarında kıyaslama yapıldı. 180 dk bekletme süresine kadar MIP yüzeyinde boşlukların artması ve elektron transferinin kolaylaşması nedeniyle pik akımları artmış, ardından sensör cevabı neredeyse hiç değişmemiştir. Böylece polimer yüzeyinden 180 dk sonunda hedef moleküllerinin neredeyse tamamının uzaklaştığı sonucuna varıldı. Bu nedenle etanol:su (2:1 v/v) + 0,25 mol L⁻¹ NaOH içerisinde en uygun desorpsiyon süresi 180 dk olarak belirlendi. Sonraki basamakta belirlenen uygun şartlar altında sensörün analitik performansı araştırıldı.

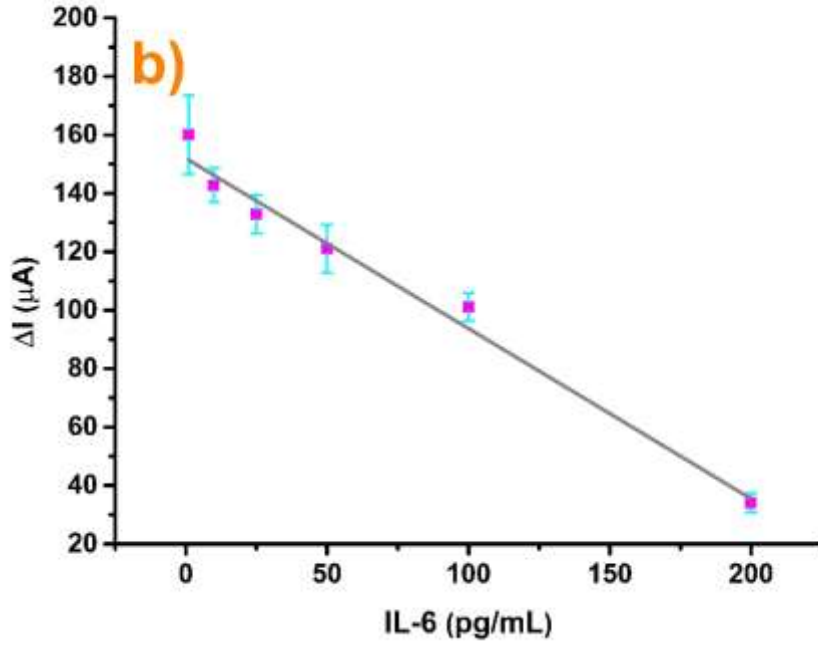


Şekil 8. MIP(o-ppy)/GNP-PNT/SPE ile (a) döngü sayısı ve (b) yıkama süresinin etkisinin optimizasyon çalışmaları.

E. ELEKTROT SİSTEMİNİN ANALİTİK PERFORMANSININ ARAŞTIRILMASI

Geliştirilen MIP sensörün doğrusal çalışma aralığı belirlenirken literatürde yer alan bilgilerden yararlanıldı. Çünkü önerilen tayin yöntemiyle IL-6'nın gerçek örneklerle uygulanabilir olması gerekmektedir. Literatürde, baş-boyun kanseri olan hastaların serum örneklerinde IL-6'nın miktarının ≥ 20 pg/mL olduğu sağlıklı insanlarda ise bu miktarın ≤ 6 pg/mL olduğu belirtilmiştir [62]. Kolorektal kanserli tüm hastalarda serumdaki IL-6 seviyesi $5,49 \pm 2,49$ pg/mL ve 1., 2., 3., 4. evre kolorektal kanserli hastalarda sırasıyla $2,75 \pm 0,2$; $4,14 \pm 0,51$; $5,86 \pm 1,68$ ve $9,56 \pm 0,99$ pg/mL olarak tespit edilmiştir [63]. Bu bilgilerden yola çıkarak IL-6'nın nicel analizinde hem 6 pg/mL'nin altı hem de ≥ 20 pg/mL'nin üstündeki derişimlerde çalışıldı. Doğrusal çalışma aralığı 1 pg/mL ile 200 pg/mL olarak elde edildi. Belirlenen derişimlerde elde edilen voltamogramlar Şekil 9 (a)'da ve pik akım değerleri ise Şekil 9 (b)'de verildi.





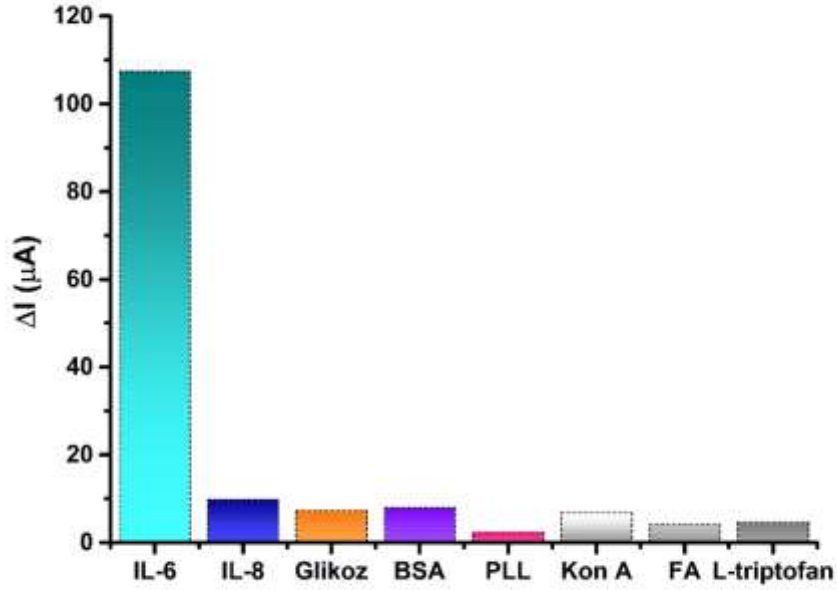
Şekil 9. (a) 1-200 pg/mL derişim aralığında elde edilen voltamogramlar ve (b) doğrusal kalibrasyon grafiğı.

Şekil 9 (b)'deki verilerden elde edilen doğrusal grafik Eş.1'de verildi;

$$Akım (\mu A) = -0,5856 IL-6 \left(\frac{pg}{mL} \right) + 152,98 \quad R^2 = 0,9834 \quad (1)$$

Buradan gözlenebilme sınırı (LOD) 0,2 pg/mL olarak hesaplandı.

Tekrar üretilebilirlik özellikle klinik uygulamalarda sensörlerin kullanımı için oldukça önemli bir özelliktir. Geliştirilen sensörlerin tekrarlanabilir ölçümler kaydedebildiğini göstermek için, 25 pg/mL IL-6 tespiti için altı elektrot hazırlandı. Altı elektrot için yapılan ölçümlerin bağıl standart sapması (% RSD) % 4,3 olarak hesaplandı ve bu sonuç ölçümlerin güvenilir olduğunu gösterdi. Daha sonra ise geliştirilen sensör üzerine farklı türlerin girişim etkisi araştırıldı ve ilgili sonuçlar Şekil 10'da verildi.



Şekil 10. MIP(o-ppy)/GNP-PNT elektrodunun seçicilik çalışması.

Seçicilik çalışmasında IL-8, glikoz, konkovalin A (Kon A), polilisin (PLL), L-triptofan, folik asit (FA), sığır serum albumin (BSA) ve IL-6 arasındaki etkileşim derecesi %10'un altında olduğu belirlendi ve bu da geliştirilen sensörün IL-6'ya karşı seçiciliğinin kabul edilebilir olduğunu gösterdi.

IV. SONUÇ

Özetle bu çalışmada, IL-6'nın nicel analizinin gerçekleştirilebileceği moleküler baskılanmış elektrotların geliştirilmesi hedeflendi. Bu hedef doğrultusunda seçicilik ve moleküler baskılama üzerine sinerjik etki yaratan GNP-PNT nanokompozitinin sentezi ve çeşitli yöntemlerle karakterizasyonu gerçekleştirildi. Sentezlenen GNP-PNT'nin fiziksel adsorpsiyon ile çalışma elektrodu yüzeyine modifikasyonu başarıyla gerçekleştirildi. Nanokompozit modifiye yüzeyler üzerinde tek basamakta başlatıcı, enzim veya çapraz bağlayıcı gibi yapılara ihtiyaç duymadan pirol monomerinden yola çıkılarak elektro-sentez ile MIP(o-ppy)/GNP-PNT'ler üretildi. Elektrokimyasal polimerizasyonda CV yöntemi ile çoklu döngü gerçekleştirilerek elektrot yüzeyinde doğrudan MIP'ların sentezi başarıyla gerçekleştirildi. Elektrot yüzeyinde GNP-PNT varlığının MIP sentezi üzerine etkisi araştırıldı ve MIP oluşumuna olumlu katkı sağladığı belirlendi. Ayrıca oluşturulan baskılanmış polimerden IL-6'nın başarıyla uzaklaştırılabildiği (desorpsiyonu) ve oluşan boşluklara IL-6'nın yeniden başarıyla adsorplanabildiği gösterildi. Önerilen sensör sistemi ile doğrusal çalışma aralığı 1 pg/mL ile 200 pg/mL olarak elde edildi ve LOD değeri 0,2 pg/mL olarak hesaplandı. Geliştirilen sensörün % 4,3 RSD değeri ile tekrar üretilebilir sonuçlar sergilediği belirlendi. Ayrıca girişim yapabilecek farklı türlere karşı ölçümler tekrarlandı ve diğer türlerin girişim etkisinin %10'un altında olduğu belirlendi. Bu sonuç sensörün IL-6'ya karşı iyi seçicilik özelliği gösterdiğini kanıtladı. Tüm bu sonuçlar yığın polimerizasyon ile geliştirilen sistemin IL-6'nın nicel analizinde başarıyla kullanılabileceğini gösterdi.

TEŞEKKÜR: Bu çalışma Hacettepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından (FÇP-2019-18214) desteklenmiştir. Yazar ayrıca, faydalı yorumları için Dr. Gülçin Bolat ve Dr. Öznur Akbal Vural'a teşekkür eder.

V. KAYNAKÇA

- [1] P. Zarogoulidis, L. Yarmus, K. Darwiche, R. Walter, H. Huang, Z. Li, B. Zaric, K. Tsakiridis and K. Zarogoulidis, "Interleukin-6 cytokine: A multifunctional glycoprotein for cancer," *Immunome Research*, vol. 9, no. 1, pp. 1–11, 2013.
- [2] J. Scheller and S. Rose-John, "Interleukin-6 and its receptor: From bench to bedside," *Medical Microbiology Immunology*, vol. 195, pp. 173–183, 2006.
- [3] Y. Guo, F. Xu, T. Lu, Z. Duan and Z. Zhang, "Interleukin-6 signaling pathway in targeted therapy for cancer," *Cancer Treatment Reviews*, vol. 38, no. 7, pp. 904–910, 2012.
- [4] T. Li and M. Yang, "Electrochemical sensor utilizing ferrocene loaded porous polyelectrolyte nanoparticles as label for the detection of protein biomarker IL-6," *Sensors and Actuators B: Chemical*, vol. 158, no. 1, pp. 361–365, 2011.
- [5] J. Peng, L.-N. Feng, Z.-J. Ren, L.-P. Jiang and J.-J. Zhu, "Synthesis of silver nanoparticle-hollow titanium phosphate sphere hybrid as a label for ultrasensitive electrochemical detection of human interleukin-6," *Small*, vol. 7, no. 20, pp. 2921–2928, 2011.
- [6] G. Cizza, A.H. Marques, F. Eskandari, I.C. Christie, S. Torvik, M.N. Silverman, T.M. Phillips and E.M. Sternberg, "Elevated neuroimmune biomarkers in sweat patches and plasma of premenopausal women with major depressive disorder in remission: the POWER study," *Biological Psychiatry*, vol. 64, no. 10, pp. 907–911, 2008.
- [7] M. Tertiş, B. Ciui, M. Suciu, R. Săndulescu, and C. Cristea, "Label-free electrochemical aptasensor based on gold and polypyrrole nanoparticles for interleukin 6 detection," *Electrochimical Acta*, vol. 258, pp. 1208–1218, 2017.
- [8] H. Wu, Q. Huo, S. Varnum, J. Wang, G. Liu, Z. Nie, J. Liu and Y. Lin, "Dye-doped silica nanoparticle labels/protein microarray for detection of protein biomarkers," *Analyst*, vol. 133, pp. 1550–1555, 2008.
- [9] S.M. Hanash, S.J. Pitteri and V.M. Faca, "Mining the plasma proteome for cancer biomarkers," *Nature*, vol. 452, no. 3, pp. 571–579, 2008.
- [10] R. Malhotra, V. Patel, J. P. Vaque, J.S. Gutkind and J. F. Rusling "Ultrasensitive electrochemical immunosensor for oral cancer biomarker IL-6 using carbon nanotube forest electrodes and multilabel amplification," *Analytical Chemistry*, vol. 82, pp. 3118–3123, 2010.
- [11] Y. Lou, T. He, F. Jiang, J.J. Shi and J.J. Zhu, "A competitive electrochemical immunosensor for the detection of human interleukin-6 based on the electrically heated carbon electrode and silver nanoparticles functionalized labels," *Talanta*, vol. 122, pp. 135–139, 2014.
- [12] P. Chen, M.T. Chung, W. McHugh, R. Nidetz, Y. Li, J. Fu, T.T. Cornell, T.P. Shanley and K. Kurabayashi, "Multiplex serum cytokine immunoassay using nanoplasmonic biosensor microarrays," *ACS Nano*, vol. 9, no. 4, pp. 4173–418, 2015.
- [13] M. Toma and K. Tawa, "Polydopamine thin films as protein linker layer for sensitive detection of Interleukin-6 by surface plasmon enhanced fluorescence spectroscopy," *ACS Applied Materials and Interfaces*, vol. 8, pp. 22032–22038, 2016.
- [14] A.M. Hawkrigde and D.C. Muddiman, "Mass spectrometry-based biomarker discovery: toward

a global proteome index of individuality, ” *Annual Review of Analytical Chemistry*, vol. 2, no.1, pp. 265–277, 2009.

[15] L.S.S. Kumar, X. Wang, J. Hagen, R. Naik, I. Papautsky and J. Heikenfeld, “Label free nano-aptasensor for interleukin-6 in protein-dilute bio fluids such as sweat, ” *Analytical Methods*, vol. 8, pp. 3440–3444, 2016.

[16] J.J. Shi, T.T. He, F. Jiang, E.S. Abdel-Halim and J.J. Zhu, “Ultrasensitive multi-analyte electrochemical immunoassay based on GNR-modified heated screen-printed carbon electrodes and PS@PDA-metal labels for rapid detection of MMP-9 and IL-6, ” *Biosensors and Bioelectronics*, vol. 55, pp. 51–56, 2014.

[17] C. Russell, A.C. Ward, V. Vezza, P. Hoskisson, D. Alcorn, D.P. Steenson and D.K. Corrigan, “Development of a needle shaped microelectrode for electrochemical detection of the sepsis biomarker interleukin-6 (IL-6) in real time, ” *Biosensors and Bioelectronics*, vol. 126, pp. 806–814, 2019.

[18] I. Ojeda, M. Moreno-Guzmán, A. González-Cortés, P. Yáñez-Sedeño and J.M. Pingarrón, “Electrochemical magnetoimmunosensor for the ultrasensitive determination of interleukin-6 in saliva and urine using poly-HRP streptavidin conjugates as labels for signal amplification, ” *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, vol. 406, pp. 6363–6370, 2014.

[19] J. Peng, L.N. Feng, Z.J. Ren, L.P. Jiang and J.J. Zhu, “Synthesis of silver nanoparticle-hollow titanium phosphate sphere hybrid as a label for ultrasensitive electrochemical detection of human interleukin-6, ” *Small*, vol. 7, no. 20, pp. 2921–2928, 2011.

[20] T. Li and M. Yang, “Electrochemical sensor utilizing ferrocene loaded porous polyelectrolyte nanoparticles as label for the detection of protein biomarker IL-6, ” *Sensors and Actuators B: Chemical*, vol. 158, no.1, pp. 361–365, 2011.

[21] M. Tertis, P.I. Leva, D. Bogdan, M. Suci, F. Graur and C. Cristea, “Impedimetric aptasensor for the label-free and selective detection of Interleukin-6 for colorectal cancer screening, ” *Biosensors and Bioelectronics*, vol. 137, pp. 123–132, 2019.

[22] G. Bolat, Y.T. Yaman and S. Abaci, “Molecularly imprinted electrochemical impedance sensor for sensitive dibutyl phthalate (DBP) determination, ” *Sensors and Actuators B: Chemical*, vol. 299, pp. 127000, 2019.

[23] L. Özcan and Y. Şahin, “Determination of paracetamol based on electropolymerized-molecularly imprinted polypyrrole modified pencil graphite electrode, ” *Sensors and Actuators B: Chemical*, vol. 127, pp. 362–369, 2007.

[24] A.A. Lahcen and A. Amine, “Recent Advances in electrochemical sensors based on molecularly imprinted polymers and nanomaterials, ” *Electroanalysis*, vol. 31, pp. 188–201, 2019.

[25] F. Tan, L. Cong, X. Li, Q. Zhao, H. Zhao, X. Quan and J. Chen, “An electrochemical sensor based on molecularly imprinted polypyrrole/graphene quantum dots composite for detection of bisphenol A in water samples, ” *Sensors and Actuators B: Chemical*, vol. 233, pp. 599–606, 2016.

[26] A. Nezhadali, L. Mehri and R. Shadmehri, “Determination of methimazole based on electropolymerized-molecularly imprinted polypyrrole modified pencil graphite sensor, ” *Materials Science and Engineering C*, vol. 85, pp. 225–232, 2018.

[27] J. Xu, Y. Zhang, K. Wu, L. Zhang, S. Ge and J. Yu, “A molecularly imprinted polypyrrole for ultrasensitive voltammetric determination of glyphosate, ” *Microchimica Acta*, vol. 184, pp. 1959–1967, 2017.

- [28] H. Shiigi, H. Yakabe, M. Kishimoto, D. Kijima, Y. Zhang, U. Sree, B.A. Deore and T. Nagaoka, "Molecularly imprinted overoxidized polypyrrole colloids: Promising materials for molecular recognition," *Microchimica Acta*, vol. 143, pp. 155–162, 2003.
- [29] E. Mathieu-Scheers, S. Bouden, C. Grillot, J. Nicolle, F. Warmont, V. Bertagna, B. Cagnon and C. Vautrin-Ul, "Trace anthracene electrochemical detection based on electropolymerized-molecularly imprinted polypyrrole modified glassy carbon electrode," *Journal of Electroanalytical Chemistry*, vol. 848, pp. 113253, 2019.
- [30] X.F. Zhao, F.F. Duan, P.P. Cui, Y.Z. Yang, X.G. Liu and X.L. Hou, "A molecularly-imprinted polymer decorated on graphene oxide for the selective recognition of quercetin," *New Carbon Materials*, vol. 33, no.6, pp. 529–543, 2018.
- [31] S. Sun, M. Zhang, Y. Li and X. He, "A molecularly imprinted polymer with incorporated Graphene oxide for electrochemical determination of quercetin," *Sensors*, vol. 13, no.5, pp. 5493–5506, 2013.
- [32] F. Wang, L. Zhu and J. Zhang, "Electrochemical sensor for levofloxacin based on molecularly imprinted polypyrrole-graphene-gold nanoparticles modified electrode," *Sensors and Actuators: B Chemical*, vol. 192 pp. 42–647, 2014.
- [33] L. Devkota, L.T. Nguyen, T.T. Vu and B. Piro, "Electrochemical determination of tetracycline using AuNP-coated molecularly imprinted overoxidized polypyrrole sensing interface," *Electrochimica Acta*, vol. 270 pp. 535–542, 2018.
- [34] A. Turco, S. Corvaglia, P.P. Pompa and C. Malitesta, "An innovative and simple all electrochemical approach to functionalize electrodes with a carbon nanotubes/polypyrrole molecularly imprinted nanocomposite and its application for sulfamethoxazole analysis," *Journal of Colloid Interface Science*, vol. 599, pp. 676–685, 2021.
- [35] G. Chen, G. Wu, L. Wang, S. Zhang and Z. Su, "Layer-by-layer assembly of single-charged ions with a rigid polyampholyte," *Chemical Communications*, pp. 1741–3, 2008.
- [36] A. Vakurov, C.E. Simpson, C.L. Daly, T.D. Gibson and P.A. Millner, "Acetylcholinesterase-based biosensor electrodes for organophosphate pesticide detection. II. Immobilization and stabilization of acetylcholinesterase," *Biosensors and Bioelectronics*, vol. 20, pp. 2324–9, 2005.
- [37] A. Lakshmanan, S. Zhang and C.A.E. Hauser, "Short self-assembling peptides as building blocks for modern nanodevices," *Trends Biotechnology*, vol. 30, pp. 155–165, 2012.
- [38] J. Castillo-león, K.B. Andersen and W.E. Svendsen, "Self – Assembled peptide nanostructures for biomedical applications : Advantages and challenges", in *Biomaterials Science and Engineering*, Chapter 5, InTech, 2011 pp. 115-138.
- [39] J.J. Castillo, W.E. Svendsen, N. Rozlosnik, P. Escobar, F. Martínez and J. Castillo-León, "Detection of cancer cells using a peptide nanotube-folic acid modified graphene electrode," *Analyst*, vol. 138, pp. 1026–1031, 2013.
- [40] M. Yemini, M. Reches, J. Rishpon and E. Gazit, "Novel electrochemical biosensing platform using self-assembled peptide nanotubes," *Nano Letters*, vol. 5, pp. 183–186, 2005.
- [41] M. Yemini, M. Reches, E. Gazit, J. Rishpon and T. Aviv, "Peptide nanotube-modified electrodes for enzyme - biosensor applications," *Analytical Chemistry*, vol. 77, pp. 5155–5159, 2005.

- [42] E. Chan, J. Choi, M. Lee and K. Koo, "Fabrication of an electrochemical immunosensor with self-assembled peptide nanotubes," *Colloids Surfaces A*, vol. 314, pp. 95–99, 2008.
- [43] G. Jiang, L. Wang and W. Chen, "Studies on the preparation and characterization of gold nanoparticles protected by dendrons," *Materials Letters*, vol. 61, no.1, pp. 278–283, 2007.
- [44] T. Vural, Y.T. Yaman, S. Ozturk, S. Abaci and E.B. Denkbaz, "Electrochemical immunoassay for detection of prostate specific antigen based on peptide nanotube-gold nanoparticle-polyaniline immobilized pencil graphite electrode," *Journal of Colloid and Interface Science*, vol. 510, pp. 318–326, 2018.
- [45] Y.T. Yaman, O.A. Vural, G. Bolat and S. Abaci, "One-pot synthesized gold nanoparticle-peptide nanotube modified disposable sensor for impedimetric recognition of miRNA 410," *Sensors and Actuators B: Chemical*, vol. 320, pp. 128343, 2020.
- [46] S. Almohammed, S. Fedele, B.J. Rodriguez and J.H. Rice, "Aligned diphenylalanine nanotube–silver nanoparticle templates for high-sensitivity surface-enhanced Raman scattering," *Journal of Raman Spectroscopy*, vol. 48, no.12, pp. 1799–1807, 2017.
- [47] W. Haiss, N.T.K. Thanh, J. Aveyard and D.G. Fernig, "Determination of Size and Concentration of Gold Nanoparticles from UV - Vis Spectra," *Analytical Chemistry*, vol. 79, pp. 4215–4221, 2007.
- [48] S.M. Acuña, M.C. Veloso and P.G. Toledo, "Self-Assembly of Diphenylalanine-Based Nanostructures in Water and Electrolyte Solutions," *Journal of Nanomaterials*, vol. 2018, pp. 1–7, 2018.
- [49] G.R. Dhanasekar, Naresh Niranjana Rahul, G. Kannan, Badri Narayanan Raman, and N. Sakthivel, "Green Chemistry Approach for the Synthesis of Gold Nanoparticles Using the Fungus *Alternaria* sp.," *Journal of Microbiological Biotechnology*, vol. 25, pp. 1129–1135, 2015.
- [50] N. Ermiş and N. Tinkiliç, "Preparation of molecularly imprinted polypyrrole modified gold electrode for determination of tyrosine in biological samples," *International Journal of Electrochemical Science*, vol. 13, pp. 2286–2298, 2018.
- [51] Z.O. Uygun and Y. Dilgin, "A novel impedimetric sensor based on molecularly imprinted polypyrrole modified pencil graphite electrode for trace level determination of chlorpyrifos," *Sensors Actuators B: Chemical*, vol. 188, pp. 78–84, 2013.
- [52] C. Johne, R. Fritsch and A. Ignaszak, "Three-Dimensionally Ordered Polypyrrole Electrode: Electrochemical Study on Capacity and Degradation Process," *Electroanalysis*, vol. 26 pp. 1560–1572, 2014.
- [53] S. Dadkhah, E. Ziaei, A. Mehdinia, T. Baradaran Kayyal and A. Jabbari, "A glassy carbon electrode modified with amino-functionalized graphene oxide and molecularly imprinted polymer for electrochemical sensing of bisphenol A," *Microchimica Acta*, vol. 183, pp. 1933–1941, 2016.
- [54] X. Wei, X. Xu, W. Qi, Y. Wu and L. Wang, "Molecularly imprinted polymer/graphene oxide modified glassy carbon electrode for selective detection of sulfanilamide," *Prog. Nat. Sci. Mater. Int.*, vol. 27, pp. 374–379, 2017.
- [55] D. Tonelli, B. Ballarin, L. Guadagnini, A. Mignani and E. Scavetta, "A novel potentiometric sensor for l-ascorbic acid based on molecularly imprinted polypyrrole," *Electrochimica Acta*, vol. 56, pp. 7149–7154, 2011.
- [56] G. Zandomenighi, M.R.H. Krebs, M.G. McCammon and M. Fändrich, "FTIR reveals structural

differences between native β -sheet proteins and amyloid fibrils,” *Protein Science*, vol. 13, pp. 3314–3321, 2009.

[57] N. Su, “Improving electrical conductivity, thermal stability, and solubility of polyaniline-polypyrrole nanocomposite by doping with anionic spherical polyelectrolyte brushes,” *Nanoscale Research Letters*, vol. 10, pp. 4–12, 2015.

[58] N. Su, H.B. Li, S.J. Yuan, S.P. Yi and E.Q. Yin, “Synthesis and characterization of polypyrrole doped with anionic spherical polyelectrolyte brushes,” *Express Polymer Letters*, vol. 6, no. 9, pp. 697–705, 2012.

[59] R.D. Munje, S. Muthukumar, B. Jagannath and S. Prasad, “A new paradigm in sweat based wearable diagnostics biosensors using Room Temperature Ionic Liquids (RTILs),” *Scientific Reports*, vol. 7, pp. 1–12, 2017.

[60] Z. Sepehri, H. Bagheri, E. Ranjbari, M. Amiri-Aref, S. Amidi, M.R. Rouini and Y.H. Ardakani, “Simultaneous electrochemical determination of isoniazid and ethambutol using poly-melamine/electrodeposited gold nanoparticles modified pre-anodized glassy carbon electrode,” *Ionics*, vol. 24, pp. 1253–1263, 2018.

[61] N. Karimian, M. Vagin, M.H.A. Zavar, M. Chamsaz, A.P.F. Turner and A. Tiwari, “An ultrasensitive molecularly-imprinted human cardiac troponin sensor,” *Biosensors and Bioelectronics*, vol. 50, pp. 492–498, 2013.

[62] R. Malhotra, V. Patel, J.P. Vaqu e, J.S. Gutkind and J.F. Rusling, “Ultrasensitive electrochemical immunosensor for oral cancer biomarker IL-6 using carbon nanotube forest electrodes and multilabel amplification,” *Analytical Chemistry*, vol. 82, pp. 3118–3123, 2010.

[63] F. Esfandi, S. Mohammadzadeh Ghobadloo and G. Basati, “Interleukin-6 level in patients with colorectal cancer,” *Cancer Letters*, vol. 244 pp. 76–78, 2006.

[64] J. Gong, X. Miao, H. Wan and D. Song, “Facile synthesis of zirconia nanoparticles-decorated graphene hybrid nanosheets for an enzymeless methyl parathion sensor,” *Sensors and Actuators B: Chemical*, vol. 162 pp. 341–347, 2012.

[65] J.N. Nirmala, A. Kumaravel and M. Chandrasekaran, “Stearic acid modified glassy carbon electrode for electrochemical sensing of parathion and methyl parathion,” *Journal of Applied Electrochemistry*, vol. 40, pp.1571–1574, 2010.

[66] H.L. Tcheumi, I.K. Tonle, E. Ngameni and A. Walcarius, “Electrochemical analysis of methylparathion pesticide by a gemini surfactant-intercalated clay-modified electrode,” *Talanta*, vol. 81 pp. 972–979, 2010.

[67] X. Tian, L. Liu, Y. Li, C. Yang, Z. Zhou, Y. Nie and Y. Wang, “Nonenzymatic electrochemical sensor based on CuO-TiO₂ for sensitive and selective detection of methyl parathion pesticide in ground water,” *Sensors and Actuators B: Chemical*, vol. 256, pp. 135–142, 2018.

[68] L. Zhao, F. Zhao and B. Zeng, “Electrochemical determination of methyl parathion using a molecularly imprinted polymer-ionic liquid-graphene composite film coated electrode,” *Sensors and Actuators B: Chemical*, vol. 176, pp. 818–824, 2013.

[69] N. Gao, C. He, M. Ma, Z. Cai, Y. Zhou, G. Chang, X. Wang and Y. He, “Electrochemical co-deposition synthesis of Au-ZrO₂-graphene nanocomposite for a nonenzymatic methyl parathion sensor,” *Analytica Chimica Acta*, vol. 1072, pp. 25–34, 2019.

- [70] Z. Wang, B. Ma, C. Shen and L.Z. Cheong, "Direct, selective and ultrasensitive electrochemical biosensing of methyl parathion in vegetables using Burkholderia cepacia lipase@MOF nanofibers-based biosensor," *Talanta*, vol. 197, pp. 356–362, 2019.
- [71] G.H.S. Rodrigues, C.M. Miyazaki, R.J.G. Rubira, C.J.L. Constantino and M. Ferreira, "Layer-by-layer films of graphene nanoplatelets and gold nanoparticles for methyl parathion sensing," *ACS Applied Nano Materials*, vol. 2, pp. 1082–1091, 2019.
- [72] J. Gong, L. Wang and L. Zhang, "Electrochemical biosensing of methyl parathion pesticide based on acetylcholinesterase immobilized onto Au-polypyrrole interlaced network-like nanocomposite," *Biosensors and Bioelectronics*, vol. 24, pp. 2285–2288, 2009.
- [73] T.H.V. Kumar and A.K. Sundramoorthy, "Electrochemical biosensor for methyl parathion based on single-walled carbon nanotube/glutaraldehyde crosslinked acetylcholinesterase-wrapped bovine serum albumin nanocomposites," *Analytica Chimica Acta*, vol. 74, pp. 131–141, 2019.
- [74] R. Xue, T.F. Kang, L.P. Lu and S.Y. Cheng, "Immobilization of acetylcholinesterase via biocompatible interface of silk fibroin for detection of organophosphate and carbamate pesticides," *Applied Surface Science*, vol. 258, pp. 6040–6045, 2012.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Orman Suçlarının Mekânsal ve Sosyoekonomik Analizi: Yığılca İlçesi Örneği

Abdurrahman Recep SEZGİN^{a,*}, Yaşar Selman GÜLTEKİN^b

^a Orman Mühendisliği Anabilim Dalı, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

^b Orman Mühendisliği Bölümü, Orman Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

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

DOI: 10.29130/dubited.1048915

ÖZ

Türkiye'deki orman suçları doğası gereği çoğunlukla kırsalda yaşayan orman köylüleri ve tarımla uğraşanlar tarafından işlenmektedir. Orman suçları çeşitli sebeplerle işlenmekte olup, doğal kaynakların ve orman kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi açısından üzerinde durulması gereken önemli bir konudur. Bu çalışmanın amacı, orman suçlarını suç türlerine ve mekânsal özelliklerine göre belirlenmek, bu suçların işlenmesindeki sosyoekonomik sebepleri ortaya koymak ve orman suçlarının önlenmesi için öneriler sunmaktır. Çalışma alanı Türkiye'nin Batı Karadeniz Bölgesinde yer alan Düzce ili, Yığılca ilçesidir. Yığılca ilçesi sınırları aynı zamanda Yığılca Orman İşletme Müdürlüğü (YOİM) sınırlarıdır. Bu nedenle YOİM sınırları içerisinde 2011-2020 yıllarına ait orman suçlarına ilişkin veriler çalışma materyalini oluşturmaktadır. Elde edilen veriler ArcGIS 10.4 programında sayısallaştırılmıştır. Ayrıca suç istatistiklerine ilişkin tanımlayıcı bilgilerle birlikte suç türleri ile sanıkların yaş, eğitim ve meslek faktörleri arasındaki ilişkiler analiz edilmiştir. Elde edilen veriler normal dağılım göstermediği için parametrik olmayan testler uygulanmış olup, istatistiki analizler SPSS 22 programında yapılmıştır. Çalışma bulgularına göre; Yığılca ilçesinde işlenen başlıca orman suçlarının sırasıyla kaçak kesme, işgal-faydalanma ve taksirle orman yangınına sebep olma olduğu tespit edilmiştir. Orman suçlarının mekânsal analiz bulgularına göre, orman suçlarının Melendere ve Kızıltepe Orman İşletme Şefliklerinde yoğunlaştığı belirlenmiştir. Orman suçlarının sosyoekonomik nedenlerinin ise, yapılan eylemlerin suç olduğunu bilmeme (bilgisizlik), inkar ve ekonomik ihtiyaç olduğu anlaşılmaktadır. Çalışma sonucunda Yığılca yöresinde işlenen orman suçlarının önlenmesine yönelik ormancılık teşkilatı yöneticilerine ve karar vericilere öneriler getirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Orman suçları, Orman kanunu, Tarım ve orman, Yığılca

Spatial and Socioeconomic Analysis of Forest Crimes: A Case Study of Yığılca District

ABSTRACT

Forest crimes are generally and naturally committed by forest villagers and agricultural workers living in rural areas in Turkey. Forest crimes are committed for various reasons and it is an important issue that should be emphasized in terms of sustainable forest management and natural resources. The aim of this study is to determine forest crimes according to crime types and spatial characteristics, to reveal the socioeconomic reasons for committing these crimes and to give suggestions for the prevention of forest crimes. The study area is the province of Düzce, Yığılca, located in the Western Black Sea Region of Turkey. The borders of Yığılca district are also the borders of Yığılca Forest Management Directorate (YOİM). For this reason, data on forest crimes for the years 2011-2020 within the boundaries of YOİM constitute the study material. The obtained data were digitized in ArcGIS 10.4 program. In addition, descriptive information on crime statistics, the relationships between crime types and the factors of age, education and occupation of the accused were analyzed together. Since the data

obtained did not show normal distribution, non-parametric tests were applied and statistical analyzes were made in SPSS 22 program. According to the study findings; it has been determined that the main forest crimes committed in Yığılca district are illegal cutting, occupation-utilization and causing forest fires by negligence, respectively. According to the spatial analysis findings of forest crimes, it has been determined that forest crimes are concentrated in Melendere and Kızıltepe Forest Operation Chiefs. It is understood that the socio-economic reasons of forest crimes are ignorance (ignorance), denial and economic need. As a result of the study, suggestions were made to forestry managers and decision makers regarding the prevention of forest crimes committed in Yığılca region.

Keywords: Forest crimes, Forest law, Agriculture and forest, Yığılca

I. GİRİŞ

Türkiye'nin orman varlığı son yıllarda artış göstermesine rağmen kaçak kesim, işgal faydalanma, yangın, otlama gibi çeşitli tehditler ve sosyal baskılar altında bulunmaktadır. Bu tehditlerin ve sosyal baskıların kaynağını çoğunlukla insanlar oluşturmaktadır [1]. İnsanoğlu varlığından itibaren doğal kaynakları ve ormanları ihtiyaçları doğrultusunda kullanmışlardır. Süreç içerisinde bu kaynakların kullanımı belirlenen usul ve esaslara göre yapılması mevzuat olarak tanımlanan çerçevede değerlendirilmiştir. Mevzuatta “*isnat kabiliyetine sahip bir şahsın kusurlu iradesinin yarattığı icrai ve ihmali bir hareketle işlediği, kanunda yazılı tipe uygun, hukuka aykırı ve yaptırım olarak bir cezanın uygulanmasını gerektiren bir fiil*” suç olarak tanımlanmıştır. Orman alanlarından yararlanma usulleri de başta anayasa olmak üzere 6831 sayılı orman kanunu ve ilgili mevzuatta yer almaktadır. Ormanlara yönelik yasa dışı müdahalelerinin başlıcaları; aşırı ve usulsüz yararlanmalar, kaçak orman emvali nakilleri, tarım ve yerleşim alanı kazanmaya yönelik açma-yerleşme fiilleri ile kontrolsüz ve aşırı hayvan otlatmacılığı teşkil etmektedir [2].

Orman suçlarının yoğun olduğu alanlar başta olmak üzere hassas korunan alanlarda koruma ekiplerinin oluşturulması, ekiplere araç ve orman muhafaza memuru takviye edilerek koruma önlemlerinin etkinleştirilmesi, orman alanlarındaki kaçak yapı ve tesislerin yıktırılması, köy tüzel kişilikleri ile işbirliği ve protokoller yapılarak hem civardaki ormanların korunması, orman köylülerine kaynak aktarımı yapılarak ormanlara halkın sahip çıkmasının sağlanması yönündeki çalışmalar Orman Genel Müdürlüğü (OGM) tarafından sürdürülmektedir [3]. Orman köylülerinin orman suçlarını işleminin arka planında bir takım sosyoekonomik ve kültürel nedenlerin olduğu bilinmektedir. Bu sebeple orman suçlarının sosyoekonomik nedenlerinin belirlenerek sürdürülebilir orman yönetimi için gerekli olan tedbirlerin alınabilmesi açısından bu çalışmanın yapılmasının bir gereklilik olduğu düşünülmektedir.

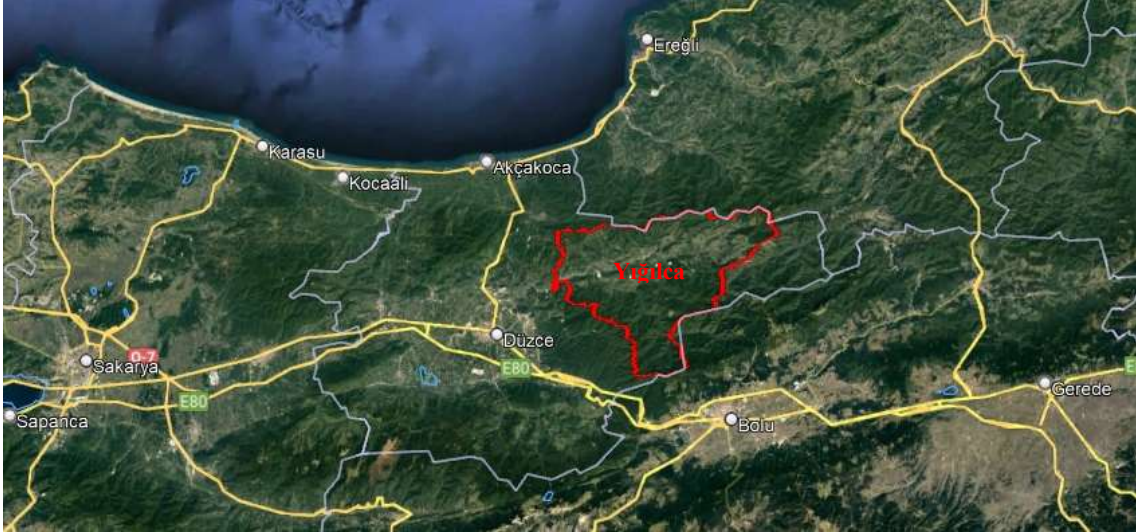
Bu çalışmanın amacı; orman alanlarında gerçekleştirilen ve mevzuatta suç olarak tanımlanan faaliyetlerin sınıflandırılarak; Yığılca ilçesi örneğinde orman suçlarının işlenmesindeki sosyoekonomik nedenlere ilişkin değerlendirmeler yapmak, orman suçlarının yoğunlaştığı alanları tanımlamak ve orman suçlarının önlenmesine yönelik alınması gereken tedbirlerle birlikte yöneticilere ve karar vericilere öneriler getirmektir.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

Bolu Orman Bölge Müdürlüğüne (BOBM) bağlı Yığılca Orman İşletme Müdürlüğü (YOİM) sınırlarında yer alan çalışma alanı, Batı Karadeniz bölgesinde yer almaktadır. Çalışmanın kapsamı ise, Düzce iline bağlı olan Yığılca ilçesindeki orman suçlarıdır. Yığılca ilçesindeki köylerin tamamı orman köyü statüsünde olmakla birlikte ilçe sınırlarını kapsayan YOİM ve bünyesinde 8 Orman İşletme Şefliği (OİŞ) bulunmaktadır (Şekil 1-2).

Çalışma kapsamında YOİM’de araştırma yapılmış, 2011-2020 yıllarına ait işlenmiş, adli mercilere yansımış, devam eden ve sonuçlanan orman suçları dosyaları; çeşitleri, suç işleyenler tarafından beyan

edilen suç işleme nedenleri ve işlenmiş suçlara verilen cezalar değerlendirilerek hem mekânsal olarak hem de sosyoekonomik yönden analiz edilmiştir (Tablo 1). Elde edilen veriler, orman suçlarının işlendiği yıllar, suç çeşitleri, suçlara ilişkin koordinatlar ve verilen cezalar olarak ele alınmış, belirli aralıklarla Microsoft Excel programında grafikler ve tablolar şeklinde sayısalştırılmıştır. Ayrıca sayısal haritalama işlemlerinde Netcad 5.1 ve ArcGIS 10.4 programlarından faydalanılmış, orman suç dosyalarından temin edilen veriler YOİM'in farklı orman işletme şefliklerinden alınan orman haritalarına işlenerek yıl, köy, suç çeşidi, konum şekline dönüştürülmüştür. Orman suçlarının sosyoekonomik nedenlerinin belirlenmesi amacıyla doküman analizi yöntemi kullanılmıştır [4-6]. Dava dosyalarında orman suçlarına ilişkin sanıkların verdikleri ifadelerden suça neden olan faktörler temalara ayrılmış ve kategorize edilerek listelenmiştir.



Şekil 1. Yığılca ilçesinin konumu [7].



Şekil 2. Araştırma alanı [8].

Çalışma kapsamında nicel ve nitel analiz yöntemlerinden yararlanılmıştır. YOİM'den elde edilen verilere 2011-2020 yıllarına ilişkin tanımlayıcı istatistikler, ikili gruplar arasındaki farklılıkların tespitine yönelik t testi, ki kare testi, ikiden fazla gruplardaki gruplar arası farklılıkların belirlenmesinde

ise Tek Yönlü Varyans Analizi (ANOVA) uygulanmıştır. Verilerin normal dağılım göstermediği durumlarda ise parametrik olmayan testler uygulanmaktadır [9-12]. Çalışma kapsamında verilere normallik testleri uygulanmış ve verilerin normal dağılım göstermediği tespit edilerek parametrik olmayan testlerin uygulanmasına karar verilmiştir.

Çalışmanın nitel analizleri kapsamında Yığılca ilçesi sınırları içerisinde orman ile ilişkili olan YOİM çalışanları, emekli OİM çalışanları, adliyedeki hakim ve savcılar, avukatlar, muhtarlar, orman kalkındırma kooperatif başkanı ve üyeleri, orman köylüleri ile sözlü mülakat yöntemi şeklinde orman suçlarının sosyoekonomik nedenlerinin belirlenmesine ve işlenen bu suçların önlenmesine yönelik yapılandırılmamış 10-15 dakika süreli yüz yüze görüşmeler yapılmış ve elde edilen bilgiler özetlenerek yorumlanmıştır.

Araştırmanın başlıca hipotezleri aşağıda belirtilmektedir:

H₁: Orman suçlarının türü ile suçların işlendiği orman işletme şeflikleri arasında anlamlı farklılık vardır.

H₂: Suç işleyenlerin meslekleri ile orman suçlarının türü arasında anlamlı farklılık vardır.

H₃: Suç işleyenlerin eğitim durumu ile orman suçlarının türü arasında anlamlı farklılık vardır.

H₄: Suç işleyenlerin yaş grupları ile orman suçlarının türü arasında anlamlı farklılık vardır.

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışma kapsamında elde edilen verilere göre; Yığılca İlçesinde 2011-2020 yılları arasında toplam mahkemelerce yapılan kovuşturma sayısı 2.770 olup bu suçların 394 adedini orman suçları oluşturmaktadır. Orman suçlarının Yığılca İlçesinde 10 yıllık zaman diliminde işlenme oranı ortalama %15'dir. İşlenen orman suçlarının 218 adedi işgal faydalanma, 134 adedi kesme, 29 adedi orman yangınına neden olma (kasten ve taksirle birlikte) ve 13 adedi ise kaçak orman emvali nakletme veya bulundurma olduğu görülmektedir (Tablo 1).

Tablo 1. YOİM'de 2011-2020 yılları arasında işlenen orman suçları [8].

Yıllar	Kesme	İşgal Faydalanma	Orman Yangınına Neden Olma (Kasten+Taksirle)	Kaçak Orman Emvali Nakletme veya Bulundurma	Toplam
2011	9	65	3	3	80
2012	5	8	0	1	14
2013	8	9	3	0	20
2014	11	12	4	0	27
2015	12	9	2	3	26
2016	13	17	3	0	33
2017	11	27	0	4	42
2018	27	31	1	0	59
2019	21	22	6	0	49
2020	17	18	7	2	44
Toplam	134	218	29	13	394

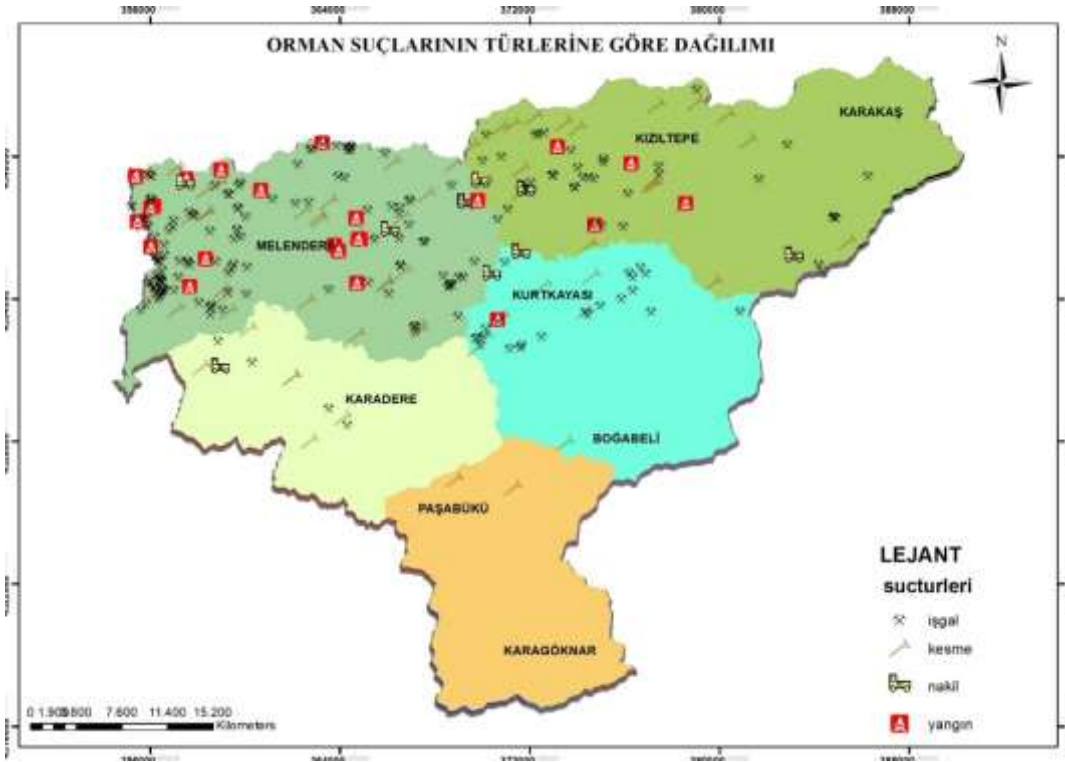
Tablo 1'e göre Yığılca ilçesinde başlıca 4 orman suçu türü bulunmakta ise de bu suçlardan bazıları birlikte işlenmiştir. Örneğin, kesme ve işgal faydalanma suçu, kesme ve kaçak nakil suçu ve ayrıca orman yakma ve işgal faydalanma suçlarının birlikte işlendiği görülmüştür. Bu nedenle de 10 yılda açılan dosya sayısı 320, fakat birlikte işlenen suçlar olduğundan toplam işlenen suç sayısı 394 olmuştur. Suçlar arasında göze çarparak şekilde en çok işlenen suç 218 ile işgal faydalanma ve 134 ile kesme suçudur.

2012 yılından 2019 yılına kadar orman suçları sayı bakımından artış göstermiştir. 2020 yılında dünya genelinde yaygınlaşan Covid-19 salgını sebebiyle uygulanan sokağa çıkma yasakları nedeniyle bu sayının düşüş eğilimine geçtiği söylenebilir. Ayrıca, 2011 yılında orman suçu sayısının diğer yıllara göre çok olmasının nedeni; 2009-2011 yılları arasında Yığılca ilçesinin tüm köylerinde kadastro çalışmalarının yapılmış olması ile açıklanabilir. Yapılan kadastro çalışmaları sonrasında orman ve tarım arazileri netleşmiş ve böylelikle işgal alanları kesin olarak ortaya çıkmaya başlamıştır.

Yığılca ilçesinde Kabahatler Kanunu'na giren ve idari para cezası kesilmesi gereken otlatma ve kendi bahçesinden izinsiz ağaç kesme gibi kabahatler sayısı çok az olduğundan tez çalışması kapsamında istatistiki değerlendirmeye alınmamıştır. Benzer şekilde kaçak avlanma suçu ile ilgili Düzce Doğa Koruma ve Milli Parklar Şube Müdürlüğünden Yığılca ilçesinde işlenen kaçak avlanma suçu sayısı yok denecek kadar az olduğundan araştırma kapsamına dahil edilmemiştir.

Kayıtlara geçen 394 suç bakımından 45 suç için kovuşturma ve soruşturma işlemleri devam etmektedir. Adli mercilere yansıyan suç kayıtlarından 66 adedi için delil yetersizliği veya suçun işlenmemiş olması nedeniyle beraat ve takipsizlik kararı alınmıştır. Kasten orman yakma suçu 3 adet olup, Ağır Ceza Mahkemeleri görevine girdiğinden ve Yığılca ilçesinde Ağır Ceza Mahkemesi bulunmadığından en yakın Ağır Ceza Mahkemesi'nin bulunduğu Düzce iline gönderilmiştir. 17 suçun şüphelisi bulunmadığından dosyalar faili meçhul araştırmaları her yıl yapılmak üzere daimî arama kararına alınmışlardır. 263 suç kaydı hakkında ise kovuşturma makamınca cezalar verilerek dosyalar kesinleştirilmiş ve cezaların infazı tamamlanmıştır [8].

Yığılca ilçesi sınırları içerisinde 2011-2020 yılları arasında kesilen ağaç sayısının 2.341, kaçak nakil veya bulundurma suçu kapsamında işlenen suç miktarı ise 165 olduğu belirlenmiştir. Aynı yıllar arasında 182.403 m² orman sahasının yandığı ve 741.193 m² orman sahasında işgal suçunun işlendiği tespit edilmiştir (Şekil 3) [8].



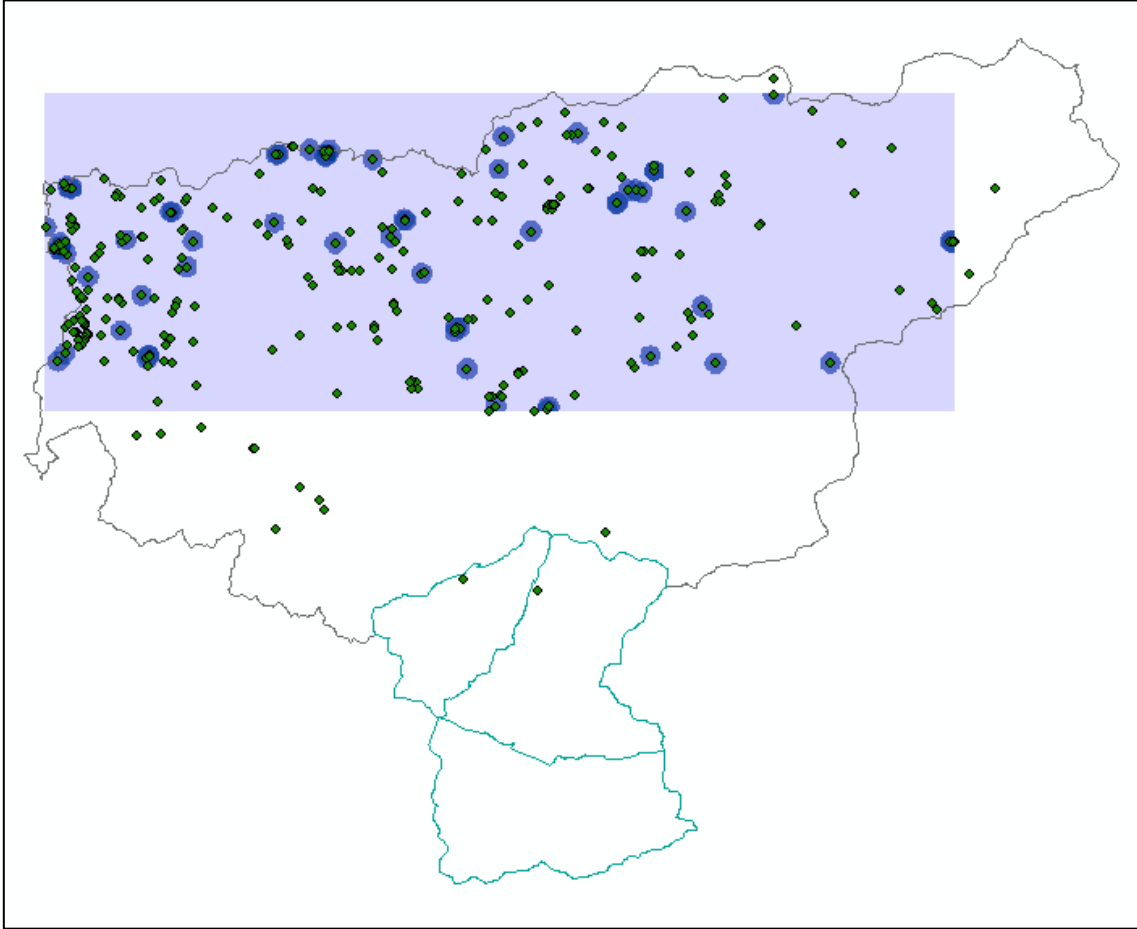
Şekil 3. Yığılca ilçesi orman suçlarının türlerine ve işletme şefliklerine göre durumu (2011-2020).

Şekil 3'te görüldüğü gibi Karagöknar OİŞ'de suç kaydına rastlanılmamıştır. Paşabükü OİŞ'de ise işlenen 2 adet suç kesme suçudur. Karadere OİŞ'de en çok işlenen suçlar işgal – faydalanma ve kesme

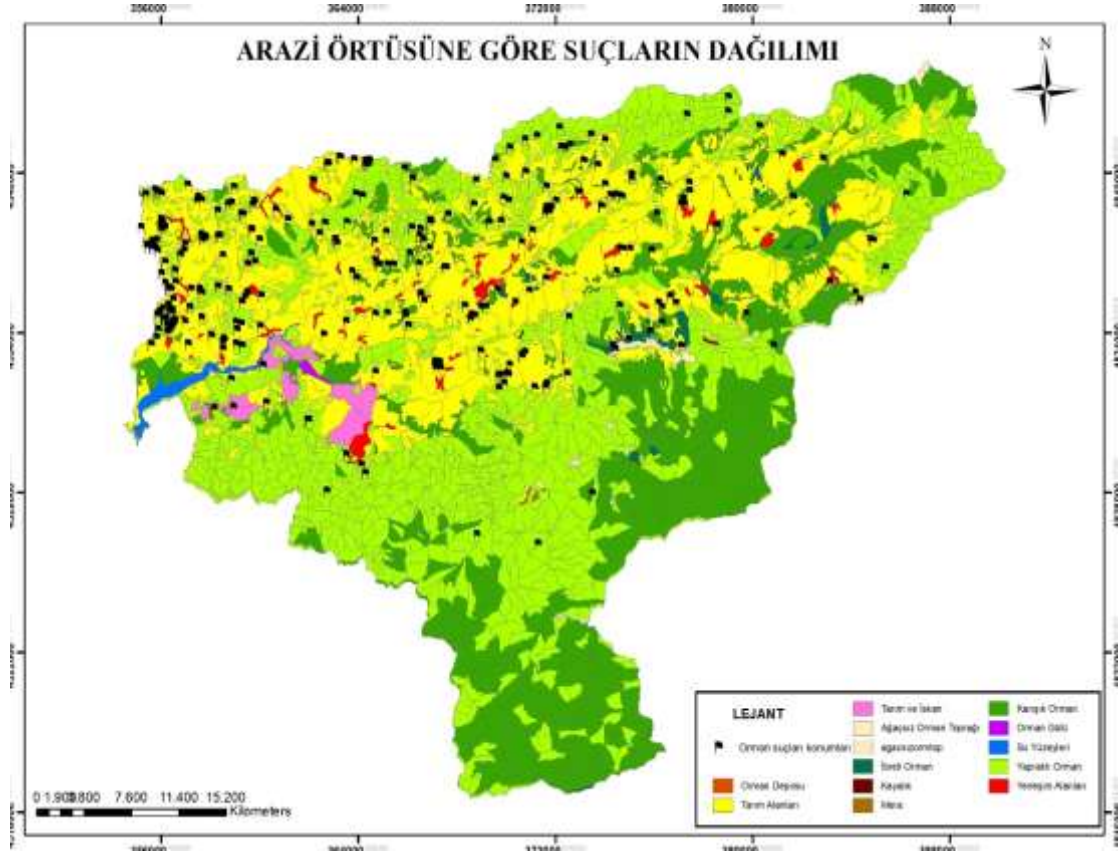
olarak belirlenmiştir. Boğabeli OİŞ’de suç yoğunluğu işgal-faydalanma suçuna yönelik olmuştur. Kaçak nakil/bulundurma ve yangın suçları yoğunluk olarak Melendere ve Kızıltepe OİŞ’de işlenmiştir. Karakaş OİŞ’de işgal suçu ön plana çıkmaktadır. Melendere ve Kızıltepe OİŞ en çok suç işlenen şeflikler olup tüm suçlar bu şefliklerde mevcuttur.

Mekânsal analize ilişkin bulguları elde etmede Netcad 5.1 ve ArcGIS 10.4 programları kullanılarak suçların işlendiği yerlerin koordinatları memleket ve OİŞ’lere ilişkin meşcere haritalarına aktarılmıştır. Yığılca ilçesindeki orman suçlarının dağılımına ilişkin yoğunluk analizi haritası Şekil 4’te verilmiştir. Yığılca ilçesinde 2011-2020 yılları arası gerçekleşen orman suçlarına ilişkin yoğunluk analizine göre suçların, ilçenin özellikle kuzey batı ve kuzeyinde yoğunlaştığı anlaşılmaktadır. Özellikle kuzey batı tarafında suç yoğunluğu diğer bölgelere göre fazlalık göstermektedir.

Arazi örtüsü ile orman suçları arasındaki mekânsal ilişkiyi gösteren harita ise Şekil 5’te görülmektedir.



Şekil 4. Yığılca ilçesi sınırları içerisindeki orman suçlarına ilişkin yoğunluk analizi (2011-2020).



Şekil 5. Yığılca ilçesi arazi örtüsüne göre orman suçlarının durumu (2011-2020).

Arazi örtüsüne göre suç dağılımını gösteren Şekil 5 incelendiğinde; suçların özellikle sarı renkle belirtilen tarım alanları ve kırmızı renkle belirlen yerleşim alanları çevresinde yoğunlaştığı, tarım alanlarının yeşil renkle gösterilen orman alanlarına uzak olan karışık orman yoğunluğu bulunan bölgelerde suç yoğunluğunun azaldığı görülmektedir. Ayrıca yine arazinin örtüsünün orman alanlarının üst ve alt şeklinde parçalanmasıyla ilişkili olduğu görülmekte olup orman bütünlüğü olan ve yeşil renkle gösterilen yerlerde suç yoğunluğunun düştüğü tespit edilmektedir (Şekil 5). Nitekim, Gümüş [13] çalışmasında açma suçlarının çoğunlukla ormana bitişik karakterdeki köylerde işlendiğini göstererek mevcut çalışmayı desteklemektedir. Dolayısıyla H₁ hipotezi kabul edilmiştir.

Meslek gruplarına göre orman suçlarının 2011-2020 yılları arası dağılımı Tablo 2’de verilmiştir. Tablo 2 incelendiğinde meslek gruplarında en çok suç işleyen meslek grubu 160 sanık/şüpheli ile çiftçilerdir. Diğer meslek grupları da sayıca fazla görünse de çok çeşitli meslek grupları (emekli, çaycı, esnaf, lokantacı, mühendis, şoför, engelli, gazi, öğrenci gibi) olması nedeniyle kategorize edilememiştir. Ayrıca ev hanımlarının da sayısı dikkati çekmektedir. Çiftçilerin fazlalığının sebebi işgal ve faydalanma suçlarında orman kenarı ve sınırında bulunan tapulu arazi alanlarını genişletmek olarak değerlendirilebilirken, ev hanımlarının fazlalığının sebebi ise eşleri veya çocuklarıyla birlikte fındık tarımı yapmaları ve büyük kısmının suçu üstlenmeleri ile açıklanabilir. Toplam suç sayısı ile meslek gruplarındaki sayı farklılığı da bir suçu birden fazla kişinin işlemiş olmasından kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla H₂ hipotezi kabul edilmiştir.

Tablo 2. Orman suçlarının 2011-2020 yılları arası meslek gruplarına göre dağılımı.

Yıllar	Meslek Grubu						Toplam
	Çiftçi	İşçi	Ev Hanımı	İşsiz	Faili Meçhul	Diğer	
2011	29	11	15	4	0	25	84
2012	8	3	1	0	0	2	14
2013	7	2	4	2	2	4	21
2014	11	3	4	0	1	2	21
2015	11	3	8	0	1	5	28
2016	6	4	2	2	1	11	26
2017	37	7	7	4	1	16	72
2018	17	3	8	5	1	19	53
2019	18	4	11	1	6	16	56
2020	16	3	6	0	3	16	44
Toplam	160	43	66	18	16	116	419

Tablo 3. Meslek gruplarına göre uygulanan ki-kare testi bulguları.

	Değeri	Serbestlik Derecesi	2 Bağımsız Örneklem Testi
Ki-Kare	62.020 ^a	21	.000
Olabilirlik Oranı	56.374	21	.000
Doğrusal İlişkilendirme	2.028	1	.154
Geçerlilik Sayısı	315		

Eğitim durumlarına göre orman suçlarının 2011-2020 yılları arası dağılımı Tablo 4’te verilmiştir.

Tablo 4. Orman suçlarının 2011-2020 yılları arası eğitim durumlarına göre dağılımı.

Yıllar	Öğrenim Durumu						Toplam
	Okuma Yazma Bilmeyen	İlkokul	Ortaokul	Lise	Ön lisans	Lisans	
2011	13	52	7	11	0	1	84
2012	1	11	0	2	0	0	14
2013	1	20	0	0	0	0	21
2014	3	17	0	1	0	0	21
2015	5	22	0	1	0	0	28
2016	0	17	2	5	2	0	26
2017	4	53	4	7	1	3	72
2018	3	41	3	4	2	0	53
2019	6	40	2	7	0	1	56
2020	4	27	4	7	0	2	44
Toplam	40	300	22	45	5	7	419

Tablo 4’te en çok orman suçunun 300 suç ile ilkököl mezunlarının işlediği görülmektedir. Eğitim düzeyinin düşüklüğünün orman suçları üzerindeki olumsuz etkisi çalışma sonuçları ile ortaya konmaktadır. Okuma yazma bilmeyenlerin sayısının az olma nedeni okuma yazma bilme yaşı göz önüne

alındığında artık suç işleyemeyecek yaşta yaşlı insanların olması ve arazilerin eski açmalar olmasından kaynaklandığı söylenebilir. Yıllar itibarı ile okuma yazma bilmeyenlerin suç işleme sayılarında azalma olduğu görülmektedir. Lise mezunu bireylerin de orman bilinci yönünde eğitim olarak eksik bırakılmış olması hususunu ortaya koymaktadır. Fakat lise mezunu bireylerin yıllar itibarı ile orman suçuna eğilimleri azalmıştır. İlkokul mezunu insanların suç işleme meyilleri olarak yıllar itibarı ile bir anlam görülmemektedir. Toplam suç sayısı ile öğrenim durumu arasındaki sayı farklılığı da bir suç birden fazla kişinin işlemiş olmasından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle H₃ hipotezi kabul edilmiştir.

Tablo 5. Orman suçlarının 2011-2020 yılları arası yaş gruplarına göre dağılımı.

Yıllar	Yaş Aralığı			Toplam
	18-35	36-55	56 ve Üstü	
2011	9	48	27	84
2012	3	6	5	14
2013	2	8	6	16
2014	2	12	5	19
2015	1	16	11	28
2016	3	17	5	25
2017	12	36	22	70
2018	5	28	19	52
2019	8	24	19	51
2020	7	19	18	44
Toplam	52	214	137	403

Tablo 5’da görüldüğü gibi en çok suç işleme sayısı 214 suç ile 36-55 ve 137 suç ile 56 üstü yaş aralığıdır. 18-35 yaş aralığı insanların orman suçu işleme meyili azalmış, fakat 36 ve üstü yaş insanların suç işleme sayılarının fazlalığının nedeninin; alınan beyanlarından anlaşıldığı üzere maddi durumlarının iyi olmadığı, ekonomik ihtiyaçları, tarımdan başka gelirlerinin olmaması ve bugüne orman suçları hakkında edindikleri tecrübe ve cezadan korkmamaları olduğu ile açıklanabilir. Toplam suç sayısı ile yaş aralığı arasındaki sayı farklılığı da bir suç birden fazla kişinin işlemiş olması ve bir kısım sanık/şüphelilerin yargılama aşamasında vefat etmiş olmalarından kaynaklanmaktadır.

Tablo 6. Yaş gruplarına göre uygulanan ki-kare testi bulguları.

	Değeri	Serbestlik Derecesi	2 Bağımsız Örneklem Testi
Ki-Kare	55.071 ^a	9	.000**
Olabilirlik Oranı	50.688	9	.000**
Doğrusal İlişkilendirme	.909	1	.340
Geçerlilik Sayısı	317		

* p<0,05 ve ** p<0,001 düzeyinde anlamlıdır.

Yaş aralığı grubuna göre işlenen suç türü sayılarının arasında anlamlı fark bulunmaktadır (Tablo 6). 36-55 yaş arası kişilerin 117 işgal faydalanma, 26 kesme suçu işlediği 56 ve üzeri yaşı bulunan kişilerin 68 işgal faydalanma ve 18 kesme suçu işlediği tespit edildiğinden diğer yaş gruplarından farklı oldukları anlaşılmaktadır. Diğer yaş gruplarının daha az sayıda suç işlediği tespit edilmektedir. Bu nedenle H₄ hipotezi kabul edilmiştir.

Çalışma kapsamında dava dosyalarında yer alan vatandaşların beyanları okunarak suç işleme nedenleri sınıflandırılarak aşağıda açıklanmıştır.

İşgal ve faydalanma suçunda çoğu sanık arazinin büyüklerinden kalması ve bu nedenle orman olduğunu bilmemesi, başkasından tapulu zannederek bahçe satın alması, yeri 2B kapsamında sanması veya 2B

kapsamına alınacağını düşünmesi, suç olduğunu bilmeyerek tarla/bahçe yolu açması ya da genişletmesi, ekonomik durumunun kötü olması gibi beyanlar verilmiştir. Suçu kabul eden ve pişman olan sanıklar da olmuştur. Bir kısmı orman zararını gidermeyi kabul ederek zararları dava sürecinde gidermiştir. Kimi sanıklar maddi zararı maddi durumu olmadığı için ödemeyi kabul etmemişlerdir. Şüpheli veya sanıkların bir kısmı suçu inkar etmiş, bir kısmı ise gerçekten suç işlememiş olduklarından ya da delil yetersizliğinden haklarında beraat veya takipsizlik kararı verilmiştir. Ayrıca suçu inkar eden ve maddi zararı gidermeyi kabul etmeyerek ceza alan sanıklar hakkında orman idaresinde icrai yollara gidilerek zararın tazmini yollarına kanuni olarak başvurulmuştur. Tutulan suç tutanaklarının bir kısmı ise şüpheli şahıs veya şahıslar tespit edilemediğinden dosyalar zamanaşımı bürosuna devredilmiştir.

Kesme suçunda çoğu sanık devrik ağaçların alınmasının ya da kuru dalların veya yıkılmaya müsait ağaçların kesilmesinin suç olmadığını bilmediğini, bazı sanıklar maddi durumları iyi olmadığı için yakacak ihtiyacını karşılamak amacıyla ağaç kestiklerini beyan etmişlerdir. Suçu kabul eden ve pişman olan sanıklar da olmuştur. Bir kısmı orman zararını gidermeyi kabul ederek zararları dava sürecinde gidermiştir. Kimi sanıklar maddi zararı maddi durumu olmadığı için ödemeyi kabul etmemişlerdir. Şüpheli veya sanıkların bir kısmı suçu inkar etmiş, bir kısmı ise gerçekten suç işlememiş olduklarından ya da delil yetersizliğinden haklarında beraat veya takipsizlik kararı verilmiştir. Ayrıca suçu inkar eden ve maddi zararı gidermeyi kabul etmeyerek ceza alan sanıklar hakkında orman idaresinde icrai yollara gidilerek zararın tazmini yollarına kanuni olarak başvurulmuştur. Tutulan suç tutanaklarının bir kısmı ise şüpheli şahıs veya şahıslar tespit edilemediğinden dosyalar zamanaşımı bürosuna devredilmiştir. Çalışkan ve ark. [14] çalışmalarında kaçak kesme suçlarında kırsal fakirliğin en önemli sorun olduğunu, bu sorunun çözümüne odaklanılmasının kaçak kesme suçu başta olmak üzere diğer orman suçlarının azaltılmasına da katkı sağlayacağını belirtmişlerdir. Benzer şekilde Erdönmez ve Yurdakul Erol [15] çalışmalarında orman suçlarına verilerin cezaların yetersizliğinin etkinliğinin uzun vadeli araştırmalarla tartışılabileceğine işaret etmektedir.

Taksirle/kasten orman yangınına neden olma suçunda sanık veya şüphelilerin büyük kısmı tedbirsizliklerinden ötürü yangının çıktığını kabul etmişler, bir kısım sanık veya şüpheliler suçu inkar etmiş, bir kısım sanık veya şüpheliler suçu kabul etmişlerdir. Bir kısmı orman zararını gidermeyi kabul ederek zararları dava sürecinde gidermiştir. Kimi sanıklar maddi zararı maddi durumu olmadığı için ödemeyi kabul etmemişlerdir. Şüpheli veya sanıkların bir kısmı suçu inkar etmiş, bir kısmı ise gerçekten suç işlememiş olduklarından ya da delil yetersizliğinden haklarında beraat veya takipsizlik kararı verilmiştir. Ayrıca suçu inkar eden ve maddi zararı gidermeyi kabul etmeyerek ceza alan sanıklar hakkında Orman İdaresinde icrai yollara gidilerek zararın tazmini yollarına kanuni olarak başvurulmuştur. Tutulan suç tutanaklarının bir kısmı ise şüpheli şahıs veya şahıslar tespit edilemediğinden dosyalar zamanaşımı bürosuna devredilmiştir.

Kaçak orman emvali nakletme veya bulundurma suçunda şüpheli veya sanıkların büyük bir kısmı nakliye tezkerelerinin daha sonra verileceğini zannettiklerini beyan etmişlerdir. Bir kısmı suçu kabul etmiş, bir kısmı suçu inkar etmiştir. Bir kısmı gerçekten suçsuz olduğundan hakkında takipsizlik veya beraat kararı verilmiştir. Bu konuda Ünal ve ark. [16] çalışmalarında orman suçlarının nedenleri arasında eğitimin yanında bilgi ve bilinç seviyesinin düşük olmasından kaynaklandığını ortaya koymuşlardır. Bu tez çalışması da farklı coğrafyalarda da olsa eğitim, bilgi ve bilinç eksikliğinin orman suçlarına ilişkin benzer bulgulara ve sonuçlara ulaşıldığını göstermektedir.

Çalışmada kesme ve nakil/bulundurma suçunun nedenleri arasında bulunan “ihtiyaç/ekonomik nedenler” faktörü yer almaktadır. Bu konuda Ayaz ve İnanç [17] “Kesme ve bulundurma suçlarının büyük bir çoğunluğu koruya tahvil işletme sınıfı olmayan ya da üretim yapılmayan köylerde zati yakacak ihtiyacı verilmemesi sebebiyle köylülerin kışlık yakacak ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla eylemde bulunmalarından kaynaklanmaktadır.” şeklinde çalışma sonucuna rastlanılmaktadır. Yine aynı çalışmada “Bölgemizde sıkça görülen açma suçlarının ve açma amacı ile yapılan kesme suçlarının en büyük nedenlerinden biri 5304 sayılı Kadastro Kanununa göre arazi kadastrosu yapılan köylerde orman örtüsü kaldırılan arazilerin suçu işleyen yani diğer bir deyimle zilyetliği eline alan kişilere 2/B sahası olarak verileceği yönündeki yanlış yorumlamaya dayalı beklentisiyle eylemler gerçekleştirilmesidir ve yine yöre iklimine uygun olan bölümlerde (Erbaa vb.) fındık fiyatlarının cazip olduğu düşüncesi ile

findık dikecek arazi kazanma eylemleri açma ve kesme suçlarının oranının yüksek olmasında etkili olmaktadır.” denilerek çalışmada işgal faydalanma suç nedenlerinden biri olan 2B faktörü de birbirini destekler niteliktedir.

Yapılan doküman analizi ve istatistiksel analizler dışında hukukçular, orman işletme çalışanları ve yörede görev yapmış orman teşkilatından emekli memurlar, muhtarlar, çiftçiler, orman köylüleri ve köy kalkındırma kooperatifleri başkanları ile nitel analiz yöntemlerinden biri olan sözlü mülakatlar yoluyla bilgi elde edilmiştir. Elde edilen bilgiler başlıklar halinde yorumlanmıştır.

Öncelikle tüm yapılan sözlü görüşmelerde orman suçlarının işlenmesindeki temel nedenlerin ekonomik nedenlerden ve eğitimsizlikten dolayı olduğu hususunda genel bir fikir birliğinin olduğu söylenebilir. Orman suçlarının azaltılması veya tamamen ortadan kaldırılması hususunda hukukçular ile yapılan görüşmelerden elde edilen bilgilere göre;

-Teknolojik imkanların kullanılarak ormanların belli bölgelerine termal kamera yerleştirilmesi, “uçangöz” kullanılması, cezaların verildiği fakat cezaların kesinleşmesi sürecinin bitmesine kadar insanların işgal ve faydalanmadan devam ettiğinden dolayı müsadere kararının uygulamasının yavaş olması nedeniyle müsadere işlemlerinin etkin ve hızlı şekilde yapılması,

- Orman muhafaza memurlarının denetim faaliyetlerini sık ve düzgün bir şekilde yapmaları, suçtan caydırıcılık olması bakımından Hükümün Açıklanmasının Geri Bırakılması (HAGB) maddelerinin orman suçuna uygulanmasının kaldırılması,

- Ormanların ekonomik olarak işletilmesine kooperatifler aracılığıyla köylünün daha etkin dahil edilmesi ve sürecin denetlenmesi (örneğin; Balköy, tıbbi aromatik bitkiler) sağlanarak köylünün ekonomik durumunun iyileştirilmesi ve ormandan suç işlemeden gelir elde edebileceklerinin fark ettirilmesi, yine müsadere kararlarının daha açıklayıcı olması, müsadere kararında müsadere edilen emvalin imha mı edileceği yoksa işletilerek hazine kasasına gelir mi kaydedileceği hususunun netleştirilmesi, yanan, işgal edilen ve müsadere edilen alanlarda planlama, bakım ve yenileme (fidanlama vb.) işlemlerinin hızlıca yapılması, İstinaf ve Yargıtay’a itirazın giden dosyalarda verilen karar sürecinin hızlandırılması, zamanaşımına uğrayan dosyaların çoğunluğu ve verilen karar süresi dikkate alındığında suçun cezası kalması veya suça özendirilmesi hususu doğacağından bu hususa dikkat edilmesi, orman suçlarının tespitinde ana unsurun ‘ihbar’ ögesi olduğu ve bu nedenle araştırmaya dayalı koruma faaliyetlerine önem verilmesi,

- Özellikle findık bahçeleri dikilerek yapılan açma ve işgal suçunda verilen müsadere kararlarında findık bahçelerinin işlenmesi hususunun Orman İdaresinin bünyesine alınarak vatandaşın caydırıcılığa yönlendirilmesi, sürekli denetime çıkılarak araçlara ve ekipmanlara yapılan kaynak aktarımının teknolojik ekipmanlara kaydırılması ve bu suretle foto-kapan, uçangöz, kamera gibi sistemlerinin kullanımının yaygınlaştırılması,

-İdari para cezalarının artırılması, bazı suçların kabahatler kanunu kapsamına alınarak daha hızlı ceza uygulamasına geçilmesi, işgal faydalanma suçunda kanuni süreç devam ederken findık ağaçları, sebze, meyve vb. emvaller hakkında verilen müsadere veya tasfiye kararlarının sürecin bitmesi beklenmeden uygulamaya koyulması, hakkında suç tutanağı tutulan ya da kanuni süreç ve işlem gören orman sahalarının köy muhtarlıklarında açıklayıcı bir şekilde ilan ettirilmesi ve bu konuda vatandaşın bilgilendirilmesi, ağaçlandırma tazminat masraflarının caydırıcı olacak şekilde artırılması şeklinde görüşlerinin olduğu belirlenmiştir.

Muhtarlar, orman kalkındırma kooperatif başkanları, çiftçiler ve orman köylüleri ile yapılan sözlü görüşmelerden elde edilen bilgiler aşağıda özetlenmiştir:

- Cezaların az olması sebebiyle caydırıcı oranda artırılması, kanun koyucular tarafından verilen cezaların vatandaşa yeterince ve anlayabilecekleri şekilde bilgilendirmesinin net olarak yapılması, çoğu işgal suçunun eski orman açmalarına dayalı olması nedeniyle vatandaşın orman alanları konusunda

bilgilendirilmesi ve çiftçi ile orman köylüsünün ekonomik olarak desteklenmesi şeklinde bilgiler edinilmiştir.

Emekli ve faal orman işletme çalışanları ile yapılan görüşmelerde;

- Vatandaşlara orman suçu işleyerek ormana ve doğaya verdikleri zararın kendi menfaatlerine yaptıkları yarardan daha çok olduğu hususunda bilgilendirmeler yapılması, personelin mutlak suretle artırılması ile denetim ve kontrollerin çoğaltılmasının sağlanması, orman muhafaza memurlarının sürekli vatandaşla iç içe olarak devamlı suretle bilgilendirme yapmalarının sağlanması, orman muhafaza memurlarının yöreyi ve yöre halkını tanıyan kişilerden seçilmesi, orman suçlarının tespiti hususunda ödül sistemi getirilmesi, kurum çalışanlarına vatandaşın güveninin artırılması, orman muhafaza memurları haricindeki tüm kolluk kuvvetlerinin de orman suçları ile mücadele etkin biçimde katkı sağlaması,

- Yığılca İlçesindeki amenajman planlarındaki meşcere tiplerinin yenilenecek orman vasfını yitirmiş alanlara Fn, Fna3 meşçeresi getirilmesi, bu şekilde fındık bahçesi olan orman alanlarının odun dışı orman ürünleri vasfına getirilerek ihlamur, kestane vb. satışı gibi satış şekline getirmeye çalışılması, bunların 2B kapsamı gibi şartlara tâbi tutulması (örneğin fındık ağaçlarının 30 yaşında, 50 yaşında şartı), koruma faaliyetlerinde “uçangöz” kullanılması, çok büyük çalışma alanı olduğundan dolayı kontrol ve denetimlerin daha iyi yapılabilmesi amacıyla çalışan orman muhafaza memuru ve orman işletme şeflerinin sayılarının artırılması,

- Cezaların caydırıcı olacak şekilde ağırlaştırılması, üretim ve koruma faaliyetleri şeklinde iş ayrımı yapılarak üretim yapacak olan orman muhafaza memuru ile kontrol yapacak olan orman muhafaza memurunun ayrımının yapılması şeklinde bilgiler edinilmiştir.

Toplumsal algı açısından Birben ve ark. [18] çalışmalarında belirttiği üzere, koruma tedbirlerinin artırılmasından ziyade toplumun bilinçlendirilmesinin orman suçlarının önlenmesinde araştırma alanındaki paydaşlar tarafından da benzer şekilde üzerinde durulması gereken bir önlem olacağına ifade edildiği görülmektedir.

Orman köylülerinin sosyoekonomik gelişmişlik düzeylerinin düşük olması çalışma alanında da orman suçlarının işleniş şekilleri ve sayıları üzerinde etkisini göstermektedir. Bu konuda Şen ve Toksoy [19] (2004) yaptıkları çalışmada orman köylülerinin orman alanlarına olan bağımlılıklarının ve tarımsal faaliyetleri ticari amaçlarla yapamamaları, yörede yaşayan orman köylülerinin orman suçlarını işlemedeki önemli sorunlardan biri olduğunu belirtmektedir.

Arazi çalışmalarından elde edilen bulgular ışığında; köy bazında Çamlı Köyünde 14, Yılgın Köyünde 11, Aksaklar Köyünde 6, Kocaoğlu Köyünde 6 orman suçu işlenmiş olup, şeflik bazında ve dikkat çekici oranda en çok orman suçu Melendere ve Kızıltepe OİŞ’lerinde işlenmiştir. Paşabükü OİŞ ve Karagökner OİŞ sınırlarında suç kaydına rastlanılmamıştır. Bu iki OİŞ köy yerleşim yerlerine en uzak olan OİŞ’lerdir. Suç bazında bakıldığında ise en çok işlenen suçun İşgal-faydalanma olduğu görülmektedir. İşgal-faydalanma suçunu kesme suçu takip etmektedir. Orman yangını ile ilgili işlenen suç sayısının bölgenin yangına hassasiyet durumu göz önünde bulundurulduğunda beklenildiği gibi düşüktür. Yapılan bazı çalışmalarda da orman suçları ve nedenlerine ilişkin benzer sonuçlara ulaşıldığı görülmektedir [20-22].

IV. SONUÇ

Çalışma bulguları ışığında orman suçlarının işlenmesinin azaltılması ve/veya önlenmesi konularında yöneticilere ve karar vericilere şu öneriler sunulabilir:

1- Orman işletmelerindeki orman muhafaza memuru sayısının artırılması, orman muhafaza memuru sayılarının da OİŞ bazında suçun yoğun olarak işlendiği bölgelere göre dağıtılarak organize edilmesi, üretim ve koruma-devriye görevlisi şeklinde iki kısım orman muhafaza memuru grubu oluşturulması sağlanmalıdır. Böylece OİM bünyesindeki OİŞ’lerde eşit ve adaletli iş yükü ile orman muhafaza memurları ile ekiplerinin daha etkin ve verimli çalışması sağlanabilir. Ayrıca üretim yükü altında zorlanan personelin iki gruba ayrılması ile alanında uzman personellerin yetiştirilmesi mümkün olabilir.

2- Devriye, koruma faaliyetlerinin ve özellikle gece devriyesi sayısının artırılarak yapılması, bu sayede 7/24 vardiya sistemi ile çalışma düzeni oluşturularak orman alanlarında daha çok denetim yapılması sağlanabilir. Böylece, koruma ve önleme faaliyetlerinin günün her saati ve sıklıkla yapılabilecek olması düşüncesinin oluşması sağlanarak potansiyel suç ihtimali düşürülebilir.

3- İşgal-faydalanma alanlarının büyük bölümünün vatandaşların tapulu arazileri ile sınır olduğu anlaşıldığından, Adalet Bakanlığı, Tapu Kadastro Genel Müdürlüğü, Tarım ve Orman Bakanlığı, Millî Eğitim Bakanlığı ve Köy Tüzel Kişilikleri (Muhtarlıklar) ile ortak protokoller düzenlenerek vatandaşın tapulu arazi sınırlarını öğrenmeleri, orman alanlarına zarar vermemeleri, işledikleri suçun sonuçlarını anlamaları gibi konularda eğitim faaliyetleri gerçekleştirilmelidir. Böylelikle vatandaşlar öncelikle tapulu arazilerinin sınırlarını net ve kesin şekilde öğrenebilecek; “orman olduğunu bilmiyordum” şeklindeki mazeretlerin önüne geçilebilecek, işgale devam ederse ileride ne gibi bir sonucun doğabileceğini, gelecekte karşılaşılabileceği yaptırımları anlayabilecek, orman suçu işerse hakkında uygulanacak idari ve cezai müeyyideler hakkında bilgi sahibi olacak ve bu şekilde vatandaşın etkin bir şekilde orman sınırları ve zararları konusunda bilinçlenmesi ve eğitilmesi sağlanabilecektir.

4- OGM bünyesinde koruma ve devriye faaliyetlerinde kullanılan araç, gereç ve ekipmanların günümüz teknolojisi (Uçangöz, Foto-kapan, Kamera kullanılması) ile bütünleşmesi sağlanarak daha etkin koruma faaliyetlerinin gerçekleştirilmesi sağlanabilir. Böylelikle koruma ve devriye faaliyetlerinde yalnızca emek faktörü kullanılmayacak, teknolojinin sağladığı avantaj ve kolaylıklardan yararlanılacak, engebeli ve ulaşımı güç olan orman alanlarına teknoloji sayesinde daha hızlı ve kolay ulaşılabilir, işlenen suçlarda şüpheli tespiti daha sağlıklı yapılabilecek ve suç kanıtlarının daha kolay toplanması sağlanabilecektir.

5- Caydırıcı olması bakımından cezai yaptırımların artırılması ve orman suçları cezalarında yapısal değişikliğe gidilmesi orman suçlarının sayısının azaltılmasında etkili olabilir. Bu sayede potansiyel suçlular, alacakları cezadan ya da taraflarına uygulanacak yaptırımlardan dolayı suç işleme kastını bırakabileceklerdir. Örneğin, 5271 sayılı Ceza Muhakemesi Kanunu’nda yer alan 231. Madde (Hükmün Açıklanmasının Geri Bırakılması) “...daha önceden kasıtlı bir suçtan ceza almamış sanıkların işlediği iki yıl veya iki yılın altında kalan adli para veya hapis cezaları bakımından verilebilir.” hükmünü içermektedir [23]. Orman suçları için verilen cezalar bu hükmün dışında tutulabilir. Böylelikle insanların özellikle orman suçlarını işlemekten çekinmeleri sağlanabilir, ormanların özel hüküm ve kanunlar ile korunduğu idrakine daha iyi varılabilir.

6- Tarımsal ormancılığın desteklenmesi ve orman köylülerinin tarımsal ormancılığa daha etkin katılımı sağlanabilir. Böylece tarımla uğraşan orman köylülerine ekonomik olarak katkı sağlanarak suç işleme eğilimi azaltılabilir. Tarımsal ormancılığın orman suçlarının önlenmesinde olumlu etkisinin ve katkısının olduğu ortaya konularak sürdürülebilir orman yönetimi ile orman varlığı korunabilir.

TEŞEKKÜR: Çalışmaya desteklerinden ötürü Yığılca Orman İşletme Müdürlüğü personeline teşekkür ederiz.

V. KAYNAKLAR

- [1] M. Pak, S. Gülcü, ve A. Okumuş, “A study on the use and modeling of geographical information system for combating forest crimes: an assessment of crimes in the eastern Mediterranean forests,” *Environ Monit Assess.* vol. 190, no. 62, 2018.
- [2] S. Ayanoglu, ve Y. Güneş, *Orman Suçları*, İstanbul, Türkiye: İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, 2003, ss. 1-167.
- [3] OGM, *Orman Genel Müdürlüğü 2020 Yılı İdare Faaliyet Raporu*, Strateji Geliştirme Dairesi Başkanlığı, Ankara, 2021.
- [4] S. Çepni, *Araştırma ve Proje Çalışmalarına Giriş*, 5. Baskı. Trabzon, 2010.
- [5] Ü. R. Aydoğdu, O. Karamustafaoğlu, ve M. Ş. Bülbül, “Akademik araştırmalarda araştırma yöntemleri ile örneklem ilişkisi: Doğrulayıcı doküman analizi örneği,” *Z.G. Eğitim Fakültesi Dergisi*, c. 30, ss. 556-565, 2017.
- [6] B. Kırıl, “Nitel bir veri analizi yöntemi olarak doküman analizi,” *Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, c. 15, ss. 170-189, 2020.
- [7] GOOGLE EARTH, Yığılca ilçe sınırları, Düzce, 2022.
- [8] YOİM, Yığılca Orman İşletme Müdürlüğü “Veri Tabanı,” Yığılca, Düzce, 2021.
- [9] Ş. Büyüköztürk, E. Çakmak, Ö. E. Akgün, Ş. Karadeniz, ve F. Demirel, *Bilimsel Araştırma Yöntemleri (Geliştirilmiş 2. baskı)*. Ankara, Türkiye: Pegem A Yayıncılık, 2008.
- [10] K. Özdamar, *Paket Programlar ile İstatiksel Veri Analizi-1*, Eskişehir, Türkiye: Kaan Yayınevi, 2002.
- [11] Ö. Çokluk, G. Şekercioğlu, ve Ş. Büyüköztürk, *Sosyal Bilimler İçin Çok Değişkenli İstatistik*. Ankara, Türkiye: Pegem Akademi, 2010.
- [12] İ. Daşdemir, *Bilimsel Araştırma Yöntemleri (Gözden Geçirilmiş 2. basım)*. Ankara, Türkiye: Nobel Yayınevi, 2019, ss. 1-210.
- [13] C. Gümüş, Amasya Orman Bölge Müdürlüğü’nde Orman Suçlarının Nedenleri. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon, Türkiye, 1992.
- [14] H. Çalışkan, F. Egi Oğuz, ve S. Özden, Comparison of illegal logging crimes and penalties in forest laws in some selected countries, ” *Turkish Journal of Forestry*, vol. 23, no: 1, pp. 90-95, 2022.
- [15] C. Erdönmez, ve S. Yurdakul Erol, “Türkiye’de ulusal ormancılık politikasının tarihsel gelişimi açısından bir dönüm noktası: 1255 sayılı yasa,” *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, c. 23, s. 1, ss. 182-201, 2021.
- [16] H. E. Ünal, Ü. Birben, ve O. D. Elvan, “Public perception of forest crimes: The case of Ilgaz Province in Turkey, ” *Crime Law Soc Change*, vol. 75, pp. 487–506, 2021.
- [17] H. Ayaz ve S. İnanç, “Orman suçlarında tazminat ve ağaçlandırma bedeli hesabı,” *Artvin Çoruh Üniversitesi, Orman Fakültesi Dergisi*, c. 19, s. 2, ss. 175-185, 2018.




- [18] Ü. Birben, H. E. Ünal, ve U. İmal, “Orman Suçlarında Toplumsal Algı (Kırıkkale İli Örneği),” *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, c. 21, s. 2, ss. 495-505, 2019.
- [19] G. Şen, ve D. Toksoy, “Orman köylüsünün sosyo-ekonomik yapısının orman suçlarına etkileri üzerine bir araştırma Karadere Orman İşletme Müdürlüğü örneği,” *Gazi Üniversitesi, Orman Fakültesi Dergisi*, c. 4, s. 1, ss. 1303-2399, 2004.
- [20] B. Yüksel, S. Akbulut, A. İpek, ve İ. Baysal, “Türkiye’de Orman Kaçakçılık Suçları ve Kaçakçı Profiline Değerlendirilmesi Akyazı ve Hendek Örneği,” *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, c. 59, s. 1, ss. 1-14, 2009.
- [21] A. Borazan, ve Ö. Görücü, “Adıyaman Orman İşletme Müdürlüğünde Orman Suçlarının Ormancılık Hukuku Açısından İncelenmesi,” *Turkish Journal of Forest Science*, c. 1, s. 2, ss. 112-133, 2017.
- [22] G. Gençay, ve A. Mercimek, “Public Consciousness and Influence of Law on Forest Crimes: Insights from Kastamonu, Turkey,” *Forest Policy and Economics*, vol. 106, no. 101978, 2019.
- [23] 5271 Sayılı Ceza Muhakemeleri Kanunu, (2022). [Çevrimiçi]. Erişim: <https://mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=5271&MevzuatTur=1&MevzuatTertip=5>



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Komşuluk Yaklaşımı ile Kablosuz Sensör Ağlarda Izgara Temelli Kümeleme Tasarımı ve Uygulaması¹

 Mesut UĞURLU^{a,*},  Abdullah ORMAN^b,  Murat DENER^a

^a Bilgi Güvenliği Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, TÜRKİYE

^b Bilgisayar Teknolojileri, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Ankara, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: mesut.ugurlu@gazi.edu.tr

DOI:10.29130/dubited.1016930

Öz

Kablosuz sensör ağlar, medikal, askeri, endüstriyel, tarım ve çevresel uygulamada alanı izlemek için yoğun olarak kullanılmaktadır. Bu ağlarda birçok sensör düğüm bulunmaktadır ve bu düğümler kısıtlı kaynaklara sahiptir. Ayrıca bu sensör düğümler tekrar şarj özelliğinin çok olmaması nedeni ile enerjilerini bittiği durumlarda tekrar kullanılamaz hale gelmektedir. Enerji tüketiminin verimli kullanılması bu ağlardaki en önemli çalışma alanlarından biridir. Kümeleme yaklaşımı düğümlerin dağıtıldığı alanı kümelere ayırır ve her küme için bir küme başı seçer. Küme başı küme içerisinde bulunan sensör düğümlerden algılanan verileri toplar, birleştirir ve baz istasyonuna iletir. Kümeleme enerji tüketimini azaltarak ağın ömrünü uzatır. Bu çalışmada ızgara temelli kümeleme işlemi yapılmış ve en çok komşuluğa sahip düğüm küme başı olarak seçilmiştir. Küme başı enerjisi azaldığında ilgili küme içerisinde en çok ikincil komşuluğa sahip düğüm küme başı seçilmektedir. Önerilen yöntem MATLAB simülasyon ortamında gerçekleştirilmiştir. Çalışmada elde edilen bulgular incelendiğinde önerilen yöntemin, kümeleme yapılmadan oluşturulan ağlara kıyasla %60 daha uzun ömürlü olduğu ve sensör düğümlerde enerji tüketiminin verimli hale getirildiği gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kablosuz sensör ağlar, Izgara temelli kümeleme, Komşuluk yaklaşımı

Grid Based Clustering Design and Implementation in Wireless Sensor Networks with Neighborhood Approach

ABSTRACT

Wireless sensor networks are extensively used to monitor field in medical, military, industrial, agricultural and environmental application. There are many sensor nodes in these networks and these nodes have limited resources. In addition, these sensor nodes become unusable when they run out of energy due to the lack of recharging feature. Efficient use of energy consumption is one of the most important working areas in these networks. The clustering approach divides the area where the nodes are distributed into clusters and selects a cluster head for each cluster. The cluster head collects the data detected from the sensor nodes in the cluster, combines it and transmits it to the base station. Clustering reduces energy consumption and extends the life of the network. In this study, grid-based clustering was performed and the node with the most neighbors was chosen as the cluster head. When the cluster head energy decreases, the node with the most secondary neighbors in the related cluster is selected as the cluster head. The proposed method was implemented in the MATLAB simulation environment. When the findings obtained in the study are examined, it has been observed that the proposed method has a much longer life than the networks created without clustering and the energy consumption in the sensor nodes is made efficient.

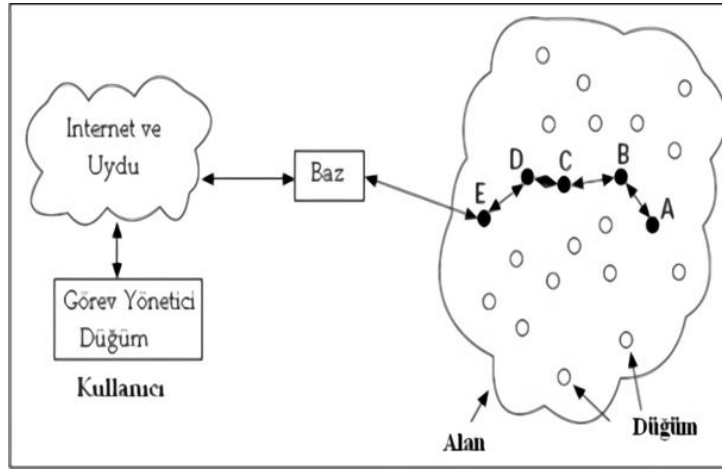
Keywords: Wireless sensor networks, Grid-based clustering, Neighborhood approach

¹* ICAIAME 2021 konferansında sunulmuştur.

Geliş: 31/10/2021, Düzeltme: 16/12/2021, Kabul: 18/12/2021

I. GİRİŞ

Kablosuz haberleşme teknolojilerinin gelişmesi, sensör maliyetlerinin azaltılması ve özelliklerinin geliştirilmesi ile kablosuz sensör ağların kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır. Kablosuz Sensör Ağlar (KSA), genellikle bir fiziksel alana dağılmış bir veya daha fazla baz istasyonu ve on veya binlerce sensör düğümden oluşur [1]. Bir ağ üzerinde bulunan sensörler, algılama, işleme ve iletişim yetenekleriyle donatılmış ve belirli bir uygulamayla ilişkili parametreleri ölçmekten sorumlu bir cihazlardır [2] [3]. Her sensörün kendi işlemcisi, hafızası, iletim ve algılama parçaları bulunmaktadır. Fakat bu sensörler küçüktür, sınırlı işleme ve hesaplama kaynaklarına sahiptir [4]. Baz istasyonu ise, sensörlerden tüm ölçüm verilerini yakalamaktan ve bunlara erişim sağlamaktan sorumludur ve bazen verilerin uzaktan yönetilmesine izin vermek için ağ geçidi hizmetleri sağlayabilir [2]. Kablosuz sensör ağlara ait geleneksel mimari Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. KSA mimarisi [3].

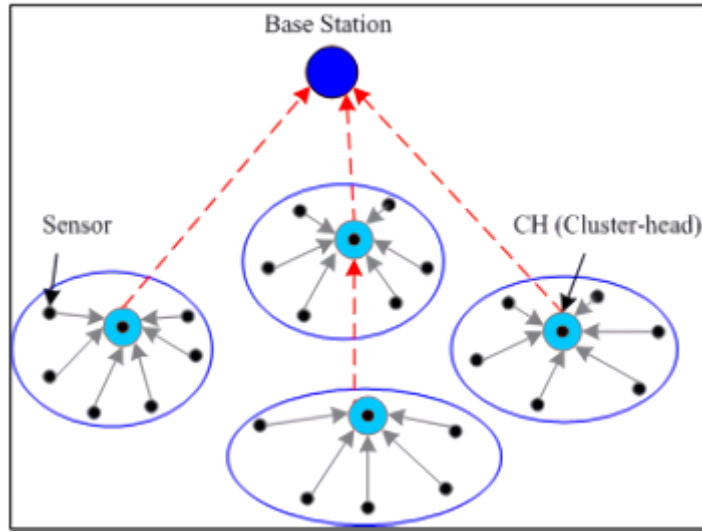
Sıcaklık, ışık, ses, nem ve basınç gibi doğal olay verileri sensörler tarafından toplanır ve baz istasyonuna iletilir. Bataryaya sahip olan bu düğümler, fiziksel ortamı uzak konumlardan izlemek ve kontrol etmek için kullanılır. KSA’lar son yıllarda özellikle, tıbbi, askeri, endüstriyel, tarımsal ve çevresel izlemede yaygın olarak kullanılmaktadır [5].

KSA’ların tasarımında birçok zorluk bulunmaktadır. Sensörler oldukça sınırlı güç kaynaklarına sahiptirler [6]. Ayrıca zorlu fiziksel şartlar altında iletim yapmaları gerekmektedir. Yerleştirme, zaman senkronizasyonu, hata toleransı, donanımsal ve yazılım kaynaklı zorluklar yaşanabilmektedir [7].

Kablosuz Sensör Ağ oluşturulurken, baz istasyonu ve düğümlerin yerleştirilmesi önceden tanımlanmaz ve mühendislik gereksinimi duyulmamaktadır. Bu sayede izlenecek ortama rastgele dağıtım yapılabilmektedir [8]. Rastgele dağıtım sebebi ile bu ağlar kendi kendine organize olabileme yeteneğine sahip olması gerekmektedir.

Sensörlerin kısıtlı kaynakları olması nedeni ve en çok enerji tüketimi iletim esnasında yaşandığı için verimli enerji tüketimi oldukça önemlidir. Enerji tüketimi, sensör düğüm ile baz istasyonu arasında bulunan mesafe ile doğru orantılıdır. Bu neden ile düğümler kümelenecek düğümlerin doğrudan baz istasyonu ile değil küme başı ile iletişime geçmesi ve enerjinin verimli kullanılması için literatürde çalışmalar yapılmaktadır. Kümeleme, sensörleri belirli karakteristik özelliklerine veya benzerliklerine göre gruplara ayırmaktadır [9]. Kümeleme sürecini gerçekleştirmenin amacı, ağın enerji verimliliğinin yanı sıra ölçeklenebilirliği sağlamaktır. Kümeleme süreci yapılırken sensörlere farklı roller ve görevler atanmaktadır. Her bir küme için Küme Başı (Cluster Head, CH) bulunmaktadır ve bu sensör küme içerisinde bulunan diğer sensörlerden aldığı verileri toplayarak baz istasyonuna iletmek ile görevlidir

[10]. CH, sensörlerden topladığı ham verileri bir araya getirerek baz istasyonuna aktarır [11]. Bu işleme veri bütünleme denilmektedir.



Şekil 2. Kümeleme tabanlı KSA mimarisi [11].

Bu çalışmada Izgara temelli kümeleme yöntemi kullanılarak, ağa rastgele dağılmış sensörler kümelenecek enerji verimli bir yöntem önerilmiştir. Küme içerisinde en çok komşuluğu sahip düğüm belirlenerek, küme başı yapılmıştır. Bu sayede düğümlerin küme başına uzaklığı azaltılarak enerji tasarrufu sağlanmak hedeflenmiştir. Seçilen küme başının enerjisi, yarının altına indiğinde küme içerisinde bulunan ve en çok ikinci komşuluğa sahip sensör küme başı yapılmıştır. Bu sayede hem komşuluk temelli hem de enerji temelli bir yöntem sunulmuştur.

Önerilen yöntemde literatürde yapılan diğer çalışmalar gibi düğümleri belirli bir alana rastgele dağıtmaktadır. Kümeleme yöntemlerinde en kritik adımlardan bir tanesi küme başı seçim işlemidir. Literatürde küme başı seçimi rastgele, baz istasyonuna olan yakınlığına, diğer düğümlere ile arasındaki mesafeye ve enerjiye seviyesine bakılarak seçilmektedir. Uygulanan metotta LEACH algoritmasından farklı olarak küme başı rastgele değil küme içerisinde en çok enerjiye sahip ve en çok komşuluğu olan düğüm bulunarak belirlenmektedir. Ayrıca küme başı düğümünün enerjisi gelen verileri topladığı ve ilettiği için hızlı tükendiğinden belirli bir seviyenin altına düştüğünde değiştirilmektedir. Hem enerji hem de komşuluk sayısına bakılarak yapılan küme başı seçimi önerilen yöntemi literatürde yapılan diğer çalışmalardan ayırmaktadır.

Bu makalenin ikinci kısmında literatürde yapılan diğer çalışmalar detaylı olarak incelenmiştir. Kullanılan metot, yöntem ve algoritma detayları üçüncü bölümde verilmiştir. Önerilen yöntem ile yapılan uygulama sonuçları dördüncü bölümde gösterilmiştir. Son bölümde ise yapılan çalışmanın genel bir değerlendirmesi ve gelecek çalışmalar için önerilere yer verilmiştir.

II. İLGİLİ ÇALIŞMALAR

Kablosuz Sensör Ağlar, birçok sensör düğümden oluşturulmuş organize ağ çeşitleridir. Bu ağlarda yönlendirme yol kurulumu, ağ yapısı, protokol operasyonları ve iletim başlatıcısı olmak üzere 4 ana temel yaklaşım bulunmaktadır [12]. Ağ yapısı altında, konum temelli, hiyerarşik ve düz yönlendirme alt kategorileri bulunmaktadır. Hiyerarşik yönlendirme, yönlendiricileri hiyerarşik bir şekilde düzenlendiği bir yöntemdir. KSA'larda hiyerarşik protokoller güçlü veya hızlı yönlendiricilerin omurga yönlendiricisi ve düşük güçlü veya yavaş yönlendiricilerin ise sadece erişim amacı ile kullanılmasına imkân sağlar [13]. Hiyerarşik yönlendirmede ağ içerisinde bulunan her düğüm farklı görevler veya sorumluluklar taşıyabilir.

Hiyerarşik yönlendirme çeşitlerinden olan kümelemede ağ, ızgara yapıda alanlara bölünür ve her bir alan bir küme olarak kabul edilir. Alan $m \times n$ parçalara bölünerek kümeleme işlemi gerçekleştirilir. Kümeleme yönteminin ölçekleme, daha az yük oluşturma, daha az enerji tüketimi ve ağın ömrünü uzatma gibi avantajlar sağlamaktadır. Literatürde ızgara temelli kümeleme çalışmaları yapılmaktadır. Bu bölümde bu alanda yapılan çalışmalar incelenmiştir.

Heinzelman ve arkadaşları [14] enerji yükünü ağdaki sensörler arasında eşit olarak dağıtmak için rastgeleleştirme kullanan, kendi kendini organize eden, uyarlanabilir ve LEACH adını verdikleri bir kümeleme protokolü önermişlerdir. LEACH protokolünde küme başları ilk önce rastgele seçilir ve sonrasında tek bir sensörün pilini boşaltmamak için çeşitli sensörler arasında dönecek şekilde yüksek enerjili küme başı konumunun rastgele döndürülmesini sağlar. Ayrıca LEACH, kümelerden baz istasyonuna gönderilen veri miktarını "sıkıştırmak" için yerel veri füzyonu gerçekleştirir, bu da enerji tüketimini daha da azaltır ve sistem ömrünü uzatır. LEACH, yüksek enerjili düğümleri belirli bir zamanda küme başı olmayı seçen bir yöntem olarak statik kümeleme algoritmalarından daha iyi performans göstermiştir. LEACH, doğrudan iletim ve minimum iletim-enerji yönlendirmesi ile karşılaştırıldığında iletişim enerjisini 8 kata kadar azalttığı belirtilmiştir.

Li ve arkadaşları [15] EBCA adını verdikleri ve sensör düğümlerin dağıtıldığı alanı dengeli bir şekilde kümelere ayıran bir çözüm geliştirmişlerdir. Çalışmada 100 düğüm 100×100 metrelik alana rastgele dağıtılmıştır ve düğümlerin hareket yetenekleri bulunmamaktadır. Kümeleme işlemi ızgara temelli yapılmıştır ve her kümenin bir küme başı düğümü bulunmaktadır. Küme başları baz istasyonuna daha yakın olan düğümlerden seçilmektedir. Küme başı düğümlerin enerjisi verilen eşik değerden daha yüksek olmak durumundadır. Enerji verimliliğini artırmak adına tek durak yerine çoklu durak yöntemi tercih edilmiştir. Önerilen yöntem LEACH [14] ve HEED algoritmaları ile karşılaştırılmıştır. EBCA, LEACH ve HEED algoritmalarına göre daha verimli olduğu ve ağ ömrünü uzattığı gözlemlenmiştir.

Liu ve arkadaşları [16] enerji tüketimini azaltan ve dengeli bir ağ oluşturmayı hedefleyen yeni bir kümeleme algoritması geliştirmişlerdir. Bu algoritma uzayı ızgara yöntemi ile kümelere ayırmakta ve kümelerin boyutu değiştirilmemektedir. Küme içinde bulunan en yüksek enerjiye sahip düğüm küme başı olarak seçilmektedir. Gecikmeyi önlemek ve enerji verimliliğini artırmak adına küme başları baz istasyonuna bir aracı düğüm üzerinden iletişime geçer. Çalışma 100×100 metrelik bir alanda ve 200 sensör düğüm kullanılarak gerçekleştirilmiştir ve MATLAB ortamında simülasyon yapılmıştır. Önerilen algoritmaya LPG CRA adı verilmiştir. Önerilen yöntemin EBCA [15] adı verilen çalışmadan çok daha verimli sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Jannu ve arkadaşı [17] sorunlu bölge problemini çözmek için ızgara temelli kümeleme ve enerji verimli yönlendirme protokolü önermişlerdir. Çalışmada sensör düğümlerin dağıldığı alan eşit boyutlarda bölünmektedir. Her bölüm bir küme olarak belirlenmiştir ve diğer algılayıcı düğümlerden minimum uzaklığı olan ve eşik değer üzerinde enerjisi olan düğüm küme başı olarak seçilir. Baz istasyonuna bir duraktan uzak olan küme başları komşu kümenin başına, az olanlar ise doğrudan baz istasyonuna bağlanır. Çalışma MATLAB simülasyon ortamında gerçekleştirilmiştir ve 100×100 metrelik bir alanda 200 ve 400 düğümler dağıtılarak uygulanmıştır. Gerçekleştirilen uygulamada önerilen modelin ağ ömrünü uzattığı ve LPG CRA [16] ve EBCA ile karşılaştırıldığında daha verimli çalıştığı gözlemlenmiştir.

Abdullah ve arkadaşları [18] ızgara temelli kümeleme yöntemini kullanarak hiyerarşik yönlendirme çalışması gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada sensör düğümlerin dağıtıldığı alan ızgara yöntemi ile kümelere bölünmüştür. Oluşturulan ızgaralar içerisinde bulunan sensör düğüm sayılarına bakılarak yüksek yoğunluklu, düşük yoğunluklu ve boş olmak üzere 3 farklı sınıfa ayrılmıştır. Bu ızgaralar, boş ızgaralar hariç tutulduğunda kümeler oluşturmak için birleştirilir, kümede iki bitişik yüksek yoğun ızgara birleştirilir, iki bitişik yüksek yoğun ızgara ve düşük yoğun ızgara da kümede birleştirilir ve iki bitişik düşük yoğunluklu ızgara kümenin dışında kalmaktadır. Küme başları, baz istasyonuna en yakın düğümlerden seçilir. Sonrasında en yüksek enerjiye sahip olanlar küme başı seçilmektedir. Önerilen yöntem MATLAB kullanılarak uygulanmış ve test edilmiştir. Yapılan testlerde ağ ömrü açısından en

iyi sonuçları ortaya çıkaran en uygun ızgara boyutu, KSA alanında 150 düğüm ile 5 ila 10 birim arasında olduğu gözlemlenmiştir.

Jannu ve arkadaşı [19] sorunlu bölge problemini çözmek adına hata toleranslı ve yönlendirme protokolü içeren ızgara temelli bir yaklaşım sunmuşlardır. Önerilen modele GFTCRA adı verilmiştir. Küme başlarının çok hızlı ölmemesi adına rastgele değil, küme içerisinde bulunan ve en fazla enerjiye sahip düğüm küme başı seçilmektedir. Çalışmada alana dağıtılan tüm düğümlerin aynı özelliklere sahip olduğu be başlangıç değerlerinin aynı olduğu belirtilmiştir. Enerji tüketimini azaltmak için küme başları doğrudan baz istasyonu yerine baz istasyonuna yakın diğer küme başları ile iletişime geçer. Çalışma MATLAB ortamında gerçekleştirilmiştir ve 300 x 300 metrelik alana 250-750 arasında düğüm yerleştirilmiştir. Yönlendirme algoritması, yönlendirme yolundaki düğümlerin ani arızalarını herhangi bir yönlendirme oluşturmadan başa çıkabilecek şekilde tasarlanmıştır. Önerilen algoritmanın ağ ömrü, ortalama enerji tüketimi ve ölü sensör düğüm sayısı açısından iki hataya dayanıklı kümeleme algoritması olan LPGCRA [16] daha verimli olduğunu gösterilmiştir.

Kareem ve arkadaşları [20] düğümlerin doğrudan baz istasyonuna bağlanarak yüksek trafik oluşturmalarının ve enerjilerini hızlı tüketmelerinin önüne geçmek için ızgara temelli bir yaklaşım ile kümeleme çözümü önermişlerdir. Çalışmada tüm düğümler alana rastgele olarak dağıtılmıştır ve konum bilgilerini baz istasyonuna göndermektedir. Baz istasyonu alanı ızgara yöntemi ile bölümlere ayırmıştır ve her bir bölüm küme olarak tanımlanmıştır. Küme içerisinde bulunan ve en yüksek enerjiye sahip sensör düğüm küme başı seçilmiştir. Enerji tüketimini dengelemek için küme başı rolü küme içerisinde bulunan diğer düğümler ile paylaşılmaktadır. Belirli bir zaman periyodu sonunda baz istasyonu her bir küme için yeni küme başı seçmektedir. Önerilen yöntemde simülasyon ortamı olarak MATLAB kullanılmıştır. 1000 x 1000 metre alana 1000 düğüm dağıtılmış ve SEP-E protokolü kullanılarak yönlendirme gerçekleştirilmiştir. Kümeleme yöntemi ile KSA da bulunan enerji tüketimi problemi sorunu azaltılmıştır. Çünkü yük ağ içerisinde bulunan her biri düğüme dağıtılmaktadır. Çalışma, ızgara tabanlı statik kümelemenin verimlilik açısından rastgele kümelemeden %22 daha iyi performans gösterdiğini, enerji tüketimini % 30azalttığını ve kalan enerjiyi %20 artırdığını göstermektedir. Böylece ağ ömrü uzatılmıştır.

Kâmil ve arkadaşları [21] kümeleme içerisinde dinamik ve statik baz istasyonu senaryolarını gerçekleştirerek karşılaştırma yapmışlardır. Çalışma MATLAB ortamında gerçekleştirilmiştir. 800 x 800 metre alanda ızgara yöntemi kullanılarak 16 küme oluşturulmuştur. Baz istasyonunun statik olduğu ve alanın ortasında bulunduğu durumlarda baz istasyonuna yakın küme başı enerjilerinin uzak olanlara kıyasla daha çabuk tükendiği gözlemlenmiştir. Bu problemi çözmek için baz istasyonunun yerinin değiştirilerek dinamik olması sağlanmıştır. Dinamik ve statik yöntem karşılaştırıldığında dinamik yöntemde çok daha az enerji tüketimi olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca dinamik yaklaşımın ağ ömrünü uzattığı da görülmektedir.

Hassen ve arkadaşları [22] 3 farklı yönlendirme protokolünün ızgara tabanlı kümeleme yönteminde uygulanması ve çıktı, gecikme ve paket teslim oranı açısından karşılaştırmasını gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada Ad-Hoc on-Demand Distance Vector Routing (AODV), Dynamic Source Routing (DSR) ve Optimized Link State Routing Protocol (OLSR) protokolleri karşılaştırılmıştır. Önerilen çalışma Qualnet simülöründe gerçekleştirilmiş ve 40 adet sensör düğüm 1500 x 1500 metre alana rastgele dağıtılmıştır. Alan ızgara yöntemi ile kümelere ayrılmış ve kümenin merkezine en yakın düğüm küme başı seçilmiştir. Belirli bir zaman sonra enerji durumuna bakılarak yeni küme başları seçilmiştir. Karşılaştırma sonucuna göre ızgara temelli DSR protokolü, diğer iki protokol ile karşılaştırıldığında daha yüksek çıkış ve daha az gecikme performansı sergilediği gözlemlenmiştir. AODV ise paket teslim oranında en iyi sonuçları vermiştir.

Bhakare ve arkadaşları [23] kablosuz sensör ağlarda enerji tüketimini minimize etmek için ızgara temelli kümeleme yöntemi önermişlerdir. Çalışmada alan sabit büyüklükteki parçalara bölünmektedir ve GPS veya konum yöntemleri ile ağ içerisinde konumlar belirlenmektedir. Çalışmada düğümlerin ilgisine bakılarak bölümlenme yapılmaktadır. Küme başı seçimi küme içinde bulunan düğümlerin ağırlıklarına bakılarak yapılmaktadır ve ağırlığı en fazla olan düğüm küme başı seçilmektedir.

Çalışmada iki farklı yönlendirme algoritması kullanılmıştır. Bunlardan ilki küme içi olan ve diğeri kümeler arası olandır. Çalışmada Drop-tail kuyruk tipi kullanılmış ve bir düğümden kuyruk limitinden fazla paket geldiğinde paketler düşürülmektedir.

Gerçekleştirilen çalışmada kümeleme işlemi literatürde yapılan ve bu bölümde bahsedilen çalışmalarda olduğu gibi ızgara temelli gerçekleştirilmiştir. Çalışmalarda en önemli farklar küme başı seçimi sırasındadır. LEACH [14] protokolünde küme başı rastgele seçilmektedir ve eğer küme başı enerjisi az ise erken ölümler meydana gelmektedir. EBCA protokolünde baz istasyonuna en yakın düğüm, LPGCRA protokolünde ve diğer çalışmalarda ise en yüksek enerjiye sahip düğüm küme başı seçilmektedir. Gerçekleştirilen çalışmada küme içerisinde bulunan düğümlerden en fazla komşuluğa sahip düğüm küme başı seçilmektedir. Küme başı enerjisinin belirtilen eşik değerinin altına indiği durumlarda en fazla ikincil komşuluğa sahip düğüm küme başı seçilerek yük dengeleme işlemi gerçekleştirilmektedir.

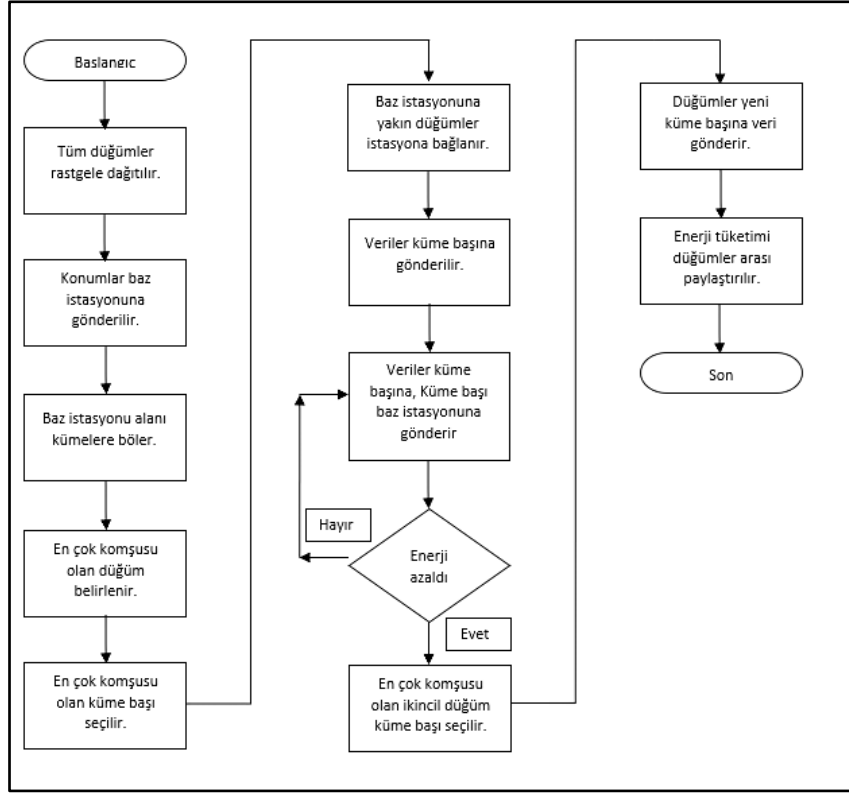
III. MATERYAL VE METOT

Çalışmada, Kablosuz Sensör Ağlarda trafik yükünü azaltarak enerji tüketimini azaltmak için ızgara temelli kümeleme yöntemi kullanılmıştır. Sensör düğümlerin dağıtıldığı alan sabit uzunluklu ve genişlikle kümelere bölünmektedir. Çalışmanın daha iyi anlaşılabilmesi adına aşağıdaki varsayımlar kabul edilir.

- Tüm sensör düğümler ilgili alana rastgele dağıtılır.
- Tüm sensör düğümler başlangıçta aynı özelliklere sahip ve aynı seviyede enerjileri bulunmaktadır.
- Sensör düğümlerin konum bilgileri Baz istasyonu tarafından bilinmektedir.
- Küme başı, küme içerisinde bulunan düğümlerden verileri toplayarak baz istasyonuna iletir.
- Tüm düğümler radyo kanalı üzerinden birbirleri ile iletişime geçebilmektedir.

Önerilen yöntemde ilk olarak tüm düğümler alana rastgele dağıtılmıştır. İkinci adımda her bir düğüm kendi konum bilgisini baz istasyonuna göndermektedir. Baz istasyonu ilgili alanı belirtilen ölçülere göre ızgara temelli alanlara ayırmıştır. Her alan ayrı bir küme olarak değerlendirilmiştir. Baz istasyonu alanın merkezine yerleştirilmiştir. Küme içerisinde küme başı seçilirken en fazla komşusu olan düğüm seçilmiştir. Komşuluk için tüm düğümlerin belirli çevre içerisinde bulunan ve o düğüme yakın olan düğümler sayılmaktadır. En fazla komşuluğa sahip düğümün seçilmesindeki amaç sensör düğümlerin en çok iletim esnasında enerji harcaması ve iletim enerjisinin mesafe ile doğru orantılı olmasındandır. En çok komşusu olan düğüm diğerlerinden daha az enerji tüketimi olacağından bu yaklaşım kullanılmıştır.

Baz istasyonuna yakın düğümler, doğrudan baz istasyonuna bağlanır. Bu sayede o küme içerisindeki küme başının enerjisi daha verimli kullanılması hedeflenmiştir. Sonraki adımda seçilen küme başları doğrudan baz istasyonuna bağlanır. Tüm düğümler algıladıkları verileri küme başına gönderir ve küme başı bu verileri baz istasyonuna iletir. Baz istasyonu tarafından küme başlarının enerjileri takip edilir. Eğer küme başı enerjisi belirlenen seviyenin altına inerse en fazla komşuluğu olan ikinci sensör düğüm küme başı olarak seçilir. Bu sayede yük küme içerisinde bulunan tüm düğümler arasında paylaştırılarak ağın ömrü uzatılır. Çalışmada hem komşuluk hem de enerji temelli yaklaşım birlikte sunulmuştur. Baz istasyonu, küme başı düğüm ve normal düğüm davranışları Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Izgara temelli kümeleme algoritması.

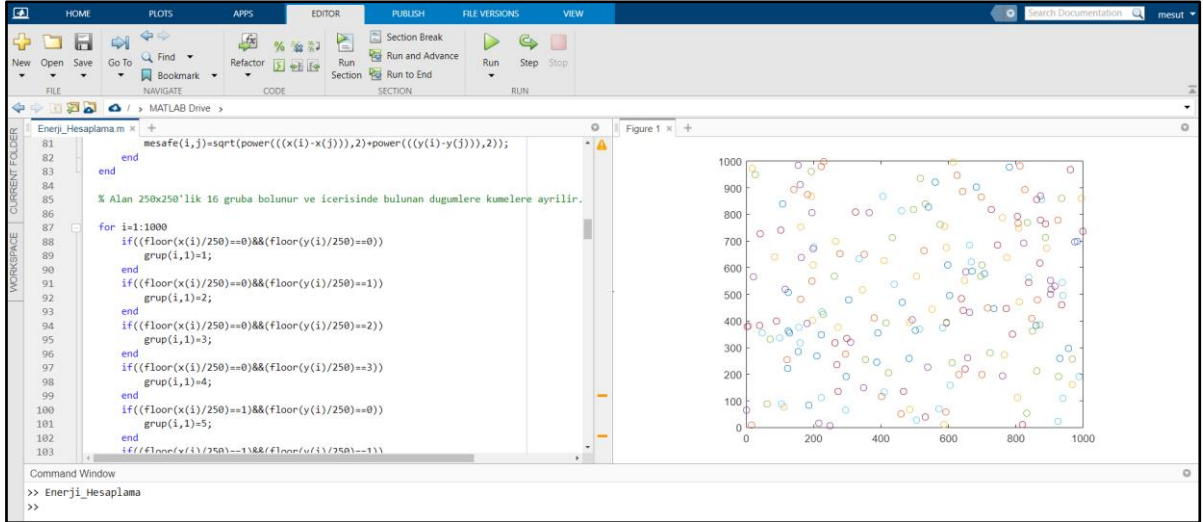
IV. UYGULAMA VE BULGULAR

Önerilen sistemde enerji tüketiminin azaltılması ve ağın ömrünün artırılması için ızgara temelli kümeleme yöntemi kullanılmıştır. Küme başları en çok komşuluğa sahip sensör düğüm bulunarak seçilmektedir. Küme başı enerjisi azaldığında ise en çok ikincil komşuluğa sahip düğüm küme başı yapılmaktadır. Bu sayede bu rol küme içerisinde bulunan düğümler arasında paylaşılmaktadır. Önerilen sistem MATLAB simülasyon ortamında gerçekleştirilmiştir. Kullanılan parametre değerleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Simülasyon parametreleri.

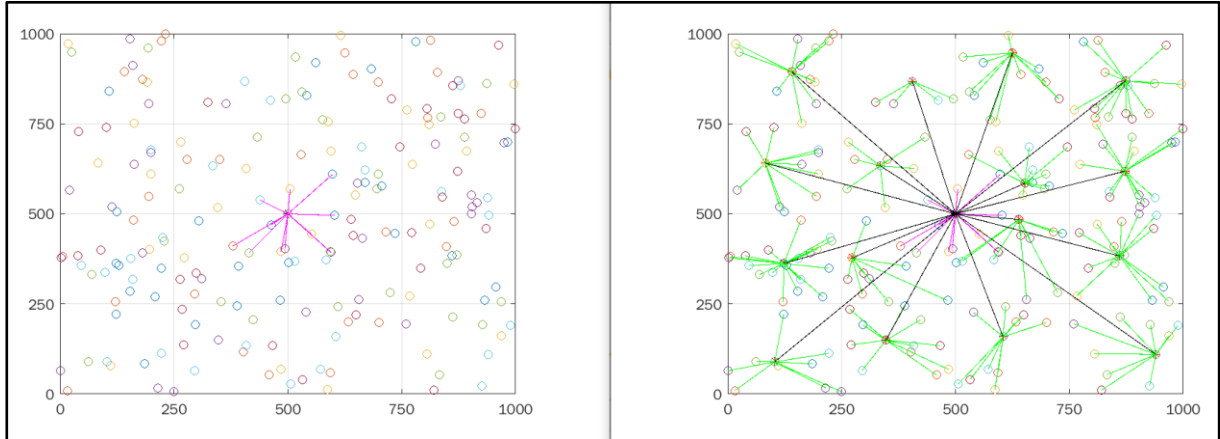
Parametre	Değer
Sensör sayısı	200
Simülasyon alanı	1000 x 1000 metre
Paket boyutu	4 Kb
Başlangıç enerjisi	1m Joule
Sensör pozisyonları	Rastgele
Baz istasyonu pozisyonu	Merkez
Küme sayısı	16

İlk adımda 200 düğüm alana rastgele yerleştirilmiştir. Sonrasında baz istasyonu merkeze yerleştirilmiş ve alan 250 x 250 metrelik 16 adet kümeye bölünmüştür. Izgara temelli bölümlenme ve düğümlerin dağılımı Şekil 4’te gösterilmiştir.



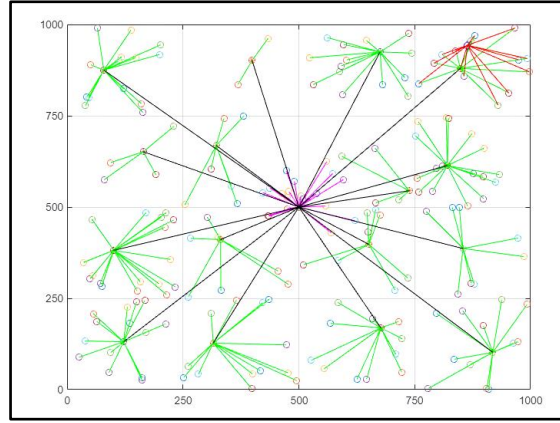
Şekil 4. Izgara temelli bölümlenme ve düğümlerin dağılımı.

Izgara temelli bölümlenme sonrasında baz istasyonuna yakın sensör düğümler doğrudan baz istasyonuna bağlanmıştır. Bağlanan düğümler Şekil 5'te gösterilmiştir ve doğrudan baz istasyonuna bağlantılar pembe rengi ile gösterilmektedir. Komşuluk sayılarına bakılarak seçilen küme başları doğrudan baz istasyonuna bağlanmıştır. Ayrıca küme içerisinde bulunan diğer sensör düğümler küme başlarına bağlanmıştır. Bağlantı şekilleri Şekil 5'te gösterilmiştir. Küme içi bağlantıları yeşil renk ile baz istasyonuna bağlantılar siyah olarak gösterilmektedir.



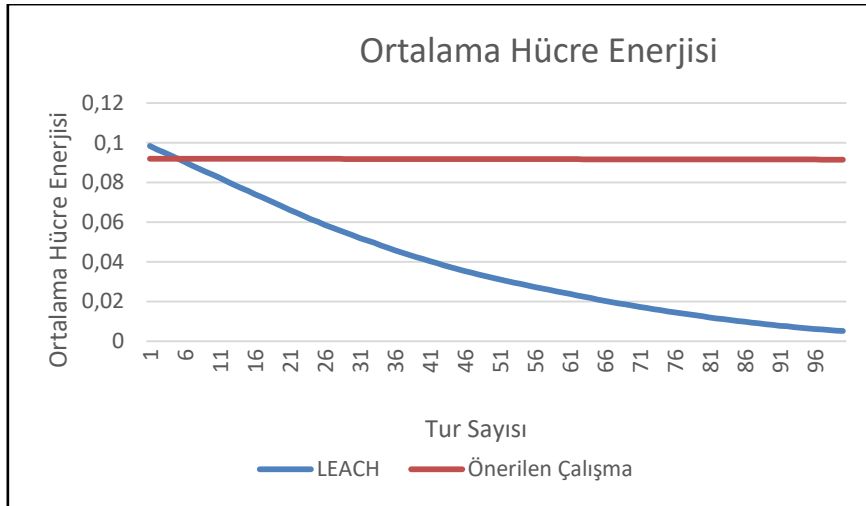
Şekil 5. Doğrudan baz istasyonu ve küme bağlantıları.

Bağlantılar sağlandıktan sonra sensör düğümlerden alınan veriler küme başlarına iletilmektedir. Küme başı topladığı verileri birleştirerek baz istasyonuna iletmektedir. Küme başı verileri toplarken, birleştirirken ve iletirken enerji tüketmektedir. Enerji tüketimi alınan ve gönderilen paket boyutuna ve mesafeye bağlıdır [24]. Küme başı düğümün enerjisi, küme içerisinde bulunan diğer düğümlerden daha hızlı tükenmektedir. Bu nedenle önerilen modelde eğer enerji belirlenen bir eşik değer altına düşerse o küme için yeniden küme başı seçimi yapılmaktadır. Enerji tüketimi sonrasında değişen küme başı ve bağlantıları Şekil 6'da gösterilmiştir. Alan içerisinde bulunan 16 numaralı kümenin küme başı sensör düğümün enerjisi azaldığı için tekrar küme başı seçim işlemi gerçekleştirilmiştir. Alan içerisinde bulunan düğümler yeni küme başına bağlanmıştır. Bu bağlantılar kırmızı renk ile gösterilmiştir.



Şekil 6. Yeni küme başı seçimi.

Önerilen uygulamanın verimliliğinin ölçülebilmesi 100 adet tur paket gönderimi yapılarak sensör düğümlerde kalan enerji değerleri ölçülmüştür. Bu enerji değerlerinin ortalaması alınarak tur sayısı ile karşılaştırılması Şekil 7’de gösterilmiştir. Şekil 7’de önerilen çalışma ile LEACH [14] karşılaştırması verilmiştir.



Şekil 7. 100 Tur kalan enerji ortalama değeri.

Sensör düğümlerde kalan ortalama enerji değerleri analiz edildiğinde 100 tur için önerilen çözümde %90 civarında kalmakta iken LEACH protokolünde enerji değeri %10'lara düştüğü görülmektedir. LEACH algoritması ile yapılan karşılaştırmada Tablo 1’de verilen hücre sayısı, alan büyüklüğü, başlangıç enerjileri ve dağıtım şekli gibi değerler aynı olacak şekilde ölçümler yapılmıştır.

Önerilen yöntem küme başını seçim işlemi enerji ve komşuluk temelli yaptığı için rastgele seçimden doğabilecek az enerjili düğüm seçimi ve yüksek transfer maliyet enerjisinin neden olduğu sorunları çözmektedir. Ayrıca küme içerisinde baz istasyonuna en yakın düğümün küme başı seçilmesi küme başı ile baz istasyonu arasındaki transfer maliyetini düşürse de diğer düğümler ile arasında bulunan mesafe fazla olabileceği durumlarda küme içi iletişimde daha fazla enerji kaybına neden olabilecektir. Önerilen yöntemde baz istasyonu alanın merkezinde ve sabit durumdadır. Literatürde baz istasyonunun yerlerinin değiştirilebildiği çözümler önerilmek ile birlikte bu durum her senaryo için mümkün olamayabileceği için yapılan çalışmada baz istasyonunun yeri sabit bırakılmıştır.

V. SONUÇ

Izgara temelli kümeleme yöntemi kolay uygulanabilir ve enerji tüketimini azaltarak ağın ömrünü uzatmaktadır. Bu çalışmada, en çok komşuya sahip düğümler belirlenerek küme başı seçim işlemi gerçekleştirilmiştir. En çok komşusu olan düğüm, diğer düğümlerden veri toplarken ve diğer düğümler veri iletirken daha az enerji harcayacağı sebebi ile bu yaklaşım tercih edilmiştir.

Küme başı düğümlerin diğer düğümlerden daha fazla enerji harcaması nedeni ile enerji değeri belirli seviyenin altına inen küme başı düğümleri kendi kümesi içerisinde bulunan ve en fazla komşuluğa sahip düğüm ile değiştirilmektedir. Bu sayede yük dağılımı yapılarak ağın ömrü uzatılmaktadır. Önerilen çözüm kümeleme yapılmadan oluşturulan ağlardan %60 daha verimlidir ve LEACH algoritması ile karşılaştırıldığında daha verimli olduğu görülmüştür. LEACH algoritması en bilinen kümeleme algoritmalarından bir tanesi olduğu ve literatürde yapılan diğer çalışmalar çok yüksek oranda LEACH ile karşılaştırıldığı için seçilmiştir. Gelecek çalışmalarda farklı küme başı seçim yöntemleri kullanılarak ağın ömrünün daha uzun ve enerji tüketimini daha verimli bir hale getirilmesi sağlanabilir.

VI. KAYNAKLAR

- [1] V. Potdar, A. Sharif and E. Chang, "Wireless Sensor Networks: A Survey," in *International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops*, Bradford, United Kingdom, 2009, pp. 636-641.
- [2] M. Pule, A. Yahya and J. Chuma, "Wireless sensor networks: A survey on monitoring water quality," *Journal of Applied Research and Technology*, vol. 15, no. 6, pp. 562-570, 2017.
- [3] M. Dener, "Kablosuz Sensör Ağlar ile Yeri Tespit Edilen Doktorların Konum Bilgilerinin Android ve Web Tabanlı Platformlar Üzerinden Görüntülenmesi," *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, c. 11, s. 2, ss. 203-210, 2018.
- [4] J. Yick, B. Mukherjee and D. Ghosal, "Wireless sensor network survey," *Computer Networks*, vol. 52, pp. 2292-2330, 2008.
- [5] M. F. Othman and K. Shazali, "Wireless Sensor Network Applications: A Study in Environment Monitoring System," *Procedia Engineering*, vol. 41, pp. 1204-1210, 2012.
- [6] N. Srivastava, "Challenges of Next-Generation Wireless Sensor Networks and its impact on Society," *Journal of Telecommunications*, vol. 1, no. 1, pp. 128-133, 2010.
- [7] T. Bala, V. Bhatia, S. Kumawat and V. Jaglan, "A survey: issues and challenges in wireless sensor network," *International Journal of Engineering & Technology*, vol. 7, no. 2.4, pp. 53-55, 2018.
- [8] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam and E. Cayirci, "A survey on sensor networks," *IEEE Communications Magazine*, vol. 40, no. 8, pp. 102-114, 2002.
- [9] S. Dhiviya, A. Sariga and P. Sujatha, "Survey on WSN Using Clustering," in *2017 Second International Conference on Recent Trends and Challenges in Computational Models (ICRTCCM)*, Tindivanam, Tamilnadu, India, 2017, pp. 121-125.
- [10] M. M. Raouf, "Clustering in Wireless Sensor Networks (WSNs)," *Journal Of Baghdad University College of Economic Sciences*, vol. 57, 2019.


- [11] M. C. M. Thein and T. Thein, "A Framework for Secure and Survivable Wireless Sensor Networks," *Annals of Dunărea de Jos University. Fascicle I : Economics and Applied Informatics.*, pp. 243-252, 2009.
- [12] P. Kumar, M. P. Singh and U. S. Triar, "A Review of Routing Protocols in Wireless Sensor Network," *International Journal of Engineering Research & Technology*, vol. 1, no. 4, pp. 1-14, 2012.
- [13] I. Ouafaa, K. S. Ddine, L. Jalal and E. H. Said, "Recent Advances of Hierarchical Routing Protocols for AdHoc and Wireless Sensor Networks: A Literature Survey," *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, vol. 9, no. 2, pp. 71-79, 2016.
- [14] W. R. Heinzelman, A. Chandrakasan and H. Balakrishnan, "Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks," in *Proceedings of the 33rd Annual Hawaii International Conference on System Sciences*, Maui, Hawaii, 2000, pp. 1-10.
- [15] L. Li, X. Jiang, S. Zhong and L. Hu, "Energy Balancing Clustering Algorithm for Wireless Sensor Network," in *International Conference on Networks Security, Wireless Communications and Trusted Computing*, Wuhan, China, 2009, pp. 61-64.
- [16] W. Liu, Z. Wang, S. Zhang and Q. Wang, "A Low Power Grid-Based Cluster Routing Algorithm of Wireless Sensor Networks," in *International Forum on Information Technology and Applications*, Kunming, Yunnan, China, 2010, pp. 227-229.
- [17] P. K. J. Srikanth Jannu, "Energy Efficient Grid Based Clustering and Routing Algorithms for Wireless Sensor Networks," in *Fourth International Conference on Communication Systems and Network Technologies*, Newyork Washington, DC, United States, 2014, pp. 63-68.
- [18] M. Abdullah, H. N. Eldin, T. Al-Moshadak, R. Alshaik and I. Al-Anesi, "Density Grid-Based Clustering for Wireless Sensors Networks," *Procedia Computer Science*, vol. 65, pp. 35-47, 2015.
- [19] S. Jannu and P. K. Jana, "A grid based clustering and routing algorithm for solving hot spot problem in wireless sensor networks," *Wireless Networks*, vol. 22, no. 6, pp. 1901-1916, 2016.
- [20] M. M. Kareem, M. Ismail, M. A. Altahrawi, N. Arsad, M. F. Mansor and A. H. Ali, "Grid Based Clustering Technique in Wireless Sensor Network using Hierarchical Routing Protocol," in *IEEE 4th International Symposium on Telecommunication Technologies (ISTT)*, Selangor, Malaysia, 2018, pp. 1-5.
- [21] A. A. Kamil, M. K. Naji and H. A. Turki, "Design and implementation of grid based clustering in WSN using dynamic sink node," *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, vol. 9, no. 5, pp. 2055-2064, 2020.
- [22] B. S. Hassen, A. Lafta, H. Noman and A. H. Ali, "Analyzing the Performances of WSNs Routing Protocols in Grid-Based Clustering," *International Journal on Advanced Science Engineering and Information Technology*, vol. 9, no. 4, pp. 1211-1216, 2019.
- [23] K. R. Bhakare, R. K. Krishna and S. Bhakare, "An Energy-efficient Grid based Clustering Topology for a Wireless Sensor Network," *International Journal of Computer Applications*, vol. 39, no. 14, pp. 24-28, 2012.
- [24] H. Zhou, D. Luo, Y. Gao and D. Zuo, "Modeling of Node Energy Consumption for Wireless Sensor Networks," *Wireless Sensor Network*, vol. 3, no. 1, pp. 18-23, 2011.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Derleme Makalesi

Akıllı İç Mekân Mobilyalarının Sınıflandırılması

 Alptekin TORUN^{a,*}

^a İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümü, Güzel Sanatlar ve Mimarlık Fakültesi, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Konya, TÜRKİYE

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

DOI:10.29130/dubited.981486

ÖZ

Günümüzde ev kullanıcısının istek ve ihtiyaçları her geçen gün artmaktadır. Bu bütün istek ve ihtiyaçları karşılamak için daha geniş alanlar yaratmak bir sorundur. Bu anlamda daha büyük bir konut birimine geçmek yerine daha fazla insanın ihtiyacını karşılayan birden fazla işleve sahip çözümler gerekmektedir. Bu makalede, akıllı ev sistemlerinin bir parçası olan akıllı mobilyalar, günümüzün ihtiyaçları ve teknoloji yönelimleriyle birlikte incelenmiştir. Makale, akıllı mobilyaların mantığının genel perspektifinin görülmesi ve akıllı mobilyaların potansiyel yönelimlerinin irdelenmesi açısından önemlidir. Makalede akıllı mobilyalar günümüzdeki dağılımına göre sınıflandırılmış, avantaj ve dezavantajları ortaya konulmuştur. Bu bakımdan bu çalışmanın aynı zamanda mevcut literatürü toparlayıcı bir etkisinin olması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Akıllı mobilya, İç mekân, Akıllı evler, Bilişim teknolojileri

Classification of Smart Indoor Furniture

ABSTRACT

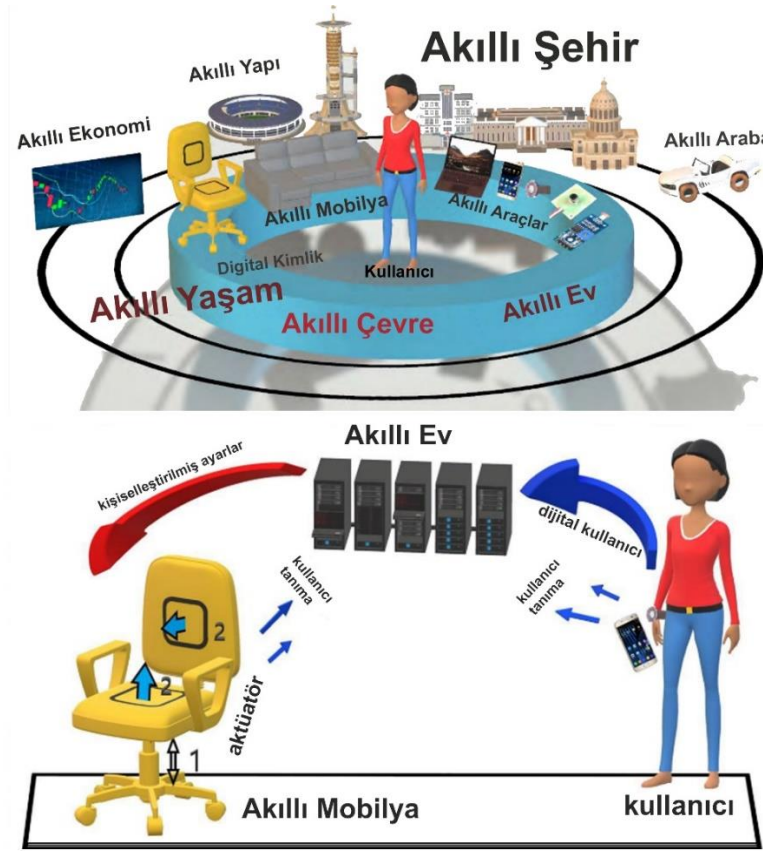
Today, the demands and needs of the home user are increasing day by day. Creating larger spaces to fulfill all these wants and needs is a challenge. In this sense, instead of moving to a larger housing unit, multifunctional solutions that fulfill the needs of more people are required. In this article, smart furniture, which is a part of smart home systems, has been examined together with today's needs and technology trends. The article is important in terms of seeing the general perspective of the logic of smart furniture and examining the potential orientations of smart furniture. In the article, smart furniture is classified according to its current distribution, and its advantages and disadvantages are revealed. In this respect, it is expected that this study will also have a unifying effect impact on the existing literature.

Keywords: Smart furniture, Interior, Smart homes, Information technologies

I. GİRİŞ

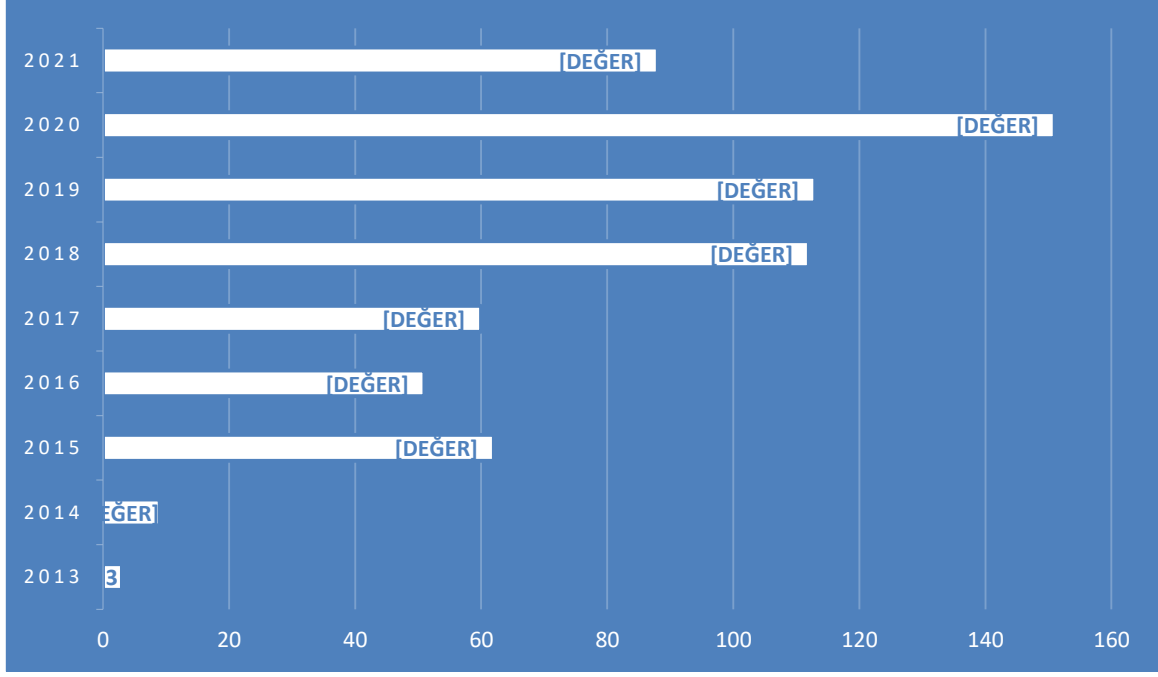
Günümüzde ev kullanıcısının istek ve ihtiyaçları her geçen gün artmaktadır. Bu bütün istek ve ihtiyaçları karşılamak için daha geniş alanlar yaratmak bir sorundur. Bu anlamda daha büyük bir konut birimine geçmek yerine daha fazla insanın ihtiyacını karşılayan birden fazla işleve sahip çözümler gerekmektedir. Bu noktada akıllı ev sistemlerinin ve akıllı mobilyaların önemi ortaya çıkmaktadır.

Akıllı sistemler, kullanıcıları için verimli, uygun maliyetli ve çevresel olarak onaylanmış bir ortam yaratmak amacıyla bina yapılarını, sistemleri, hizmetleri ve yönetimi entegre ve optimize eden çok disiplinli bir kavramdır [1]. Akıllı evlerde kullanıcıları algılayabilen, tanımlayabilen ve onlarla etkileşime girebilen birimler ile kullanıcı ihtiyaçları ve arzuları karşılanabilir. Akıllı mobilyalar, akıllı evlerin bir parçasıdır. Akıllı mobilya diğer akıllı ev sistemlerinin tanımlamalarıyla ortak bir paydada buluşur.



Şekil 1. "Akıllı" ve "Akıllı Mobilya" konsepti. Görsel, [2]'den derlenmiş, metnin yazarı tarafından düzenlenmiştir.

Akıllı mobilyaların gelişimi her geçen gün artmaktadır. Akıllı mobilyalar alanında son yıllarda yapılan patent başvuruları bunun en açık göstergelerindendir. Tüm bu gelişmelere rağmen Türkiye'de akıllı mobilyaları odağına alan yeterli makale bulunmamaktadır.



Şekil 2. Patent araştırma sayfası olan Espacenet’de; patentlerin başlık, özet ya da istemler kısmında “Smart Furniture” kavramının geçtiği sonuçlar listelenmiştir. 01.01.2013 ile 19.07.2021 tarihleri arasındaki veriler tabloda listelenmiştir. 2013 yılından önceki patentlerin başlık, özet ya da istemler kısmında “Smart Furniture” kavramının geçtiği sadece iki patent başvurusu bulunmuştur.

Bu makalede günümüzdeki akıllı mobilyaların özellikleri, akıllı mobilya örnekleri üzerinden incelenmiştir. Tasarımı ve üretimi hızlı bir şekilde artan akıllı mobilyaların baskın özelliklerine göre sınıflandırılması yapılmıştır. Makalenin son bölümünde ise akıllı mobilyaların avantajları ve dezavantajları tartışılmıştır. Bu araştırma, akıllı mobilyaların tanımının daha yeni netleşmeye başladığı günümüzde [2], akıllı mobilyaların genel perspektifinin daha net görülmesi açısından önemlidir.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

Araştırmanın materyalini akıllı mobilyalar oluşturmaktadır. Akıllı mobilyalar; bir tür enerji kaynağına dayalı olarak çalışan, kullanıcıların verilerini toplayan, değerlendiren ve yönetebilen, bu manada kullanıcıların ve ev aletlerinin işini kolaylaştıran, entegre internet bağlantısını kullanarak birden çok fonksiyonu gerçekleştirebilen, akıllı veya uzaktan kumandalı bir sistemle yönetilebilen ağ bağlantılı bir mobilya türüdür [2]–[4]. Akıllı mobilyalar, kullanıcı tarafından verilen her kişiselleştirilmiş gereksinime uygun koşullar yaratan, konforu en üst noktaya taşımayı amaçlayan mobilyalardır [5]. Akıllı mobilyaların ağa bağlı bir bilgisayar, I/O (analog dijital giriş/çıkış) cihazlar veya sensörlerle donatılması, ağ altyapısı veya kullanıcının cihazları ile koordinasyonu gereklidir [6]. Bu teknolojiler, sensörler, uzaktan kumandalar ve diğer cihazlar, en son teknolojik gelişmeleri birleştirerek, akıllı evlerin iyi bilinen dünyasında yaygın olarak kullanılmaktadır [4]. Dolayısıyla akıllı mobilyanın temel konsepti; bilgi iletişim ağı, nesnelerin interneti ve sensörler aracılığıyla cihazlarla iletişim kurmalarını sağlayan bilgi teknolojisi yetenekleriyle donatılabiliridir.

Makalede, akıllı mobilyalar literatür taraması ile incelenmiştir. Web of Science, Science Direct, Google Scholar arama motorları, Trendhunter platformu, Espacenet patent araştırma sayfası kullanılmıştır.

Akıllı mobilya araştırmalarında kullanılan anahtar kelimeler [2], [4], akıllı mobilyaların değerli görülen özellikleri [5], akıllı mobilyaların tercih edilme sebepleri ve kullanıcı kitlesinden yola çıkarak,

görüntüye göre (estetik), kullanılan sensör ve cihaz türüne göre, kullanıcıya göre, kullanım türüne göre, maliyetine göre ve öne çıkan özelliklerine sınıflandırılmak istenmiştir. Akıllı mobilya sektöründe kendine yer edinmiş firmalar ya da yer edinme potansiyeli barındıran (trendhunter vb. platformların verilerine göre), uluslararası dergilerde yayımlanmış makaleler, sempozyum bildirimleri ve patent incelemeleri değerlendirilmiş, değerlendirmeler sonucunda akıllı mobilyaların baskın özellikleri sınıflandırılmıştır. Sınıflandırmalar için sınıflandırmaya en uygun örneği oluşturabilecek akıllı mobilyalar seçilmiş ve bu mobilyalar üzerinde sınıflandırmaya tabi tutulan özellikler incelenmiştir. Seçilen örnekler ile evren hakkında genel bir yargıya varılmaya çalışılmıştır.

III. AKILLI MOBİLYALARIN SINIFLANDIRMALARI

A. KULLANIM ALANINA GÖRE SINIFLANDIRMA

Kullanım alanına göre sınıflandırma, akıllı mobilyaların genel üretim yönelimini kapsar. Akıllı mobilya sektörünün de çoğunluğunu oluşturan [7], 3 ana başlık bu sınıflandırma içerisinde değerlendirilmiştir: akıllı ev mobilyaları, medikal akıllı mobilyalar, akıllı ofis mobilyaları.

A.1. Akıllı Ev Mobilyaları

Akıllı sistemlerin içerisinde akıllı mobilyalar önemli yer tutar. Mutfaktan salona, salondan banyoya birçok akıllı mobilya üretilmiştir. Gelecekte akıllı mobilyaların yaygınlaşması konutların boyutlarının küçülmesine, konutların boylarının küçülmesi ise akıllı mobilyaların üretiminin artmasına neden olacaktır.

Akıllı mutfak mobilyaları genellikle birden fazla fonksiyonu kapsayarak, hem yerden tasarrufu hem de kullanım kolaylığını artırmıştır. Akıllı mutfak teknolojilerine tipik mutfak düzeninden farklı olarak tv, internet bağlantılı ekranlar ve otomatik kontrol sistemleri eklenmiştir. Günümüzde akıllı mutfak teknolojilerinin içerisine yemek ve temizlik yapan robotların da girmesiyle beraber [8], gelecekte kullanıcının mutfak içerisindeki rolü en düşük seviyeye inebilir.

Moley Robotics şirketinin geliştirdiği robotik mutfak; entegre dolaplar, tencereler, saklama kapları, taze yiyecek pişirmek için kullanılan aletler ve bunlarla çalışmak için iki robot kolundan oluşur. Moley Robotu, bir dizi sensör ve optik kamerayı kullanarak çevreyi algılar. Yemek yapmaktan temizliğe kadar bir mutfakta yapılabilecek her işi yapabilir [8]. Mutfak, belirli bir ürün bitmek üzere olduğunda kullanıcıları bilgilendiren akıllı bir depolama sistemi, bir ürünün raf ömrü dolmak üzereyken kullanıcıları bilgilendiren buzdolabı ve diğer akıllı cihazlar ile donatılmıştır [8].



Şekil 3. Moley Robotik Mutfak. Görseller [8]'den derlenmiş, metnin yazarı tarafından düzenlenmiştir.

Evin bir diğerk bölümü, yatak odası için birçok akıllı mobilya patenti bulunmaktadır [4]. Katlanarak alandan tasarruf edilebilen, dolap, çekmece gibi farklı işlevler için kullanılabilen, horlamayı engelleyip ya da yorgunluğu azaltıp uyku kalitesini artırabilen mobilyalar bunlardan bazılarıdır [4].

Yatak odası için tasarlanan akıllı mobilyalar ile kullanıcının konforunun en üst seviye çıkarılması amaçlanmıştır. Hi-Interiors HiBed Canopy Smart Bed, birçok fonksiyonu bir arada çözen bir akıllı yataktır. TV, çeşitli amaçlar için planlanmış aydınlatma elemanları ve yatak bir tasarımda çözümlenmiştir. Bu tasarımda, gerek duyulduğunda odayı aydınlatabilen aydınlatma elemanı gibi küçük detaylar önemsenmiştir.



Şekil 4: Hi-Interior HiBed Canopy Smart Bed. [9]'den derlenmiş, metnin yazarı tarafından düzenlenmiştir.

A.2 Medikal Akıllı Mobilyalar

Son bilimsel ilerlemeler ve teknolojik gelişmelerle birlikte akıllı tıbbi cihazlar gelişmeye başlamıştır. Yirminci yüzyılın son on yılından itibaren, tıbbi yataklar, bu cihazlar içinde iyi bilinen yerleşik özelliklere uyum sağlarken, yeni biçimler ve işlevler olarak günümüz gelişmelerinden özellikle etkilenmiştir [10]. Sağlık sistemine sorunsuz bir şekilde entegre edilen akıllı yataklar, bakıcılar için daha verimli ve hastalar için daha duyarlı ortamlar sağlama konusunda benzersiz bir fırsata sahiptir [10].



Şekil 5. Olympia Hastanesi akıllı tıbbi yatak. [11]'den derlenmiş, metnin yazarı tarafından düzenlenmiştir.

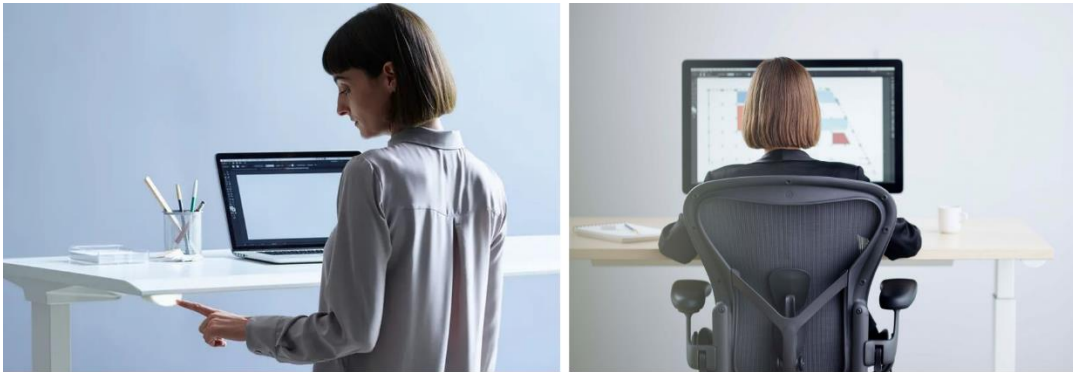
Akıllı tıbbi yataklarda;

- Yataktan çıkış alarmları,
- Engel algılama,
- Gelişmiş hareket seçenekleri,
- Ses terapisi,
- Hasta ve yatak geçmişi kaydı,
- Entegre ölçeklendirme,
- Yatak başı açısı ayarlama,
- Hasta durdurma veya engelleme,
- Dil çevirisi,
- Entegre aksesuar-kontrolleri,
- Yatağın dört tarafında sezgisel kontroller,
- Hastanın durumu ile ilgili bilgi paylaşımı gibi özellikler ön plana çıkmaktadır [11]–[14].

A.3. Akıllı Ofis Mobilyaları

Ofis çalışanlarının iş performanslarını artıracak, zaman kazandıracak, iş kolaylığı sağlayacak fonksiyonel yaklaşımlar akıllı ofis mobilyalarının önemli gerekliliklerindedir. Ayrıca, gününün çoğunu ofiste geçiren kullanıcıların oturuş pozisyonları sağlıklarını etkileyen faktörlerdendir.

Live Operating System, alan kullanım istatistiklerini izleyen ve aynı zamanda insanların gün boyunca sık sık pozisyon değiştirmelerine yardımcı olan bir dizi mobilyaya bağlı sensör sistemidir [15]. Kullanıcılar, yardımcı mobil uygulaması ile ya da otomatik olarak masanın yüksekliğini ayarlayabilir, masanın standart bir masadan ayakta çalışma masasına dönüşmesini planlayabilir. Böylece çalışanlar genel iş verimliliğini artırır ve monoton çalışma pozisyonlarını değiştirerek daha sağlıklı olabilir. Ayrıca ayarlanabilir masanın canlı gösterge paneli, işyerinin performansını kontrol etmek için gerçek zamanlı bilgiler de sağlar.



Şekil 6. Live Os. Görüntüler [15]'den derlenmiş, metnin yazarı tarafından düzenlenmiştir.

Covid-19 salgınının yayılması ile beraber bilişim teknolojilerinin kullanımı artmıştır. Canlı toplantılar yerini canlı bağlantılara, ofis ortamı yerini ev ofisi ortamına bırakmıştır. Bu değişimle beraber insanların çalışma kültürlerinde de önemli değişimler olmuştur. Bu durum “Home Ofis” kavramının daha sık telaffuz edilmesine sebep olmuştur.

B. KULLANICIYA GÖRE SINIFLANDIRMA

Kullanıcı odaklı akıllı mobilyalar, belli insan grupları için tasarlanmıştır. Bu akıllı mobilyalar belli bir yaş grubu [16] için olabileceği gibi belli bir meslek grubu [17] için de olabilir.

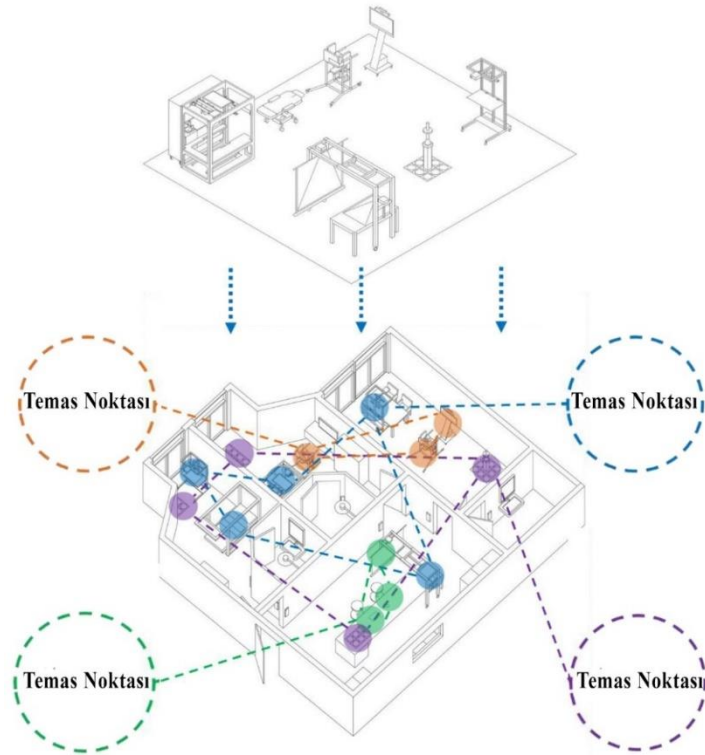
Dünya çapında yaşlı nüfustaki hızlı artış nedeniyle [18], çeşitli bilgi ve iletişim teknolojileri (BİT) hizmetlerinin üretimi yaşlı kullanıcılar üzerinde yoğunlaşmıştır [4]. Akıllı evlerin teknolojik yönleri üzerinde yoğun çalışmalara rağmen, yaşlı insanların her türlü yeni teknolojiye karşı doğal muhafazakarlığı nedeniyle akıllı mobilyaları benimseme oranları düşüktür [19]–[21]. Ancak akıllı mobilyaların kullanımını benimsetecek uygulamalar ya da daha basit cihazlar ve kullanıcı arayüzler ile yaşlılığın getirdiği zorluklarla daha kolay başa çıkılabilir.

Yaşlılar için hazırlanmış akıllı ev sistemleri ve akıllı mobilyaların 5 ortak özelliği bulunur [20]:

- Ev otomasyonu ile insanların ev ortamının konforunu iyileştirmelerine yardımcı olmak,
- Ev ortamının önemli parametrelerini sürekli olarak izleyerek enerji kullanımı optimizasyonunu sağlamak,
- Sensörler aracılığıyla ev yaşamını ve çevresel tehlikeleri izleyerek kişisel kazaları önlemek,
- Yaşlıların algı ve bilişsel yetenekler gibi akıllı teknolojiler aracılığıyla fiziksel işlevin azalmasıyla başa çıkmalarına yardımcı olmak,
- Sağlık yönetimi ve rehabilitasyon tedavisi sağlamak için giyilebilir biyomedikal sensörler aracılığıyla yaşlıların hareketliliğini ve fizyolojik parametrelerini izlemektir.

Akıllı projeler, yaşlılar için kullanılan alanları iyileştirmeye ve yükseltmeye çalışmıştır. Örneğin mobil bir robot, yaşlıların düşüşünü algılayarak yaşlıları bu tür kazaların zararlarından koruyabilmektedir [22,23].

REACH isimli şirket, klinik ve bakım ortamlarını bir dizi akıllı mobilya ile yaşlıları sağlıklı olmaya teşvik eden kişiselleştirilmiş modüler algılama, önleme ve müdahale sistemlerine dönüştürecek bir akıllı sistem konsepti geliştirmiştir [24]. Bu konseptte akıllı mobilyalar ile çeşitli yaşam alanları yaratılmıştır. Sistemde, kullanıcısının vücut ısısını ve solunum hızını izleyebilen termal kamera, vücut basıncı ölçebilen basınçlı şilte ve kullanıcının bakıcıya ihtiyaç duymadan kolayca hareket etmesine sağlayan bir hareketlilik cihazı bulunur.



Şekil 7. Akıllı mobilyalardan oluşan akıllı sistem konsepti. Görseller [24]'den derlenmiş, metnin yazarı tarafından düzenlenmiştir.

C. ÖNE ÇIKAN ÖZELLİĞİNE GÖRE SINIFLANDIRMA

C.1. Çok Amaçlı (Multifonksiyonel) Akıllı Mobilyalar

Multifonksiyonel akıllı mobilyalar birden fazla amaca hizmet eden akıllı mobilyalardır. Akıllı mobilyaların mantığında kullanıcısının ihtiyaçlarını kapsamlı ve pratik bir şekilde çözmek yatmaktadır. Çeşitli uygulamalarla, internet bağlantısıyla, belki bir ses algılayıcısıyla ya da el hareketiyle kullanıcısını algılayan bu mobilyalar birçok fonksiyonu bir arada çözüme özelliğine sahiptir.

Bir multifonksiyonel akıllı mobilya örneği olarak Moneual Touch Table PC, restoran ve kafelerde kullanılmak üzere tasarlanan dokunmatik masadır. Masanın ortasında, menüye göz atmak ve sipariş vermek için kullanılan büyük bir ekran ve masanın köşesinde faturanın ödenmesi için bir yer bulunur.



Şekil 8. Moneual Touch Table PC. Görüntüler [17], [25]'den derlenmiş, metnin yazarı tarafından düzenlenmiştir.

C.2. Yerden Tasarruf Ettiren Akıllı Mobilyalar

Maksimum işlevsellik sağlamak için yerden tasarruf eden, aynı zamanda birden fazla işleve sahip olabilen bu mobilyalar planlı bir sirkülasyonda hareket ettirilebileceği gibi modül bir tasarım olarak da kullanılabilir.

C.2.1. Belli Bir Sirkülasyona Göre Hareket Eden Modüler Akıllı Mobilyalar

Bu tür akıllı mobilyalar önceden tanımlanan belli bir plan ya da olasılığa göre hareket eder. Parçaların hareketleri ile belli bir alanda soyutlanabilir [26], niceliği artırılır ya da azaltılabilir [27], ya da dar alanda birden fazla fonksiyona hitap ederek yerden tasarruf ettirebilir [28].

Ori, bir telefon uygulaması ile mobilyaların ihtiyaçlara göre hareket ettirildiği ve tek bir akıllı alanda birden fazla odanın oluşturulabildiği fonksiyonel bir mobilya markasıdır. Yatak odasından özel ofise, oturma odasından gömme dolaba, ihtiyaç duyulan doğru alanı ortaya çıkarır.



Şekil 9. Ori Suit Studio ve Ori Cloud Bed'in çalışma mantığı. Görseller [28]'den derlenmiş, metnin yazarı tarafından düzenlenmiştir.

C.2.2. Bağımsız Hareket Ettirilebilen Modüler Akıllı Mobilyalar

Akıllı mobilyalar, çeşitli hizmetlere uyarlanabilmek için, her bir parçanın yeniden kullanılabilirdiği, çeşitli şekillerde kolayca birleştirilebilen, değiştirilebilen modüler parçalar ile tasarlanabilir. Akıllı modüler mobilyaya örnek olarak Lift-Bit gösterilebilir.

Lift-Bit, farklı yüksekliklere ayarlanabilen ve farklı konumlar alabilen hareketli birkaç modüler üniteden oluşur. Lift-Bit, IoT (Nesnelerin İnterneti) teknolojisini kullanır ve el hareketleriyle çalıştırılabilir [29]. Kanepenin farklı bileşenli tabureleri bir akıllı telefonda veya başka herhangi bir akıllı cihazdan kontrol edilebilir. Lift Bit'in duyarlı modülleri, kullanıcının ihtiyaç ve isteklerine göre sorunsuz bir şekilde bir kanepeye, bir yatağa, düzenli bir oturma odasına, küçük bir oditoryuma veya ev ortamına dönüşebilir [30].



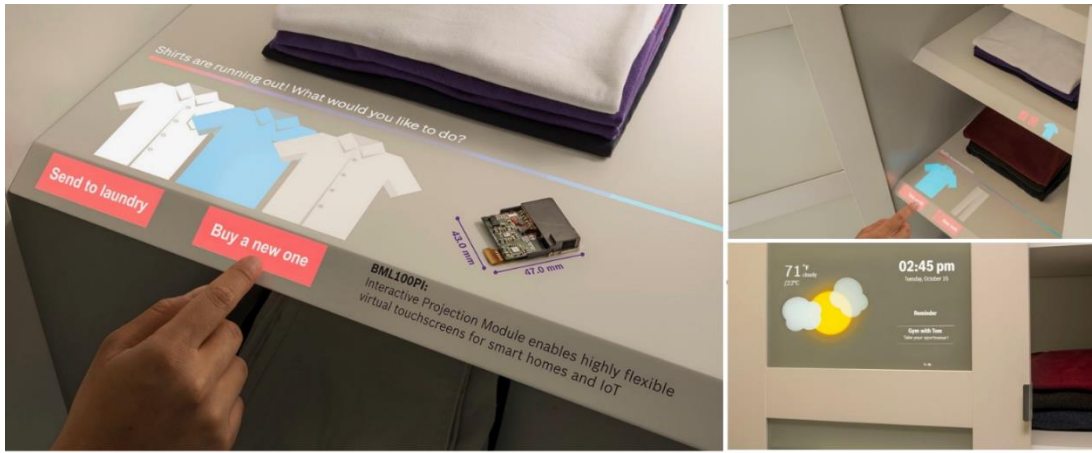
Şekil 10. Lift-Bit. Görseller [30]'den derlenmiş, metnin yazarı tarafından düzenlenmiştir.

C.3. Fonksiyon Entegrasyonlu Akıllı Mobilyalar

Bu tür akıllı mobilyalar entegre oldukları modül, akıllı telefon, mikroçip ya da giyilebilir bir cihazla birlikte özellik kazanır.

Bilgiye erişim mobilyası adının verildiği bir sistemde gömülü modüller yerleştirileceği herhangi bir yüzeyde haber okumak ya da görüntü içeriği izlemeyi mümkün kılmıştır. Duvar, ayna, masa gibi yerlere yerleştirilen gömülü modül ilgili verileri yüzeye yansıtıp kullanıcılara sezgisel bir arayüz sunarak rutin faaliyetleri yaparken kolayca bilgi edinmelerine yardımcı olmuştur [31].

Almanya merkezli bir firma olan Bosh'un tasarladığı bir diğer etkileşimli projeksiyon modülü, gardıroplara veya herhangi bir yüzeye yansıtılarak hava durumu programının görüntülenmesine, yeni giysiler satın alınmasına, kuru temizleme servisi rezervasyonunun yapılmasına hatta gerektiğinde kıyafetin önerilmesine imkân tanıyabilir [32].



Şekil 11. Görşeller [32]'den derlenmiş, metnin yazarı tarafından düzenlenmiştir.

C.4. İnteraktif Akıllı Mobilyalar

Akıllı mobilyaların, bilgisayarlar, sensörler, cihazlar ve diğer cihazlar ile birlikte kullanıcısıyla bağlantı kurup kullanıcısının verilerini toplama, analiz etme ve verilere dayalı yanıt verme yetenekleri bulunur [33], [34]. İnteraktif akıllı mobilyalar, kullanıcıların hareketlerini ve aktivitelerini tahmin eder, tanır ve kontrol eder ve bu duruma göre otomatik olarak yanıt verir. Bu tür akıllı mobilyalar karşılıklı etkileşimi teşvik eder. İnteraktif akıllı mobilyalar, kullanıcıların daha aktif olmaları nedeniyle daha yüksek kabul edilebilirlik hissi ve daha fazla kontrol sahibi olma hissi uyandırır.

Bu mobilyalara, kanepeye entegre edilmiş sensörler sayesinde kullanıcıların duygularını algılayan ve yanıt veren kanepeler örnek gösterebiliriz [35], [36]. Silvia Rus ve diğerlerinin [35], Duygusal Kanepeler ismini verdiği kanepeler, duygusal durumların sınıflandırılması için standart makine öğrenme teknikleri kullanır ve tüm duygular (sevinç, üzüntü, rahatlama, ilgi ve kaygı) için %52,6, harekete geçirilen duygular için %77,7 doğruluk payı elde etmiştir.

Modüler akıllı bir mobilya konsepti olan Foxels, birçok bloktan ve bir masadan oluşan modüller ve interaktif bir akıllı mobilyadır. Bloklar, birlikte hareket edebilen etkileşimli düğme, sensörler, zamanlayıcılar, ekranlar gibi farklı teknolojiler içerir [37]. Bloklar dikey veya yatay şekilde birbirlerine bağlanabilir ve her düzenleme algılanan düzenlemeye göre farklı bir tepki verir. Blokların tepkisi, hafif bir tıklatma ya da etkileşimli düğme ile değiştirilebilir. Birbirinden farklı birçok senaryoyla akıllı mobilya ile kullanıcı etkileşimi gerçekleştirilir.



Şekil 12. Foxels İnteraktif Akıllı Mobilya. Görseller [37]'den derlenmiş, metnin yazarı tarafından düzenlenmiştir.

D. KULLANILAN SENSÖR VE CİHAZ TÜRLERİNE GÖRE SINIFLANDIRMA

D.1. Ortam Sensörlü Akıllı Mobilyalar

Dış ortamdaki sesi, görüntü, sıcaklık, nemi, kullanıcının oluşturduğu basıncı, baskıyı, hatta kullanıcısının kalp atış hızını [3], algılayıp yanıt veren akıllı mobilyalardır. Dış ortamdaki sıcaklığı ve nemi, sensörlerin kullanımı yoluyla izleyebilen ve aldığı verilere göre hareket eden panjur [38] bu sınıflandırmanın içine girebilecek örneklerden biridir.

Ziran He ve diğerleri [3], balistokardiyograma dayalı nabız ölçüm sistemi sağlayan akıllı bir sandalye önermiştir. Araştırmacıların ifadesiyle, balistokardiyogram, cilde bir temas sağlanmadan kalp atış hızını ölçmeye yarar; bu ölçüm ise kalp kasılmalarının vücutta oluşturduğu sarsıntıların kaydedilmesi ve incelenmesi yoluyla sağlanır. Ancak, kalp kasılmalarının sarsıntılarını ölçmek hassasiyet gerektirdiği için vücut hareketleri ve konuşma gibi diğer eylemler doğru ölçümleri engelleyebilir. Araştırmacılar, bu sorunu çözebilmek amacıyla kayıtların doğruluğunu engelleyen diğer gürültülerin filtrelenmesini amaçlamıştır. Hareket deneyi sonucunda sandalyedeki sistemin ortalama “%1,03 hata” oranı yakaladığı görülüyor.

Axia Akıllı Sandalye, basınç sensörleriyle kullanıcısının doğru oturuş pozisyonlarında kalmasına yardımcı olur. Sandalye her saniye oturma duruşunun kalitesini gösteren bir derece hesaplar. Eğitim, uzun süre düşük olduğunda, kullanıcısına sağ uyuğun altındaki bir titreşim sinyali aracılığıyla geri bildirim verir.



Şekil 13. Axia Akıllı Sandalye çalışma mantığı. GörSELLER [39]'den derlenmiş, metnin yazarı tarafından düzenlenmiştir.

D.2. Kablosuz Ağ Bağlantılı Akıllı Mobilyalar

Akıllı mobilyaların büyük çoğunluğu kablosuz ağ bağlantısını içerir. Güney Kore şirketi LG'nin LG Styler adlı modeli de bu sınıflandırmanın içerisinde. LG Styler, Wi-Fi özellikli dokunmatik ekrana sahip olan akıllı bir dolaptır. Kırıksıklıkları buharla giderir, elbiseleri kurutur, elbiseleri dezenfekte eder ve taze görünmesini sağlar.



Şekil 14. LG Styler'in özellikleri. GörSELLER [40]'den derlenmiş, metnin yazarı tarafından düzenlenmiştir.

E. GÖRSEL ETKİYE GÖRE AKILLI MOBİLYALAR

Akıllı mobilyalar estetik zevklere, yaşam formlarına göre her tarzda tasarlanabilir ancak genellikle modern ve fütüristik bir tasarım görüntüsünde yaratılmıştır.

E.1. Modern Akıllı Mobilyalar

LAGO Talking Furniture, kullanıcıların akıllı telefonları ile mobilya parçalarıyla etkileşime girmesini sağlamak için NFC (Yakın Alan İletişimi) teknolojisini kullanan modern akıllı mobilya örneğidir. Bu

yüksek teknoloji ürünü akıllı mobilya parçaları, mutfakta yemek tariflerini öğrenmek, ürün bilgilerini sağlamak ve anıları görüntülemek için akıllı telefona bağlanan yerleşik bir mikroçip kullanır [41]. Talking Furniture, kullanıcıların kendileriyle ilgili tüm anılarını hatırlamalarına yardımcı olan bir tür akıllı mobilyadır. Mobilyaların hafızasına mobil uygulamayla birlikte ileride kullanmak üzere fotoğraf, ses ve video kaydedilebilir.



Şekil 15. LAGO Talking Furniture. [42]'den derlenmiş, metnin yazarı tarafından düzenlenmiştir.

E.2. Fütüristik Akıllı Mobilyalar

MWE Emperor 200'ün akrep benzeri tasarımı ile fütüristik bir görüntü sergiler. Kullanıcısı için çeşitli açılarda ayarlanabilir. Koltuğun önünde bir dokunmatik ekran paneli ve klavyeleri ve bilgisayar farelerini tutmak için bir mini masa, tamamı ayarlanabilir üç adet monitör ve daha birçok özelliğiyle kullanıcısının bütün imkânlarını bir araya getirir.



Şekil 16. Emperor 200. Görseller [43]'den derlenmiş, metnin yazarı tarafından düzenlenmiştir.

F. MALİYETE GÖRE SINIFLANDIRMA

Akıllı mobilyalar yüksek maliyet içeren ancak genellikle enerji tasarrufu ve yaşam kalitesine katkısı itibarıyla uzun vadede de olsa maliyetini karşılayan mobilyalardır. Teknolojinin de ilerlemesi ile bazı akıllı mobilyalar daha az maliyetli ve daha ulaşılabilir olabilir. Ancak bazı üretilen akıllı mobilyalar da tamamen lüks ve konfor odaklı olmaktadır.

F.1. Konfor Odaklı, Lüks Akıllı Mobilyalar

Coosno, ev hayatını, eğlenceli ve daha rahat hale getirecek akıllı bir ev mobilyasıdır. Coosno, fütüristik tasarımı ve kullanışlı özellikleriyle dikkat çeker. Çekmeceleri ve geniş buzdolabı ile saklama ve depolama imkânı sağlar. Müzikle senkronize olabilen LED aydınlatmaları, akıllı telefonlarla uyumlu müzik seti, birden fazla Bluetooth hoparlörü, LED'in üstüne yerleştirilerek şarj edilme imkânı ile birden fazla amaca hizmet eder [44]. Ayrıca, kullanıcılar, Coosno'nun ev asistanı ile basit sesli komutları kullanarak hemen hemen her bilgiye anında erişebilir.



Şekil 17. Coosno'nun ev içinde görüntüsü. Görseller [45] 'den derlenmiş, metnin yazarı tarafından düzenlenmiştir.

F.2. Uygun Fiyatlı Akıllı Mobilyalar

Birlikte verilen uzaktan kumanda ile panjurları yataktan ya da herhangi bir yerden ayarlamayı öneren Fyrtur, düşük maliyetli akıllı sistemlerden biridir.



Şekil 18. Fyrtur'un kullanımını gösteren görseller [46] 'den derlenmiş, metnin yazarı tarafından düzenlenmiştir.

F.3. Yüksek Tasarruflu (Geri Ödemesi Kısa) Akıllı Mobilyalar

Bazı akıllı mobilyalar yüksek enerji tasarrufu ve çevresel avantajları ile diğer akıllı mobilyalara göre çok daha kısa geri ödeme sürelerine sahiptir. Bu tip akıllı mobilyalar; pratik, basit, maliyetsiz çözümleriyle öne çıkar.

Tempronics, ofis ortamlarını çalışanlar için daha konforlu hale getirebilecek bir ürün piyasaya sürmüştür. Tempronics kurumsal enerji verimsizliğinin yanı sıra rahatsızlık sorunlarını akıllıca çözen, ısıtmalı ve klimalı bir akıllı sandalyedir. Şirket, sandalyelerin bir dizüstü bilgisayarla karşılaştırılabilir miktarda elektriksel güç kullandığını ve geleneksel ısıtma yöntemlerinin maliyetini önemli ölçüde azaltabileceğini açıklamıştır [47]. Ofisleri soğutmak ve ısıtmak için ihtiyaç duyulan bu çözüm, rakip yüksek kaliteli geleneksel ofis mobilyalarından fazla olmayan bir fiyatla kullanıcıya sunulmuştur [48].



Şekil 19. Ortam sıcaklığına göre Tempronics Chair görüntüsü.

IV. AKILLI MOBİLYALARIN AVANTAJ VE DEZAVANTAJLARI

A. AKILLI MOBİLYA - KULLANICI İLİŞKİSİ

A.1. Avantajlar

- İnsanı çevreleyen her şeyle bütünleşen ve onunla etkileşime giren akıllı mobilyalar ile zamandan ve emekten tasarruf edilebilir.
- Akıllı mobilyaların genel olarak sağlıklı yaşama ve kullanıcıların rahatlığına hitap eden özellikleri bulunur.
- Akıllı Mobilya'nın fiziksel yapısı, donanım cihazları ve yazılım teknolojisinin birleşimi, eski alanı yeni bir akıllı bir alana dönüştürebilir.
- Fiziksel engelliler ve yaşlılar için zorlayıcı olabilecek temas gerektiren durumların yerine sesli kullanıcı arayüzlerinin kullanılması büyük kolaylık sağlamaktadır.
- Nesnelerin İnternetinin en yaygın endüstrilerinden biri olan akıllı mobilyalar, küresel yaşlanan toplum sorunlarıyla başa çıkma konusunda büyük potansiyele sahiptir.
- Akıllı teknolojilerin artmasıyla birlikte, evler küçülecek, yapılaşma azalacaktır.

A.2. Dezavantajlar

- Tüm sistemler kullanıcıyı konforuna artıracak şekilde tasarlanırsa da kalıplaşmış yaşam alışkanlıkları akıllı sistemlerin algılanmasını zorlaştırabilir. Yeni etkileşim kalıpları, etkinlikler, yaşam türleri ve bu teknolojilerden kaynaklanan yeni mekânsal organizasyonlar akıllı sistemleri karmaşık bir problem haline getirebilir [49].
- Akıllı mobilyalarda bulunan nesnelerin internetinin (IoT) dağıtımının önündeki en büyük engellerden biri, yeterli güvenliğin sağlanamaması durumlarıdır [4]. Tehlikeli bileşenler, yaygın kötü amaçlı yazılımlar kullanıcılara zorluklar yaşatabilir.

- Elektronik mobilyaların, elektromanyetik ve lazer dalgaları kullanıcılar için olumsuz bir özelliktir.
- Ağ teknolojisi ve öğeler veya ürünler arasındaki uyumluluk sorunları bulunabilir [4].
- Artan IoT pazarıyla birlikte farklı satıcılardan neredeyse aynı işlevleri sağlayan çok sayıda benzer ürün artmasına rağmen, farklı satıcılardan gelen cihazlar birlikte çalışamaz ve bu durum kullanıcıların bir akıllı ev ortamı kurmak için belirli bir satıcı veya hizmet sağlayıcı seçmeye zorlamaktadır [19].
- İnsanların, akıllı sistemlere karşı güven sorununu aşmak için hâlâ yeterince çalışma yapılmış değil ve yaşlıların akıllı sistemleri tam anlamıyla benimseyeceği bir ortam hâlâ hazırlanamadı [19]–[21], [50].
- Uzun vadede aşırı otomasyon, insanları aptallaştırması, düşük sosyal etkileşim seviyeleri ve obezite gibi sosyal ve sağlık sorunlarını ortaya çıkarabilir [21].

B. AKILLI MOBİLYANIN BAKIMI, MALİYETİ VE ONARIMI

B.1. Avantajlar

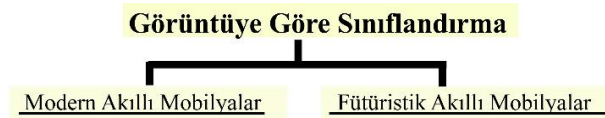
- Akıllı evlerin dolayısıyla akıllı mobilyaların enerji tüketiminin azaltılmasında önemli ölçüde faydaları vardır [1], [51]–[53]. Enerji tüketiminin azaltılması sistem maliyetlerinin geri ödemesini hızlandıracaktır. Ayrıca akıllı sistemler ile kullanıcıların zamandan, emekten ettikleri tasarruf dolaylı anlamda ekonomik kazancı artıracaktır.
- IKEA gibi mevcut büyük mobilya üreticileri, miktar ve uygun maliyetli ürünlere odaklanmaları [4] ile akıllı mobilyalara ulaşım artabilir.

B.2. Dezavantajlar

- Akıllı mobilyalar günümüz şartlarında orta gelirli aileler için yüksek maliyet yükü doğurur. Ürünlerin maliyeti nedeniyle bazı kişilerin henüz akıllı mobilyaları tam olarak kabul etmediği görülür.
- Farklı sistemlerin entegre edilmesinin ortaya çıkardığı maliyetinin yanında geleneksel bir yapının akıllı bir yapıya dönüştürülmesinin maliyeti, akıllı olarak tasarlanmış yapının maliyetine göre çok daha yüksek olduğu da göz önüne alınmalıdır [54].
- Sistem ancak çeşitli sistemlerde uzmanlaşmış ekip tarafından yapılabildiği gibi [54], sistemi tamiri de ancak profesyonel kişilerce yapılabilir [55].
- Sistemde ani arızalar, yanlış alarm gibi aksaklıklar oluşabilir.

V. SONUÇ VE TARTIŞMA

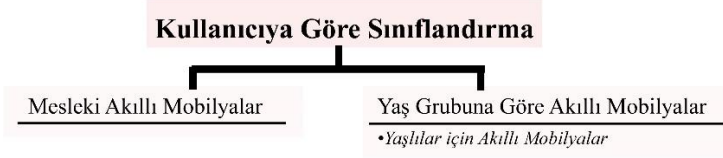
Teknoloji, mimari zekâyı büyük ölçüde etkilemiştir. Akıllı sistemler iç mekân kavramını değiştirmiştir. Teknolojinin ilerlemesi ve yaygınlaşmasıyla birlikte mobilyalardaki değişim ve gelişim de her geçen gün artmaktadır. Mobilyalar “akıllı” sıfatını kazanmasıyla birlikte pasif konumdan aktif konuma yükselmiştir. “Beyaz eşya”, “ev aleti” ve “mobilya” kavramlarının bilişim teknolojilerinden ayrı düşünülmemeyeceği bir çağa doğru ilerliyoruz. Gelecekte bu kavramların sadece tek bir kavramda (akıllı mobilya kavramı) birleşmesi ve bu kavramın evrenselleşmesi kuvvetle muhtemeldir. Makalede akıllı mobilyaları mevcut üretim yönü ve potansiyeli ortaya konmuş, mevcut akıllı mobilyaların sınıflandırmaları yapılmıştır.



Şekil 20. Görüntüye göre akıllı mobilya sınıflandırması.



Şekil 21. Kullanılan sensör ve cihaz türlerine göre akıllı mobilya sınıflandırması.



Şekil 22. Kullanıcıya göre akıllı mobilya sınıflandırması.



Şekil 23. Kullanıcıya göre akıllı mobilya sınıflandırması.



Şekil 24. Kullanıcıya göre akıllı mobilya sınıflandırması.



Şekil 25. Öne Çıkan Özelliğine Göre Akıllı Mobilya Sınıflandırması

Çoğu zaman, topluma katkı sağlamak için teknik bir çözüm tek başına yeterli değildir, yenilikçi çözümlerin yalnızca küçük bir kısmı başarılı bir şekilde pazara ulaşabilir [4], [56]. Akıllı mobilyalar, birden çok özelliği (konfor etkisi, estetik etkisi, yer tasarrufu, işlevsellik) bir arada sunulabilmesi kabul edilebilirliğini artıracaktır. Ancak akıllı mobilyalar henüz her ülkede yaygın değildir ve ortalama gelirli bir ailenin bütçesi için uygun değildir. Akıllı mobilyaların daha büyük kullanıcı grupları için ulaşılabilir olması isteniyorsa, piyasa fiyatının ortalama bir gelir sahibine uygun olacak kadar adil ve üreticilerin bilimsel araştırma çabalarında kârı dikkate alacak kadar yüksek olması beklenir [4]. Ayrıca toplum akıllı mobilyalara yeterli ölçüde hazır değildir. Yeni ve yenilikçi ürünlerin, çok disiplinli bir yaklaşımla birlikte, kullanıcıların karşılaştığı zorlukları ve sorunları ele alması gerekir. Akıllı

teknolojilerin toplumun alışkanlıklarını ve yaşam kültürünü önemseyen bir yaklaşımla birlikte çevreye uyumlu bir teknoloji olarak sunulması toplum değerleri ve sürdürülebilirlik açısından önemlidir.

VI. KAYNAKLAR

- [1] J. K. W. Wong, H. Li, and S. W. Wang, "Intelligent building research: a review," *Automation Construction*, vol. 14, no. 1, pp. 143–159, 2005.
- [2] O. Krejcar, P. Maresova, A. Selamat, F. J. Melero, S. Barakovic, J. Barakovic Husic, E. Herrera-Viedma, R. Frischer, K. Kuca, "Smart furniture as a component of a smart city-definition based on key technologies specification," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 94822–94839, 2019.
- [3] Z. He, W. Min, X. Qingsong, W. Guoxsing, Z. Yang, L. Yong, M. Bo, P. Zhengchun, "A heart rate measurement system based on ballistocardiogram for smart furniture," in *2018 IEEE Asia Pacific Conference on Circuits and Systems*, Chengdu, China, 2018, pp. 151–154.
- [4] R. Frischer, O. Krejcar, P. Maresova, O. Fadeyi, A. Selamat, K. Kuca, S. Tomsone, J. P. Teixeira, J. Madureira, F. J. Melero, "Commercial ICT smart solutions for the elderly: state of the art and future challenges in the smart furniture sector," *Electron.*, vol. 9, no. 1, pp. 3-32, 2020.
- [5] C. Vaida, B. Gherman, M. Dragomir, O. Iamandi, D. Banyai, and D. Popescu, "Smart furniture - Quo vadis," in *International Conference on Production Research – Africa, Europe and Middle East 3rd International Conference on Quality and Innovation in Engineering and Management*, Cluj-Napoca, Romania, 2014, pp. 493–498.
- [6] M. Ito, A. Iwaya, M. Saito, K. Nakanishi, K. Matsumiya, J. Nakazawa, N. Nishio, K. Takashio, H. Tokuda, "Smart furniture: improvising ubiquitous hot-spot environment," in *23rd International Conference on Distributed Computing Systems Workshops*, Providence, RI, USA, 2003, pp. 248–253.
- [7] Kalkınma Bakanlığı, "10. Kalkınma planı mobilya çalışma grubu raporu," 2021. [Online] Available: <https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2018/11/Onuncu-Kalk%C4%B1nma-Plan%C4%B1-2014-2018.pdf>
- [8] Moley. (2021, Jun. 17) *Moley Kitchen*. [Online]. Available: https://moley.com/?target=kitchen_wizard.
- [9] Hi-Interiors. (2021, Jun. 15) *HiBed*. [Online] Available: <https://www.hi-interiors.com/hi-bed>
- [10] I. Ghersi, M. Mariño, and M. T. Miralles, "Smart medical beds in patient-care environments of the twenty-first century: a state-of-art survey," *BMC Med. Inform. Decis. Mak.*, vol. 18, no. 1, pp. 1–12, 2018.
- [11] Haelvoet. (2021, Jun. 14) *Olympia Hospital*. [Online]. Available: <https://www.haelvoet.be/uploads/documents/pdf/202005/HAE-OLYMPIA-HOSPITAL-EN.pdf>
- [12] Linet. (2021, Jun. 14) *Eleganza Smart Junior*. [Online]. Available: <https://www.linet.ca/en-CA/health-care/beds/beds-for-children-and-newly-born/eleganza-smart-junior>
- [13] Hillrom. (2021, Jun. 14) *Excel Care ES Bariatric Hospital Bed*. [Online]. Available: <https://www.hillrom.com/en/products/excel-care-es-bariatric-hospital-bed>

- [14] Stryker. (2021, Jun. 14) *Intouch*. [Online]. Available: <https://www.stryker.com/us/en/acute-care/products/intouch.html>
- [15] Herman Miller. (2021, Jun. 14) *Live Platform*. [Online]. Available: <https://www.hermanmiller.com/products/smart-office/live-platform>
- [16] P. Kashiv. (2021, Jun. 14) *Smart Froc is world's first smartphone-controlled highchair*, [Online]. Available: <https://www.homecruz.com/smart-froc-is-worlds-first-smartphone-controlled-highchair/35014>
- [17] M. Hines. (2021, Jun. 14) *Touchscreen cafe tabletops: moneual touch table PC*. [Online]. Available: <https://www.trendhunter.com/trends/moneual-touch-table-pc>
- [18] T.C. Aile Çalışma ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı/Engelli ve Yaşlı Hizmetleri Genel Müdürlüğü. “Yaşlı nüfusun demografik değişimi (2020).” 2021. [Online] Available: <https://www.ailevecalisma.gov.tr/media/45354/yasli-nufus-demografik-degisimi-2020.pdf>
- [19] D. Pal, B. Papatrorn, W. Chutimaskul, and S. Funilkul, “Embracing the smart-home revolution in Asia by the elderly: an end-user negative perception modeling,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 38535–38549, 2019.
- [20] Y. Liu, R. Tamura, and Y. Song, “Constructing a smart home for future elders toward all-around happiness: taking connectivity as the core element,” *Applied Sciences*, vol. 10, no. 16, 2020.
- [21] N. Balta-Ozkan, R. Davidson, M. Bicket, and L. Whitmarsh, “Social barriers to the adoption of smart homes,” *Energy Policy*, vol. 63, pp. 363–374, 2013.
- [22] T. Sumiya, Y. Matsubara, M. Nakano, and M. Sugaya, “A mobile robot for fall detection for elderly-care,” *Procedia Computer Science*, vol. 60, no. 1, pp. 870–880, 2015.
- [23] S. Merilampi, A. Poberžnik, S. Saari, J. A. Serrano, J. Güttler, K. Langosch, T. Bock, L. Zou, T. A. Magne, “Modular smart furniture system for independent living of older adults-user experience study,” *Gerontechnology*, vol. 19, no. 4, pp. 1–13, 2020.
- [24] R. Hu, A. Kabouteh, K. Pawlitza, J. Güttler, T. Linner, and T. Bock, “Developing personalized intelligent interior units to promote activity and customized healthcare for aging society,” *Journal of Population Ageing*, vol. 13, no.12, pp. 257–280, 2020.
- [25] R. Lee, (2021, Jun. 15) *Moneual smart table lets you order and pay for your food*. [Online]. Available: <https://www.cnet.com/news/moneual-smart-table-lets-you-order-and-pay-for-your-food>
- [26] Bed Up Down. (2021, Jun. 16) *Our ideas*. [Online]. Available: [Bedupdown.eu](https://www.bedupdown.eu)
<https://www.bedupdown.eu>
- [27] Laura. (2021, Jun. 16) *Goliath expandable console dining table: vurni*. [Online]. Available: <https://vurni.com/goliath-console-dining-table>
- [28] Ori. (2021, Jun. 16) *Ori products*. [Online]. Available: <https://www.oriliving.com>
- [29] M. Versaci. (2021, Jun. 12) *Lift-Bit: there's now a sofa you can control from your phone*. [Online]. Available: <https://www.wired.co.uk/article/lift-bit-internet-of-things-sofa>
- [30] C. R. Associati. (2021, Jun. 12) *Lift-Bit*. [Online]. Available: <https://carloratti.com/project/lift-bit>

- [31] H. Sukeda, Y. Horry, Y. Maruyama, and T. Hoshino, "Information-accessing furniture to make our everyday lives more comfortable," in *Dig. Tech. Pap. - IEEE Int. Conf. Consum. Electron.*, Las Vegas, USA, 2006, pp. 25–26.
- [32] Bosch. (2021, Jun. 12) "Bosch announces virtual touchscreen on every surface for smart homes and IoT. [Online]. Available: <https://www.bosch-presse.de/pressportal/de/en/bosch-announces-virtual-touchscreen-on-every-surface-for-smart-homes-and-iot-179648.html>
- [33] R. Maskeliunas and V. Raudonis, "Robosofa-low cost multimodal I/O fusion for smart furniture," *Int. Arab J. Inf. Technol.*, vol. 10, no. 5, pp. 317–328, 2013.
- [34] B. T. Chun, "A study on analysis and applicability of current smart city," *Indian J. Sci. Technol.*, vol. 8, no. 7, pp. 314-319, 2015.
- [35] S. Rus, D. Joshi, A. Braun, and A. Kuijper, "The emotive couch - learning emotions by capacitively sensed," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 130, pp. 263–270, 2018.
- [36] S. Mennicken, A. J. Bernheim Brush, A. Roseway, and J. Scott, "Exploring interactive furniture with EmotoCouch," in *UbiComp 2014 - Adjun. Proc. 2014 ACM Int. Jt. Conf. Pervasive Ubiquitous Comput.*, Seattle, USA, pp. 307–310, 2014.
- [37] F. Perteneder, S. Follmer, S. Gassler, and M. Haller, "Foxels: build your own smart furniture," in *TEI '20: Proceedings of the Fourteenth International Conference on Tangible, Sydney, Australia*, pp. 111–122, 2020.
- [38] Somfy. (2021, Jun. 15) *Somfy motorlu panjurlar*. [Online]. Available: <https://www.somfy.com.tr/urunler/panjurlar-ve-dis-golgelikler/panjurlar>
- [39] Nomique. (2021, Jun. 15) *Axia ® smart chair*. [Online]. Available: https://cms.esi.info/Media/documents/137044_1413798890398.pdf
- [40] LG. (2021, Jun. 15) *LG Styler: clothing care system*. [Online]. Available: https://www.lg.com/ca_en/lgstyler
- [41] H. Jasta. (2021, Jun. 16) *Lago's smart furniture can interact with people*. [Online]. Available: <https://www.homecrux.com/lagos-smart-furniture-can-interact-people/93070>
- [42] Thesingspeaking. (2021, Jun. 16) *Lago wins the innovation smau award for talking furniture - thesignspeaking*. [Online]. Available: <https://www.thesignspeaking.com/lago-wins-the-innovation-smau-award-for-talking-furniture>
- [43] MWE. (2021, Jun. 15) *Emperor XT features ans specifications*. [Online]. Available: www.mwelab.com
- [44] Coosno. (2021, Jun. 16) *Coosno redefines the coffee table with a voice-controlled refrigerator and smart features*. [Online]. Available: <https://www.prnewswire.com/news-releases/coosno-redefines-the-coffee-table-with-a-voice-controlled-refrigerator-and-smart-features-300887265.html>
- [45] M. Thakur, (2021, Jun. 16) *Coosno smart coffee table with voice-controlled refrigerator*. [Online]. Available: <https://www.homecrux.com/coosno-smart-coffee-table/127748/>
- [46] Ikea. (2021, Jun. 16) *Fyrtur*. [Online]. Available: <https://www.ikea.com/us/en/p/fyrtur-blackout-roller-blind-wireless-battery-operated-gray-90417462>

- [47] Tempronics. (2021, Jun. 15) *Tempronics Chair*. [Online]. Available: <http://www.tempronics.com/>
- [48] C. Scharf. (2021, Jun. 15) *Climate-controlled office furniture: air conditioned chair*. [Online]. Available: <https://www.trendhunter.com/trends/air-conditioned-chair>
- [49] E. Allameh and M. Heidari, "Smart homes from vision to reality : eliciting users ' preferences of smart homes by a virtual experimental method," in *International Conference on Civil and Building Engineering Informatics, ICCBEI 2013*, Tokyo, Japan, 2013, pp. 297–305.
- [50] M. T. M. Suárez-Varela, "Estudio sobre la utilidad del pastillero para mejorar el cumplimiento terapéutico," *Atencion Primaria*, vol. 41, no. 4, pp. 185–191, 2009.
- [51] M. J. Kofler, C. Reinisch, and W. Kastner, "A semantic representation of energy-related information in future smart homes," *Energy Building*, vol. 47, pp. 169–179, 2012..11.044.
- [52] M. R. Alam, M. B. I. Reaz, and M. A. M. Ali, "A review of smart homes - Past, present, and future," *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics Part C: Applications and Reviews*, vol. 42, no. 6, pp. 1190–1203, 2012.
- [53] D. Clements-Croome, "Sustainable intelligent buildings for people: a review," *Intell. Build. Int.*, vol. 3, no. 2, pp. 67–86, 2011.
- [54] A. M. S. Mohamed, N. F. A. E.-S. Ibrahim, and M. H. R. Hassan, "The impact of smart furniture design on meeting the needs of a limited-space housing," *Journal of Architect Arts*, vol. 6, no. 25, pp. 289–303, 2021.
- [55] A. D. Çavdar, T. Çavdar, F. Kulak, and A. Torun, "Farklı kullanıcı türleri için akıllı ev tasarımları ve teknolojilerin sınıflandırılması," in *1. Ulusal İç Mimari Tasarım Sempozyum*, Trabzon, Türkiye, 2015.
- [56] G. P. Pisano, "You need an innovation strategy," *Harvard Business Review*, vol. 93, no. 6, pp. 44–54, 2015.



Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

Determination of the Antifungal Effect of Bacterial Metabolites of *Xenorhabdus szentirmaii* Against Some Phytopathogenic Fungi

 Nedim ALTIN^a,  Barış GÜLCÜ^{b,*}

^aDepartment of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Düzce University, Düzce, TÜRKİYE

^bDepartment of Biology, Faculty of Arts and Sciences, Düzce University, Düzce, TÜRKİYE

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

DOI:10.29130/dubited.1012415

ABSTRACT

This study was carried out to determine the antifungal effects of the supernatant produced by the bacterium *Xenorhabdus szentirmaii*, which is associated with soil-inhabiting entomopathogenic nematodes, on important plant pathogenic fungi, *Fusarium verticillioides*, *Fusarium oxysporum* f.sp *lycopersici*, *Fusarium oxysporum* f.sp *radicis lycopersici*, *Botrytis cinerea*, *Sclerotinia sclerotiorum* and *Phytophthora nicotianae*. The effects of 1, 3, 5 and 7% concentrations of the supernatant produced by *X. szentirmaii* bacteria on mycelium growth of the fungal pathogens was determined at 3, 7 and 14 days after application (dap). The effects of the supernatant on the formation of sporangia and the emergence of zoospores from the sporangium of *Phytophthora nicotianae* was also determined. According to the results of the study, the highest dose of the supernatant (7% concentration) prevented mycelium development of all tested pathogens. The effect of the supernatant decreased at 14 dap against *F. verticillioides*, *F. oxysporum* f.sp *lycopersici*, *F. oxysporum* f.sp *radicis lycopersici*. The antifungal effect on *S. sclerotiorum* completely disappeared in 14 days whereas the effect continued even in 14 days against *B. cinerea* and *P. nicotianae*. *Xenorhabdus szentirmaii* supernatant at a concentration of 7% was highly efficacious on the formation of sporangia and the emergence of zoospores within the sporangium of *P. nicotianae* at a concentration of 7%.

Keywords: *Botrytis*, *Fusarium*, *Phytophthora*, *Sclerotinia*, *Sporangium*, *Xenorhabdus*.

Xenorhabdus szentirmaii Bakteri Metabolitlerinin Bazı Önemli Bitki Patojeni Funguslara Karşı Antifungal Etkilerinin Belirlenmesi

ÖZ

Bu çalışmada entomopatojenik nematodların simbiyotik bakterilerinden birisi olan *Xenorhabdus szentirmaii* tarafından üretilen metabolitlerin önemli bitki patojenlerinden olan *Fusarium verticillioides*, *Fusarium oxysporum* f.sp *lycopersici*, *Fusarium oxysporum* f.sp *radicis lycopersici*, *Botrytis cinerea*, *Sclerotinia sclerotiorum* ve *Phytophthora nicotianae*'ya karşı antifungal etkileri araştırılmıştır. Buna göre farklı oranlarda (%1, 3, 5 ve 7'lik) *X. szentirmaii* bakteri süpernatantı içeren besiyerlerinde fungusların misel gelişimi 3, 7 ve 14 gün sonra değerlendirilmiştir. Ayrıca süpernatantın *P. nicotianae*'nin sporangia oluşumuna ve zoospor çıkışı üzerindeki etkisi de değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre test edilen tüm patojenlerde en yüksek süpernatant konsantrasyonu (%7) misel gelişimini önemli oranda engellemiştir. Süpernatantın etkisi *F. verticillioides*, *F. oxysporum* f.sp *lycopersici*, *F. oxysporum* f.sp *radicis lycopersici*'ye karşı 14 gün sonunda azalmıştır. *S. sclerotiorum* için antifungal etkinin 14 gün sonunda tamamen kaybolduğu, fakat *B. cinerea* ve *P. nicotianae* için devam ettiği gözlenmiştir. Ayrıca *X. szentirmaii* süpernatantının %7'lik konsantrasyonunun *P. nicotianae*'nin sporangia oluşumu ve zoospor çıkışını engellediği bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: *Botrytis*, *Fusarium*, *Phytophthora*, *Sclerotinia*, *Sporangium*, *Xenorhabdus*

I. INTRODUCTION

Fungal plant pathogens cause serious diseases and considerable yield losses in cultivated plants. Species such as *Fusarium verticillioides*, *Fusarium oxysporum* f.sp *lycopersici*, *Fusarium oxysporum* f.sp *radicis lycopersici*, *Botrytis cinerea*, *Sclerotinia sclerotiorum* and *Phytophthora nicotianae* attack the leaves, shoots, roots, stems, fruits, flowers or woody tissues, and produce enzymes and toxins that break down and kill these plant tissues causing enormous losses in yield and quality of plant products [1]. Along with the use of resistant varieties and disposal of infected plants, fungicides, which are an expensive and short fix, are generally used to combat these pathogens. For example, it is estimated that the average cost for chemical control of *Botrytis* spp., for example, in all affected crops worldwide is about €40/ha [2]. However, due to various problems associated with fungicide use, alternative methods of control, including biological control, have been investigated and developed and it is widely known that natural products from microbes in nature are a possible source of novel antimicrobial compounds.

Xenorhabdus spp. bacteria are obligate insect pathogens mutually associated with *Steinernema* nematodes found in soil. These bacteria are virulent in insect hemolymph where they produce antimicrobial secondary metabolites to protect insect cadavers infected by their host nematodes from saprophyte and predatory microorganisms. This enables the nematode/bacteria complex to benefit from insect cadavers for a longer time untroubled [3]. Several studies have been conducted to investigate the antifungal effects of secondary metabolites obtained from different species of *Xenorhabdus* against important phytopathogens like *Phytophthora nicotianae*, *Phytophthora infestans*, *Phytophthora cactorum*, *Armillaria tabescens*, and *Fusicladium tabesum* and their potential as novel sources of fungicidal compounds [4]. So far, some studies have determined that species such as *X. nematophila*, *X. bovienii*, *X. cabanillasii* and *X. szentirmaii* produce secondary metabolites like indole, xenocoumarin, xenofuranones, xenorhabdin and cabanillasin derivatives that have antibacterial and antifungal properties [5]. The antifungal agents such as trans-cinnamic acid (TCA) have been identified from *Photorhabdus luminescens* which is mutually associated with *Heterorhabditis* spp. nematodes [6]. This compound has been reported as a highly efficacious antifungal compound against plant pathogens [7-8]. TCA even synergizes the antifungal effectiveness of some commercial fungicides like Elast® (dodine), Prophyt® (potassium phosphite), PropiMax® (propiconazole) Serenade®, and Regalia® [9]. It reported that xenocoumarin 1 from *Xenorhabdus* bacteria and methanol extract from secondary metabolites of *X. nematophila* species showed antifungal effect [10]. The potential roles of *Xenorhabdus* and *Photorhabdus* metabolites have been exhibited in the various studies. In this study, the effect of the secondary metabolite produced by *X. szentirmaii* bacteria on important plant pathogens *Fusarium verticillioides*, *Fusarium oxysporum* f.sp *lycopersici*, *Fusarium oxysporum* f.sp *radicis lycopersici*, *Botrytis cinerea*, *Sclerotinia sclerotiorum* and *Phytophthora nicotianae* were assessed. Additionally, the effect of the bacterial supernatant on the sporangium formation and zoospore discharge in *Phytophthora nicotianae* was evaluated.

II. MATERIALS AND METHODS

A. 1. Fungal Isolates

Fungal pathogens *Fusarium verticillioides*, *Fusarium oxysporum* f.sp *lycopersici*, *Fusarium oxysporum* f.sp *radicis lycopersici*, *Botrytis cinerea* and *Sclerotinia sclerotiorum* used in the experiment were obtained from the Mycology Laboratory of Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Düzce University. *Phytophthora nicotianae* isolate was obtained from Western Mediterranean Agricultural Research Institute of Antalya- Turkey.

A. 2. Preparation Of Bacterial Supernatant

Xenorhabdus szentirmaii bacteria (DSMZ 16338) was used in the experiments. It was provided by Dr. Selcuk Hazir from the Department of Biology, Adnan Menderes University. After the stock cultures were produced in liquid medium, they were stored in mixture of 50% medium, and 50% glycerol at -80°C. For the experiments, the bacterium was streaked on NBTA (2.3% nutrient agar, Difco; 0.0025% bromothymol blue, Merck; 0.004%, 2, 3, 5- triphenyltetrazolium) from the stock culture with the help of a loop. *Xenorhabdus* bacteria have two different colony variants as Phase-I and Phase-II and it is known that Phase I form positively affects nematode growth when compared to those in Phase-II and produces secondary metabolites with antimicrobial properties [3]. NBTA medium was used to ensure that bacteria used in the experiments were of phase I according to cell and colony morphologies.

To obtain bacterial supernatant, firstly a loop full of bacteria from the selected colonies was first transferred to 100 ml TSBY (Tryptic soy broth, Difco + 0.5% yeast extract, Sigma) medium and incubated at 25°C, 130 rpm for 24 hours in complete darkness to prepare an overnight culture [6-7]. From the grown bacterial culture, 2% of the medium volume was transferred to a larger volume (500 ml) of TSBY medium. It was incubated for 120 hours under the same conditions. Afterwards the growth culture was centrifuged at 4°C, 10,000 rpm for 20 minutes; and the separated supernatant was filtered through a 0.22 µm diameter filter (Thermo Scientific, NY) to get rid of bacteria in the culture medium. The supernatants were transferred to 50 ml falcon tubes and stored at 4 °C for use within a maximum of 2 weeks [8].

A. 3. The Effect Of Bacterial Supernatant On Mycelium Growth

This study investigated the effects of *X. szentirmaii* bacterial supernatant at 1, 3, 5 and 7% concentrations on mycelium growth of the fungal pathogens mentioned above. Since [9] established that high temperature had no adverse effects on the antifungal activities of the bioactive compound/s in the supernatant, the required amount of supernatant for the determined concentrations (1, 3, 5, 7%) was added into Potato Dextrose Agar (PDA) (Merck, Germany) before autoclaving. PDAs containing the different concentrations of the bacterial supernatant were autoclaved (121°C, 15 min.) and then poured into 90 mm plastic petri dishes.

Agar discs of 5 mm diameter were taken from the edges of one-week-old cultures of the pathogens with the help of cork-borer and placed in the center of the petri dishes with PDA supplemented with bacterial supernatant. Control group only had PDA medium. Inoculated petri dishes were left to incubate at $24 \pm 1^\circ\text{C}$ for two weeks. Measurements were made at 3, 7 and 14 days after the application (dap). Diameters of the mycelial colony were measured at two different points perpendicular to each other and the obtained mean colony diameters was used to calculate the inhibition rates of the different concentrations of secondary metabolite on mycelium growth using the formula:

Prevention of mycelium growth

$$(\%) = [(dc - dt) / dc] \times 100 (\%) \quad (1)$$

dc: average of colony diameter in control, dt: average of treated colony diameter [11].

A. 4. The Effect Of The Bacterial Supernatant On The Formation Of *Phytophthora Nicotianae* Sporangium

This experiment was conducted using sterile soil suspension (SSS). Ten grams of garden soil was placed in 1 liter of pure water and mixed in a magnetic stirrer for 1 hour. The soil particles in the suspension were allowed to settle for 24 hours. At the end of this period, the suspension was filtered through 4-layer cheese cloth and sterilized in an autoclave at 120°C at 1 atm [12]. Different volumes of bacterial supernatant and SSS were added to 90 mm petri dishes in order to prepare environments with 1, 3, 5 and 7% supernatant concentrations and a final volume of 25 ml. Only SSS was used in the

control group. Five mm diameter agar discs were taken from a new *Phytophthora nicotianae* culture in PDA medium with the help of cork-borer and placed on petri dishes containing SSS-supernatant combinations. The Petri dishes were incubated at $24 \pm 1^\circ\text{C}$ for 48 hours and at the end of this period, photographs were taken from three different regions of each mycelial disc using a computer-connected camera (Olympus SZ61 model microscope, DP25 model camera) and measurement program (cellSens v.1.11). The average number of sporangium in each image obtained at 10x magnification was determined [13] and the effects of different concentrations of the bacterial supernatant on the formation of sporangium was determined using the formula:

The effect of sporangium formation

$$(\%) = [(dc - dt) / dc] \times 100 (\%) \quad (2)$$

dc: sporangium number in control, dt: sporangium number in the treated [11].

A. 5. Effect Of Bacterial Supernatant *Phytophthora Nicotianae* On Zoospore Discharge

Five agar discs (5 mm in diameter) were taken from the edges of a freshly grown *P. nicotianae* culture in PDA medium with the help of cork-borer and placed on SSS. These petri dishes were incubated at $24 \pm 1^\circ\text{C}$ for 48 hours to allow sporangium formation. At the end of this period, different concentrations of supernatant were added to the petri dishes. Only SSS was used in control plates. Petri dishes were initially kept at $4 \pm 1^\circ\text{C}$ for 30 minutes and then incubated at $24 \pm 1^\circ\text{C}$ for 30 minutes in order to encourage the discharge of zoospore. At the end of the incubation, 3 different images were obtained from each mycelium disc and the ratio of empty sporangium number to total sporangium number was determined [13]. The experiment was conducted in 5 replications. The effects of the different concentrations of the supernatant on the zoospore discharge:

The effect of the zoospore discharge

$$(\%) = [(dc - dt) / dc] \times 100 (\%) \quad (3)$$

dc: the empty sporangium ratio in the control, dt: the empty sporangium ratio in the treated cases) was determined using the formula [11].

A. 6. Statistical Analysis

One-way analysis of variance was performed using the SPSS 16.0 statistical program for the obtained mean values from each concentration of the secondary metabolite. The Duncan test was applied to the groups for significant differences

III. RESULTS AND DISCUSSION

Different concentrations of bacterial secondary metabolite were used to determine their effect on the mycelium development of tested plant pathogens. The effect of supernatant on mycelium development at 3, 7 and 14 dap are given in Table 1.

Table 1 Effect of different concentrations of bacterial supernatant on mycelial growth of fungal pathogens

Fungal pathogens	Assessment period	Percentage effect			
		Concentration			
		1%	3%	5%	7%
<i>Fusarium oxysporum</i> f.sp. <i>lycopersici</i>	3 dap	32.25Ab*	49.40Aa	57.48Aa	58.35Aa
	7 dap	36.18Ab	52.20Aa	61.11Aa	65.15Aa
	14 dap	0Bd	26Bc	35.50Bb	45Ba
<i>Fusarium oxysporum</i> f.sp. <i>radicis lycopersici</i>	3 dap	39.89Ac	56Bb	66.87Ba	69.43Aa
	7 dap	43.66Ac	62.10Ab	70.75Aa	71.47Aa
	14 dap	0Bd	21.88Cc	35.31Cb	43.44Ba
<i>Fusarium verticillioides</i>	3 dap	31.54Ac	46.32Ab	67.75Aa	69.79Aa
	7 dap	27.96Bd	47.91Ac	58.63Bb	64.58Ba
	14 dap	0Cd	6Bc	14.25Cb	33Ca
<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	3 dap	24.25Ac	66.75Ab	98.00Aa	98.75Aa
	7 dap	0Bb	0Bb	65.50Ba	65.75Ba
	14 dap	0B	0B	0C	0C
<i>Botrytis cinerea</i>	3 dap	71.86Ab	100Aa	100Aa	100Aa
	7 dap	57.50Bc	81.25Bb	90.00Bab	94.25Ba
	14 dap	0Cd	68.50Cc	77.50Cb	87.50Ba
<i>Phytophthora nicotianae</i>	3 dap	32.22Ac	56.67Ab	100Aa	100Aa
	7 dap	1.18Bd	56.51Ac	78.20Bb	85.53Ba
	14 dap	9.02Bd	44.75Ac	70.73Cb	83.25Ba

*= different small letters in the rows show a statistically significant difference between the means for the each pathogen and application period. Different capital letters in the columns show a statistically significant difference between the means for the each pathogen and concentration. ($P < 0.05$).

Our data showed that the effectiveness of the supernatant against each fungus were different. The effect of 1% concentration of supernatant against *F. oxysporum* f.sp *lycopersici* and *F. oxysporum* f.sp *radicis lycopersici* ranged between 32% and 39.8% at 3 dap, but this effect increased with increase in concentration. Seven percent supernatant concentration inhibited fungal growth by 58 and 69% at 3 dap and these effects recorded as 65.15% and 71.47% at 7 dap. The inhibition effects of supernatant concentrations against *F. verticilliodes* were determined as 31.54, 46.32, 67.75 and 69.79% for 1, 3, 5 and 7% concentrations, respectively.

However, it was determined that the efficacy of the bacterial supernatant on *F. oxysporum* f.sp *lycopersici*, *F. oxysporum* f.sp *radicis lycopersici* and *F. verticillioides* decreased with expanding time (14 dap) and the effects were decreased to 45%, 43% and 33% respectively.

In *S. sclerotiorum*, *Xenorhabdus szentirmaii* supernatants were highly effective at tested higher doses at 3 dap; 1% dose exhibited 24% antifungal effects against the pathogen whereas the effects of the highest tested dose (7% concentration) was 98.75%. The effect decreased rapidly after 7 and 14 days; 1% and 3% concentrations had no effects on the pathogen whereas 5% and 7% were 65% effective. By 14th day, it was determined that the effect completely disappeared at all doses.

For *B. cinerea*, the supernatant at 1% was 71% effective whereas 3, 5 and 7% concentrations were 100% effective at 3dap. At 7 dap, the effects of the supernatants were decreased slightly and ranged between 57.5 and 94%. While 1% concentration lost its antifungal effect, the other tested concentrations were still efficacious and continued even 14 dap, especially for 7% concentration.

For *Phytophthora nicotianae*, 1, 3, 5% bacterial supernatants were 32, 56, and 100% effective at 3dap, but at 7 dap, they were 1, 56 and 78% effective, respectively. The 7% concentration presented the highest antifungal effect against *P. nicotiana*. It totally inhibited (100%) fungal growth at 3 dap, but antifungal effects were 85.33 and 83.25% at 7 and 14 dap, respectively (Table 1).

In our study, we also tested the effects of different concentrations of bacterial supernatant on *phytophthora nicotianae* sporangium formation and zoospore discharge (Table 2).

The effects of different supernatant concentrations on *P. nicotiana* sporangium formation were pronounced at the 14th days.

Table 2. Effects of different concentrations of bacterial supernatant on *Phytophthora nicotianae* sporangium formation and zoospore discharge.

Concentrations of bacterial supernatant	Number of sporangia	Effect (%)	Percent of zoospore discharge (%)	Effect (%)
0% (Control)	81.31	0,00	57.19	0,00
1%	36.41	54.40c*	38.85	31.41c*
3%	7.47	90.90b	34.26	40.33bc
5%	0	100a	25.83	54.88b
7%	0	100a	2.04	93.97a
		F=105.229		F=16.983

*= Different letters in the columns show a statistically significant difference between the means. ($P < 0.05$).

The 5 and 7% supernatant concentrations completely inhibited *P. nicotianae* sporangium formation. The 1% concentration was 54.40% effective against sporangium formation whereas the 3% concentration was 90.90% effective. In the study conducted to determine the effect of bacterial supernatant on zoospore discharge from the sporangium, 7% concentration had the highest effect with 93.97%. This was followed by 5% concentration with an effect of 54.88%. The other concentrations were less effective than 50% (Table 2).

Our study revealed that the supernatant obtained from *X. szentirmaii* bacteria was effective against important plant pathogenic fungi. However, the duration of this effect varied according to the fungal species. It is thought that this antifungal effect may be due to the compounds in the supernatant. Bacteria in the *Xenorhabdus* genera, which are in a mutualistic relationship with *Steinernema* spp. nematodes, produce metabolites that exhibit antifungal and antibacterial activity. Several studies have investigated the effects of cell cultures or cell-free supernatants (CFS) of *Xenorhabdus* and a

close relative, *Photorhabdus*, on different fungal phytopathogens such as *Botrytis* spp., *Fusicladium* spp., *Fusarium* spp., *Monilinia* spp., *Moniliophthora* spp., *Rhizoctonia* spp. etc. [6-7-8]. These studies have reported that there are differences in the antifungal effects of different bacteria in the genera *Xenorhabdus* and *Photorhabdus*. These differences are due to the differences in the supernatants they produce [14].

Xenorhabdus szentirmaii bacteria is known to produce antimicrobial compounds such as xenofuranone A and B, poly-iodinin crystal, szentiamide, xenematide, anthrarufin (anthraquinone) and fabclavines [5-15]. In addition, it also synthesizes exoenzymes such as lipases, chitinases, proteases and phospholipases [16] which might be effective on fungal cell wall generally composed of polysaccharides like chitin, glucan, although this varies according to fungal species [17]. The effects of antibiotics and enzymes inside the supernatant on the compounds forming the fungal cell wall should be investigated.

We observed that the bacteria supernatant were highly effective on mycelium development of *S. sclerotiorum* at 3 days after the application and against *F. verticillioides*, *F. oxysporum* f.sp *lycopersici*, *F. oxysporum* f.sp *radicis lycopersici* fungi at 7 days after the application, however by the 14 dap, the effect against these factors decreased or completely disappeared. Likewise, Fang et al [10]'s study conducted with 10% concentration of the supernatant from *X. nematophila* bacteria, reported a 37.14% effect against *Fusarium graminearum* and 62.17% against *Fusarium oxysporum* in the evaluation performed at 7 dap. We observed that at 7 dap, *X. szentirmaii* was 65% effective against *S. sclerotiorum* at the highest tested concentration compared to Fang et al [9] who reported that the supernatant of *X. nematophila* bacteria at 10% concentration exhibited 91.23% effect on *S. sclerotiorum* at 7 dap. Most recently, in another study, *X. szentirmaii* bacteria supernatants were obtained after 3, 6 and 9 days of incubation and 3%, 10% and 33% supernatant concentrations were tested against *S. sclerotiorum* [18]. The highest effect was observed when used the 33% concentration of supernatant obtained after 6 days of incubation [18].

The supernatant obtained from the *X. szentirmaii* bacterium, in our study, had a high effect against *B. cinerea*. Sufficient effect was obtained even in 14 dap of the supernatant. Unlike, the antifungal effects of *X. szentirmaii* bacterial supernatant against the other tested fungal pathogens were long lasting. Similarly, 10% concentration of *X. nematophila* supernatant was 98.51% effective against *B. cinerea* at 7 dap [11]. In the study conducted by Adliĝ and Gulcu [19], the efficacy of *X. szentirmaii* bacterial supernatant and trans cinnamic acid synthesized from *P. luminescens* bacteria were tested against *B. cinerea* fungi. In their evaluation, at 5 dap, the highest effect was obtained at 10% concentration of the supernatant of *X. szentirmaii* bacteria and 2% dose of TCA. These results show that metabolites obtained from *Photorhabdus* spp. and *Xenorhabdus* spp. show a strong antifungal effect against *B. cinerea*.

Phytophthora nicotianae has a wide host array and causes significant damage on cultivated plants. This fungus infects its hosts either by direct germination of the sporangium or by the two flagellated zoospores formed within the sporangium. Since zoospores can move easily in soil water, irrigation water and hydroponic solutions with their flagella, they are very important in terms of spreading this pathogen in agricultural areas. Few studies carried out so far have investigated the effects of supernatants obtained from *Xenorhabdus* and *Photorhabdus* on the mycelium growth and zoospore viability of oomycetes. For instance, 0.1 and 1 ppm doses of the metabolite obtained from *Xenorhabdus bovienii* strain A2 completely prevented the mycelium growth of *P. infestans*, which is an important pathogen [19]. In our study, 5 and 7% supernatant of doses *X. szentirmaii* inhibited the mycelium growth of *Phytophthora nicotianae*. Boszormenyi et al [4] stated that the filtrates obtained from *X. szentirmaii* and *Xenorhabdus budapestensis* inhibited the colony development of *P. nicotianae* by 56.2%, 77.1% and 84% at 6.25, 25, 50 ppm, respectively. In the same study, it was reported that zoospore activity was inhibited within 1 minute of contact with 6.25 ppm dose and approximately 90% of the zoospores were degraded. It has also been determined that the methanol extract synthesized from the culture filtrate of *X. nematophila* bacteria is effective on the mycelial growth and zoospore germination of *P. capsici* [10].

There is no study on the effects of the supernatant of *X. szentirmaii* on the production of sporangium, which is the asexual reproductive structure of *Phytophthora* spp. fungi, and on the discharge of zoospores formed in them. In our study, 7% concentration of *X. szentirmaii* supernatant prevented both the formation of sporangia and the discharge of zoospores from the sporangia. There are studies on the effects of other species in the genus *Xenorhabdus* on the formation of sporangium. It has been determined that Xenocoumacin 1 (Xcn1) obtained from the bacteria *X. nematophila* inhibited the formation of sporangium of *P. infestans* and *P. capsici* [21]. In general, it is predicted that the effect of Xenocoumacin 1 is on protein synthesis. The emergence of zoospore from sporangium increase the rate of spread of *P. nicotianae* and the severity of the disease. Our study reveals that the supernatant of the bacteria *X. szentirmaii* prevented the discharge of zoospores from the sporangium. Miao et al [13] reported that oxathiapiprolin, a fungicide developed for the control of plant pathogenic oomycete species prevents the emergence of zoospores from *Phytophthora capsici* sporangium.

IV. CONCLUSION

As a result, it has been demonstrated that the supernatant of *X. szentirmaii* bacteria inhibits the growth of important plant pathogenic fungi. However, as seen in our study, there were differences in the effectiveness of this supernatant against fungal pathogens. Studies should be conducted to determine the factors affecting this in the future. The supernatant also influenced the mycelial development, the formation of sporangia and the release of zoospores from sporangia of *P. nicotianae*. Secondary infections caused by *P. nicotianae* in nature occur through direct germination of the sporangium or by zoospores formed within the sporangia. It is thought that the supernatant of the bacterium *X. szentirmaii* was effective on both fungal formation. These metabolites can be used successfully in Integrated Pest Management (IPM).

ACKNOWLEDGMENT: We thank to Dr. Selçuk Hazır from Adnan Menderes University for providing bacteria isolate.

V. REFERENCES

- [1] S.T. Koike, P. Gladders, and A.O. Paulus, "Vegetable Diseases; A Colour Handbook" Ed. Jill Northcott. Manson Publishing, pp. 449, 2007.
- [2] D. Steiger, (2007) "Global economic importance of *Botrytis* protection," in Book of Abstracts, 14th International *Botrytis* Symposium, Cape Town, South Africa, 2007.
- [3] S. Forst, and D. Clarke, "Bacteria-nematode symbiosis" in *Entomopathogenic Nematology*, USA: CABI, 2002, pp. 57-77.
- [4] E. Boszormenyi, T. Ersek, A. Fodor, A.M. Fodor, L. Sz. Földes, M. Hevesi, J.S. Hogan, Z. Katona, M.G. Klein, A. Kormany, S. Pekar, A. Szentirmai, F. Sztaricskai, and R.A.J. Taylor "Isolation and activity of *Xenorhabdus* antimicrobial compounds against the plant pathogens *Erwinia amylovora* and *Phytophthora nicotianae*," *Journal of Applied Microbiology*, vol. 107, pp. 746-759, 2009.
- [5] A.O. Brachmann, S. Forst, G.M. Furgani, A. Fodor, and H.B. Bode, "Xenofuranones A and B: phenylpyruvate dimers from *Xenorhabdus szentirmaii*", *Journal of Natural Products*, vol. 69, pp. 1830-1832, 2006.

- [6] C.H. Bock, D.I. Shapiro-Ilan, D. Wedge, and C.H. Cantrell, "Identification of the antifungal compound, transcinnamic acid, produced by *Photorhabdus luminescens*, a potential biopesticide", *Journal of Pest Science*, vol. 87, pp. 155-162, 2014.
- [7] D. I. Shapiro-Ilan, C. H. Bock, and M.W. Hotchkiss, "Suppression of pecan and peach pathogens on different substrates using *Xenorhabdus bovienii* and *Photorhabdus luminescens*", *Biological Control*, vol. 14, no. 77, pp. 1-6, 2014.
- [8] S. Hazır, D.I. Shapiro-Ilan, C.H. Bock, C. Hazır, L.G. Leite, and M.W. Hotchkiss, "Relative potency of culture supernatants of *Xenorhabdus* and *Photorhabdus* spp. on growth of some fungal phytopathogens," *European Journal of Plant Pathology*, vol. 146, pp. 369-381, 2016.
- [9] S. Hazır, D.I. Shapiro-Ilan, C.H. Bock, and G. Leite, "Thermo-stability, dose effects and shelf life of antifungal metabolite-containing supernatants produced by *Xenorhabdus szentirmaii*," *European Journal of Plant Pathology*, vol. 150, pp. 297-306, 2018.
- [10] X. Fang, M. Zhang, Q. Tang, Y. Wang, and X. Zhang, "Inhibitory effect of *Xenorhabdus nematophila* TB on plant pathogens *Phytophthora capsici* and *Botrytis cinerea* in vitro and in planta," *Scientific Reports*, vol. 4, no. 4300, 2014.
- [11] T.U. Nisa, A.H. Wani, M.Y. Bhat, S.A. Pala and R.A. Mir," In vitro inhibitory effect of fungicides and botanicals on mycelial growth and spore germination of *Fusarium oxysporum*," *Journal of Biopesticides*, vol. 4, no. 1, pp. 53-56, 2011.
- [12] J. H. Hu, C.X. Hong, E.L. Stromberg, and G.W. Moorman," Mefenoxam sensitivity and Fitness analysis of *Phytophthora nicotianae* isolates from nurseries in Virginia, USA," *Plant Pathology*, vol.57, pp. 728–736, 2008.
- [13] J. Miao, X. Dong, D. Lin, Q. Wang, P. Liu, F. Chen, Y. Dub, and X. Liua, "Activity of the novel fungicide oxathiapiprolin against plant-pathogenic oomycetes," *Pest Management Science*, vol. 72, pp. 1572-1577, 2016.
- [14] E. Szallas, G. Koch, A. Fodor, J. Burghardt, O. Buss, A. Szentirmai, K.H. Nealson, and E. Stackebrandt, "Phylogenetic evidence for the taxonomic heterogeneity of *Photorhabdus luminescens*," *International Journal of Systematic Bacteriology*, vol. 47, pp. 402-407, 1997.
- [15] S.W. Fuchs, F. Grundmann, M. Kurz, M. Kaiser, and H.B. Bode, "Fabclavines: bioactive peptide–polyketide–polyamino hybrids from *Xenorhabdus*," *ChemBioChem*, vol.15, pp. 512–516, 2014.
- [16] S. Forst, and K. Nealson, "Molecular biology of the symbiotic-pathogenic bacteria *Xenorhabdus* spp. and *Photorhabdus* spp.," *Microbiology Reviews*, vol. 60, pp. 21-43, 1996.
- [17] J.W. Deacon, "Fungal Biology 4th Edition", Wiley-Blackwell Publishing, 2013, pp. 380.
- [18] J.G.C. Chacon-Orozco, C.J.Bueno1, D.I. Shapiro-Ilan, S. Hazır, L.G. Leite, and R. Harakava, "Antifungal activity of *Xenorhabdus* spp. and *Photorhabdus* spp. against the soybean pathogenic *Sclerotinia sclerotiorum*," *Scientific Reports*, vol. 10, no. 20649, 2020.
- [19] N. Adlığ, ve B. Gülcü, "Trans-Cinnamik Asit ve *Xenorhabdus szentirmaii* metabolitlerinin Bitki patojeni fungus *Botrytis cinerea* mücadelesinde kullanımı," *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 7, s. 3, ss. 2001-2009, 2019.

[20] K.K. Ng, and J.M. Webster, "Antimycotic activity of *Xenorhabdus bovienii* (Enterobacteriaceae) Metabolites against *Phytophthora infestans* on potato plants," *Canadian Journal of Plant Pathology*, vol. 19, pp. 125-132, 1997.

[21] T. Zhou, X. Yang, D. Qiu, and H. Zeng, "Inhibitory effects of xenocoumacin 1 on the different stages of *Phytophthora capsici* and its control effect on Phytophthora blight of pepper," *BioControl*, vol. 62, pp. 151-160, 2017.



Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

Effects of TiN/CrN, CrAlN, and TiN Coatings on the Performance of AISI M2 Tool Steel

 Cemile KAYIŞ^a,  Ege Anıl DİLER^{a,*},  Hatice SANDALLI^b,  Fuat Can AĞARER^b

^a Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Ege University, Izmir, TURKEY

^b Norm Fasteners Co., Izmir, TURKEY

* Corresponding author's e-mail address: ege.anil.diler@ege.edu.tr

DOI:10.29130/dubited.1013883

ABSTRACT

The aim of this study is to investigate the effects of various ceramic-based coatings on the performance of AISI M2 high-speed steel punch used in the nut piercing process. AISI M2 punches were coated with TiN, TiN/CrN, and CrAlN utilizing a physical vapour deposition method. The total stroke number of the punches was used to evaluate the tool life of TiN, CrAlN, and TiN/CrN coated AISI M2 punches. AISI M2 punch coated with TiN/CrN was able to work up to greater stroke numbers than punches coated with TiN and CrAlN. Hardness and wear tests were performed to study the wear resistance of TiN/CrN and CrAlN coatings under relatively normal load conditions compared to actual working conditions (impact loading conditions) in the piercing process. The hardness and wear resistance of the CrAlN coating were greater than those of the TiN/CrN coating. The wear performance of the CrAlN coating was higher at normal loads and sliding speeds while the tool life of the TiN/CrN-coated punch was better under impact loading conditions.

Keywords: AISI M2 tool steel, Piercing punch, TiN/CrN, CrAlN, Tool life, Nut

TiN/CrN, CrAlN ve TiN Kaplamaların AISI M2 Takım Çeliğinin Performansına Etkileri

Öz

Bu çalışmanın amacı, seramik esaslı çeşitli kaplama malzemelerinin, somun delme işlemlerinde kullanılan AISI M2 yüksek hız çeliğinden üretilmiş delme zımbalarının performanslarına etkilerinin araştırılmasıdır. AISI M2 zımbalar, fiziksel buhar biriktirme tekniği kullanılarak TiN, TiN/CrN ve CrAlN ile kaplanmıştır. Takım ömrünü belirlemek için TiN, TiN/CrN ve CrAlN ile kaplanmış AISI M2 zımbaların toplam strok sayıları dikkate alınmıştır. TiN/CrN kaplı AISI M2 zımba, TiN ve CrAlN kaplı zımbalara göre daha yüksek strok sayılarına kadar çalışabilmiştir. TiN/CrN ve CrAlN kaplamaların, delme işlemindeki gerçek çalışma koşullarına (darbeli yükleme koşulları) kıyasla normal yükleme koşulları altında aşınma direncini incelemek için sertlik ve aşınma testleri yapılmıştır. CrAlN kaplamanın sertlik ve aşınma direnci TiN/CrN kaplamadan daha yüksek olmuştur. Normal yükleme koşulları ve kayma hızlarında, CrAlN kaplamanın aşınma performansı daha yüksek iken darbeli yükleme koşullarında, TiN/CrN kaplama, takım ömrünün daha yüksek olmasını sağlamıştır.

Anahtar Kelimeler: AISI M2 takım çeliği, Delme zımbası, TiN/CrN, CrAlN, Takım ömrü, Somun

I. INTRODUCTION

Fasteners, such as nuts and bolts, are preferred and employed in most applications due to their ease of installation and disassembly and low cost [1,2].

Fastener manufacturers place a high value on the efficiency of the forming processes used to produce parts such as nuts and bolts. The quality of a fastener part is influenced by various factors, including forming tools, materials, and forming processes. In cold forming processes, tools are subjected to high impact loads at high forming rates. This impact causes the tool to deteriorate over time and eventually become unusable. Tool damage can result in tool replacement as well as production halting, machine modification for new tools, and discarding of some of these manufactured parts [3]. For instance, Raja and Sornakumar [4] reported that a machine capable of producing 155 nuts per minute while constructing nut holes could only manufacture 137 nuts per minute due to frequent punches failure, and that the cost of forming punches accounted for 30% of the overall cost of one nut. For this reason, in order for the punches to have a long tool life, they have to be made of materials with high strength, improved wear resistance, high toughness, and low friction coefficient.

Forming tools, such as punches, are generally made of high-speed tool steels, such as AISI M2, to enable high strength against impact loads. Punching tools should be resistant to wear in addition to being high strength and tough enough to prevent it from breaking under impact loading conditions [5,6]. If the punch surface contacting the formed part wears and the amount of wear rises, the hole diameter of the part may alter and become dimensionally unstable, as well as the surface of the hole being of poor quality, which may result in higher manufacturing costs. Surface quality (performance) of forming tools, such as enhanced wear resistance, can be improved by utilizing various surface treatments [7-11]: plasma vapour deposition (PVD), chemical vapour deposition (CVD), plasma immersion ion implantation, and plasma electrolyte nitriding.

Various surface coatings, such as TiN, CrN, TiAlN, CrAlN, and diamond-like carbon (DLC), can be used on steel-based tools. Dubar et al. coated AISI M2 tool steel with TiN using PVD and CVD, and reported that the steel tool coated with TiN using CVD had a longer lifetime and lower friction coefficient than that of the steel tool coated via PVD [12]. Brizuela et al. studied the tribological properties of CrN and CrAlN coatings applied to an AISI M2 steel disc [13]. CrAlN coated AISI M2 steel showed superior tribological properties than CrN coated AISI M2 steel, with a lower friction coefficient; also, CrAlN coating had stronger thermal stability than CrN coating. Yousefi et al. coated AISI M2 steel with TiN, CrCN, and DLC utilizing PVD, plasma-enhanced chemical vapour deposition (PECVD), and thermo-reactive deposition (TRD) processes [14]. They stated that DLC had lower roughness, which indicates the surface quality of a coating, than TiN and CrCN coatings, however, TiN had higher hardness and a longer lifetime than CrCN and DLC. Spain et al. applied TiN, CrN, TiAlN, and CrAlN coatings on AISI M2 tool steel using electron beam plasma-assisted physical vapour deposition (EBPAPVD) process [15]. They reported that CrAlN and TiAlN coatings had higher hardness than TiN and CrN coatings and that CrAlN coated tools had a 2-3 lifetime advantage over the other coatings.

In terms of the performance of coatings on tool steels, multi-layered coatings, such as TiN/CrN and CrN/CrAlN, may outperform single (mono) layered coatings [16]. Barshilia et al. compared the hardness of multi-nanolayered CrN/CrAlN coating to the hardness of mono-layered CrN and CrAlN coatings and reported that multi-nanolayered CrN/CrAlN coating was harder than mono-layered CrN and CrAlN coatings [17]. Another study compared the tribological properties of mono-layered TiN and CrN coatings deposited on M2 tool steel using the PVD process to those of multi-layered TiN/CrN coatings [18]. Although mono-layered TiN coating had the highest hardness value, the best wear resistance was achieved for multi-layered TiN/CrN coating. As a result, the main advantage of multi-layered coatings is that their properties outperform the properties of the individual coating layers that comprise them.

Most studies have investigated the performance of coatings on AISI M2 steel under relatively normal loading conditions; however, studies on the performance of coated AISI M2 steel under actual working conditions (impact loading conditions) have been very limited. The performances (tool life) of TiN, CrAlN, and TiN/CrN coated AISI M2 steel piercing punches working under impact loading were evaluated in this study. Under relatively normal loading conditions, the wear resistance of TiN and TiN/CrN coatings was also analysed.

II. MATERIALS, METHODS, AND EXPERIMENTAL DESIGN

A. MATERIALS AND METHODS

AISI M2 high speed steel was utilized as a substrate material for the piercing punch used in nut manufacturing. Using the physical vapour deposition (PVD) process, three types of coatings (mono-layered TiN and CrAlN and multi-layered TiN/CrN) were deposited on AISI M2 steel. Figure 1 depicts specimens of uncoated and coated AISI M2 piercing punches. A technical drawing showing the dimensions of a coated piercing punch is illustrated in Figure 2.

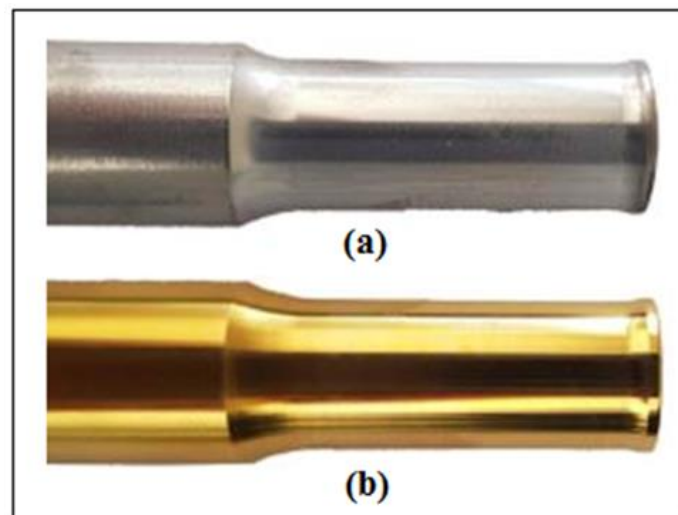


Figure 1. (a) uncoated and (b) coated AISI M2 piercing punches

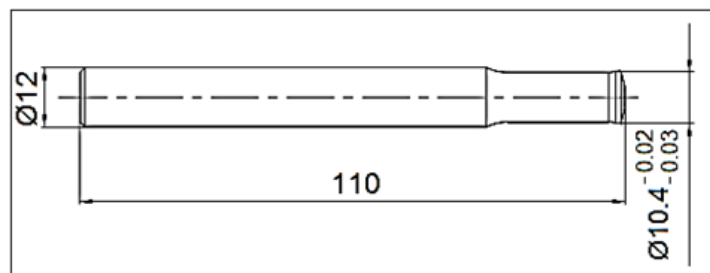


Figure 2. Technical drawing of a coated piercing punch

The following are the main stages of nut production: shearing, forging, piercing, and tapping. The piercing process is generally performed at the end of the cold forming process of a nut. At that stage, the piercing punch attached to the moving part of the die system pushes the nut toward the piercing sleeve. After the nut rests on the piercing sleeve, the piercing punch continues to move until the scrap is separated completely from the nut. In this study, the nut piercing process had a stroke speed of 90 rpm. Figure 3 shows the piercing process and a pierced nut.

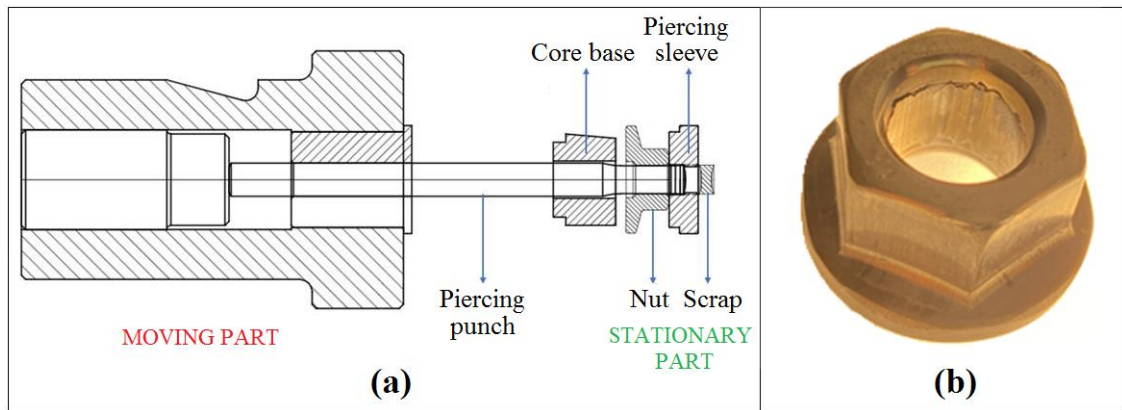


Figure 3. (a) Piercing process and (b) a pierced nut

The tool life of TiN, CrAlN, and TiN/CrN coated AISI M2 piercing punches was determined by stroke number and was considered as the total number of pierced nuts at which the coated punch rendered the nut ineffective.

The Vickers hardness tester was used to measure the hardness of coatings under a load of 245.2 mN (25 gf).

A ball-on-disc wear test was used to measure the wear resistance of mono-layered CrAlN and multi-layered TiN/CrN (Figure 4). Wear tests (ball-on-disc, CSM-Tribometer) were performed at loads of 2, 5, and 8 N, sliding speeds of 0.05, 0.10, and 0.15 m/s, and a distance of 500 m under dry sliding conditions in the air with a relative humidity of about 50%RH and at room temperature of (~25 °C). In the wear test, a WC-Co ball with a diameter of 6 mm was used.

Optical images of the worn surfaces of the TiN, CrAlN, and TiN/CrN coated-punches subjected to actual working conditions in the piercing process in the manufacturing of nuts the manufacturing of nuts were taken to examine the relationship between tool life and wear of the piercing punches.



Figure 4. Ball-on-disc wear testing machine

B. EXPERIMENTAL DESIGN

A full factorial design was used to design the experiments for the wear test of TiN and CrN coatings. The experimental run was randomized in order to minimise the error introduced by the experimental process [19]. The experiment using the middle (centre, mean) values of the parameters is replicated more than once in the experimental design for statistical analysis to estimate the experimental error

[20]. For this purpose, the combination of middle load and sliding speed values of 5 N and 0.10 m/s were replicated five times as illustrated in Section III.B.

The experimental results for the wear tests of CrAlN and TiN/CrN coatings were analysed, and the results of the analysis of variance (ANOVA) were performed using the Design Expert software. This software was also used to analyse the influence of load and sliding speed on the wear rate of CrAlN and TiN/CrN coatings.

III. RESULTS AND DISCUSSION

A. TOOL LIFES OF TiN, CrAlN, AND TiN/CrN COATED AISI M2 STEEL PUNCHES

Hardness of mono-layered TiN and CrAlN and multi-layered TiN/CrN coated AISI M2 piercing punches are shown in Figure 5. The hardness of the CrAlN coating was higher than that of the other two coatings.

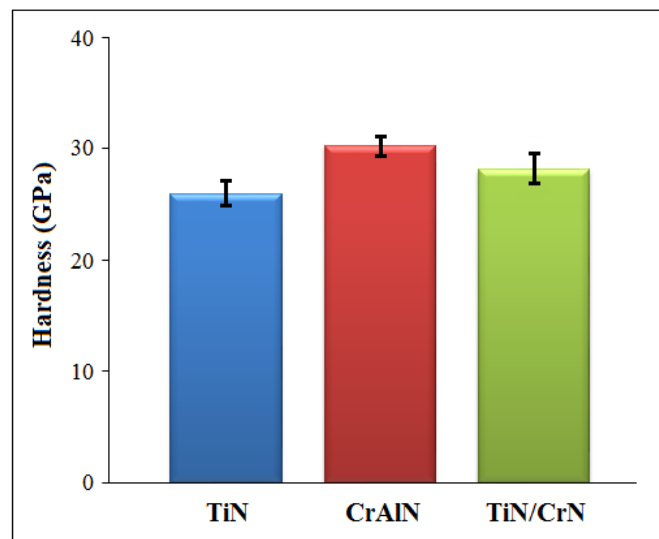


Figure 5. Hardness of TiN, CrAlN, and TiN/CrN coated AISI M2 steel punches

The amount of wear on a tool is one of the most influential factors in determining its life [21]. When surface roughness and/or geometric accuracy of the last produced product reach levels (values) that make it useless, the tool may likewise reach the end of its useful life. In this study, the tool life of TiN, CrAlN, and TiN/CrN-coated AISI M2 piercing punches was determined by stroke number and was considered as the total number of pierced nuts at which the coated punch rendered the nut ineffective. As seen in Table 1, when the TiN/CrN-coated AISI M2 punch was used, a higher number of nuts could be pierced than with the TiN and CrAlN coatings. The total number of pierced nuts increased by 88.9% and 42.6%, respectively, when TiN/TiC coatings were used instead of TiN and CrAlN coatings.

Table 1. Tool (punch) life and reduction (%) in diameter of the coated punch

Coating material	Tool (Punch) life (Strok number / Number of pierced nuts)	Diameter of the last pierced nut (mm)	Reduction in diameter of punch (%)
TiN	188333±16499	10.28	1.15
CrAlN	249501±13199	10.35	0.48
TiN/CrN	355760±26398	10.18	2.11

On the other hand, the amount of reduction in the diameter of the punch was kept at a lower level in the production with the CrAlN-coated punch, which could indicate that the CrAlN-coated punch was worn less than the other two coatings. All wear-loss equations derived from various types of wear mechanisms indicate a strong link between hardness and wear resistance [22-24]. For this reason, the fact that the diameter of the CrAlN-coated punch was kept at a lower level compared to the TiN and TiN/CrN coatings can be attributed to the higher hardness of CrAlN coating.

Considering Figure 5 and Table 1, it is interesting to note that, despite the fact that the hardness of the CrAlN coating was higher, the total number of nuts pierced with this punch was less than that of the TiN/CrN-coated punch, indicating that its tool life was shorter. It can be explained by the following reasons. First of all, it can be stated that the load between the punch and the nut during the nut piercing process can be characterized as an impact load. Impact load may cause material fatigue, resulting in subsurface crack nucleation and subsequent delamination of surface material [25]. Delamination wear occurs at a particular depth from the surface of the worn part due to the presence of maximum shear stress and triaxial compressive stress state at this depth [27]. This causes cracks to expand, propagate, and interact with adjacent cracks over time. Cracks tend to propagate parallel to the surface, resulting in the delamination of flake-like sheets (layers) from the surface. For all these reasons, although CrAlN-coated punch had higher hardness, the total number of nuts pierced using this punch was lower than that of the TiN/CrN-coated punch. The regions shown in Figure 6(b) may have formed on the punch surface as a result of delamination.

The TiN/CrN-coated punch had a greater reduction in diameter than the CrAlN-coated punch (Table 1), implying that the TiN/CrN-coated punch experienced more wear. However, the total number of nuts pierced by the TiN/CrN-coated punch (tool life of this punch) was more than that of the CrAlN coated punch, as aforementioned. This can be attributed to inhibiting or retarding delamination wear in the TiN/CrN coating because the probability of delamination wear in multi-layered coatings under impact load is lower than in mono-layered coatings for the following reason. Interfaces in a multi-layered coating that act as crack movement barriers, resulting in delamination wear retardation and inhibiting [18]. While delamination wear formed on the surface of the CrAlN-coated punch (Figure 6(b)), abrasive wear was the primary wear mechanism at the TiN- and TiN/CrN-coated punches, as illustrated in Figure 6(a) and (c). The abrasive wear grooves formed on the TiN-coated punch were deeper, wider and more deformed than those formed on the TiN/CrN-coated punch, indicating that the TiN-coated punch had more wear.

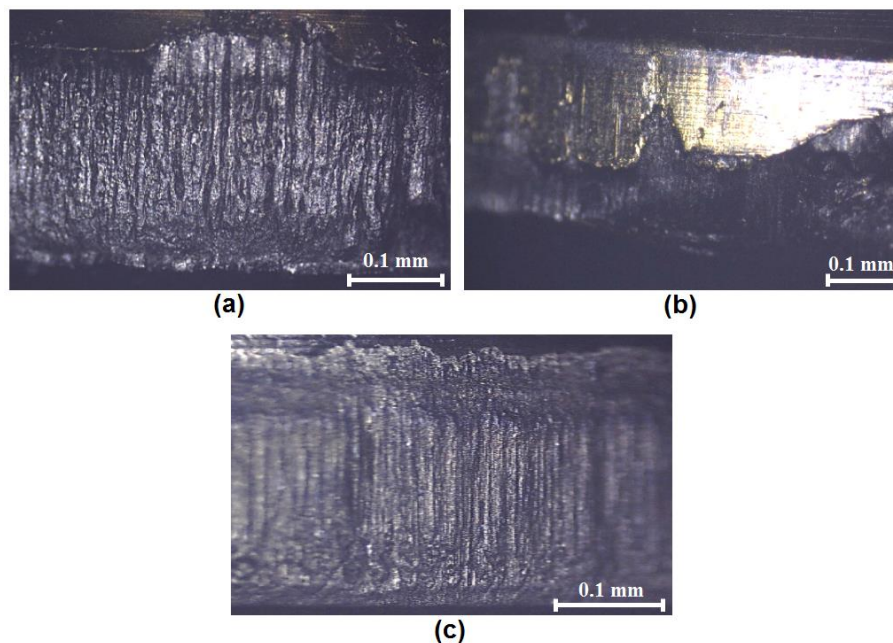


Figure 6. Worn surfaces of (a) TiN, (b) CrAlN, and (c) TiN/CrN-coated piercing punches

It should be noted once more that the TiN-coated punch had the lowest tool life and hardness when compared to the CrAlN and TiN/CrN-coated punches, and that because the load was applied in the form of impact during nut production, the CrAlN-coated punch had a shorter tool life despite having a higher hardness than the TiN/CrN-coated punch. However, because the CrAlN coating has a higher hardness than TiN/CrN coating, its wear behaviour may differ when subjected to non-impact (relatively normal) loading. For this purpose, the wear behaviours of CrAlN and TiN/CrN coatings were also studied in this study at various loads and sliding speeds under non-impact conditions, as will be discussed in the following section.

B. ANALYSIS OF WEAR RATES OF CrAlN AND TiN/CrN COATINGS

The experimental design, run order of the experiments, parameters, and the experimental results (wear rate) are shown in Tables 2 and 3.

Table 2. Experimental design, parameters and their values, and results of wear tests of CrAlN coating

Std. order	Run order	Coating material	Load (N)	Sliding speed (m/s)	Wear rate $[(mm^3/N\cdot m)\cdot 10^{-8}]$
1	6	CrAlN	2	0.05	15.1
2	3	CrAlN	5	0.05	18.3
3	1	CrAlN	8	0.05	23.2
4	5	CrAlN	2	0.10	18.4
5	8	CrAlN	5	0.10	21.2
6	11	CrAlN	8	0.10	28.9
7	4	CrAlN	2	0.15	22.7
8	2	CrAlN	5	0.15	27.4
9	10	CrAlN	8	0.15	38.5
10	9	CrAlN	5	0.10	20.9
11	13	CrAlN	5	0.10	21.0
12	7	CrAlN	5	0.10	21.4
13	12	CrAlN	5	0.10	20.7

Table 3. Experimental design, parameters and their values, and results of wear tests of TiN/CrN coating

Std. order	Run order	Coating material	Load (N)	Sliding speed (m/s)	Wear rate $[(mm^3/N\cdot m)\cdot 10^{-8}]$
1	3	TiN/CrN	2	0.05	15.9
2	8	TiN/CrN	5	0.05	19.7
3	12	TiN/CrN	8	0.05	26.5
4	10	TiN/CrN	2	0.10	18.7
5	4	TiN/CrN	5	0.10	24.0
6	11	TiN/CrN	8	0.10	34.6
7	1	TiN/CrN	2	0.15	23.1
8	2	TiN/CrN	5	0.15	32.5
9	9	TiN/CrN	8	0.15	45.0
10	7	TiN/CrN	5	0.10	23.8
11	13	TiN/CrN	5	0.10	22.7
12	6	TiN/CrN	5	0.10	23.4
13	5	TiN/CrN	5	0.10	22.9

Table 4. Analysis of variance (ANOVA) of experimental design for CrAlN coating

Source	Sum of squares	Degrees of freedom	Mean square	F value	p-value
Model	416.51	5	83.3	189.96	< 0.0001
Load	197.23	1	197.23	449.75	< 0.0001
Sliding speed	170.67	1	170.67	389.18	< 0.0001
Load*Sliding speed	14.82	1	14.82	33.8	0.0007
Load*Load	14.96	1	14.96	34.12	0.0006
Sliding speed*Sliding speed	6.44	1	6.44	14.7	0.0064
Residual	3.07	7	0.44		
Lack of Fit	2.78	3	0.93	12.68	0.0164
Pure Error	0.29	4	0.073		
Cor Total	419.58	12			
R ²	0.9927				

Table 5. Analysis of variance (ANOVA) of experimental design for TiN/CrN coating

Source	Sum of squares	Degrees of freedom	Mean square	F value	p-value
Model	711.44	5	142.29	289.36	< 0.0001
Load	390.43	1	390.43	793.99	< 0.0001
Sliding speed	247.04	1	247.04	502.39	< 0.0001
Load*Sliding speed	31.92	1	31.92	64.92	< 0.0001
Load*Load	16.42	1	16.42	33.38	0.0007
Sliding speed*Sliding speed	9.84	1	9.84	20.02	0.0029
Residual	3.44	7	0.49		
Lack of Fit	2.19	3	0.73	2.33	0.2156
Pure Error	1.25	4	0.31		
Cor Total	714.88	12			
R ²	0.9952				

Analysis of Variance (ANOVA) was performed on the wear test results obtained from the CrAlN and TiN/CrN-coated AISI M2 specimens in order to validate the reliability of the experimental wear tests and to show the effects of wear load and sliding speed on the wear rate, as illustrated in Tables 4 and 5. R² values of CrAlN and TiN/CrN were 0.9927 and 0.9952, respectively. This implies that the statistical model could explain 99.27% and 99.52% of the variability in the response (wear rate), respectively. P-value in ANOVA reveals whether the model factors are significant. If this value is less than 0.05, the factors are considered significant. P-values for load, sliding speed, their interaction (load*sliding speed) and quadratic effects (load*load and sliding speed*sliding speed) in ANOVA of CrAlN and TiN/CrN were less than 0.05, indicating that the load and sliding speed, their interaction quadratic effects were significant on the wear rate of CrAlN and TiN/CrN coatings.

The effect of each factor on the response can be determined in statistical analyses by dividing the squares of each factor by the total sum of squares of the model. Using the data in Tables 4 and 5, the effects (%) of load and sliding speed on the wear rate of CrAlN and TiN/CrN coatings were calculated in this study. The load and sliding speed had a much greater influence on the wear rate; however, the influences of their interaction (load*sliding speed) and quadratic effect (load*load and sliding speed*sliding speed) were fairly minor (Figures 7 and 8). The load had the greatest influence on the

wear rate of CrAlN and TiN/CrN, by 49% and 56%, respectively, and it should also be noted that it had a stronger influence on the wear rate of TiN/CrN than all of the other factors, as seen in Figures 7 and 8.

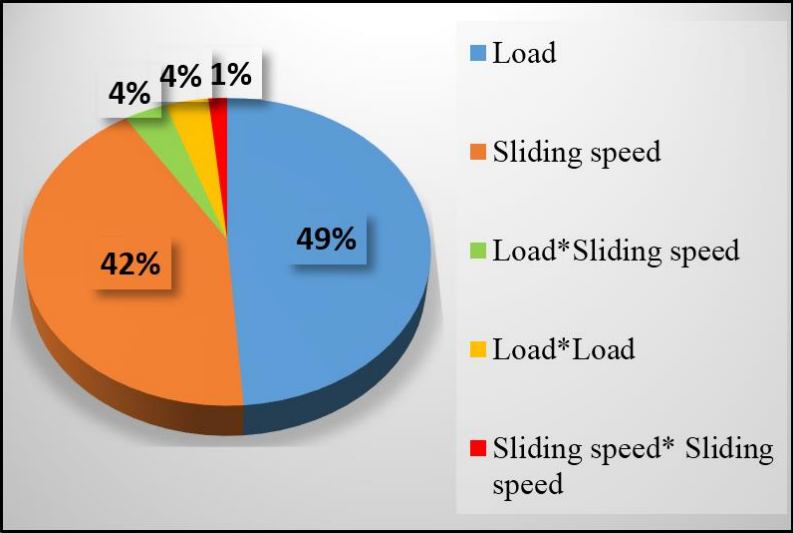


Figure 7. Effects (%) of load, sliding speed, and their interaction and quadratic effect on the wear rate of CrAlN coating

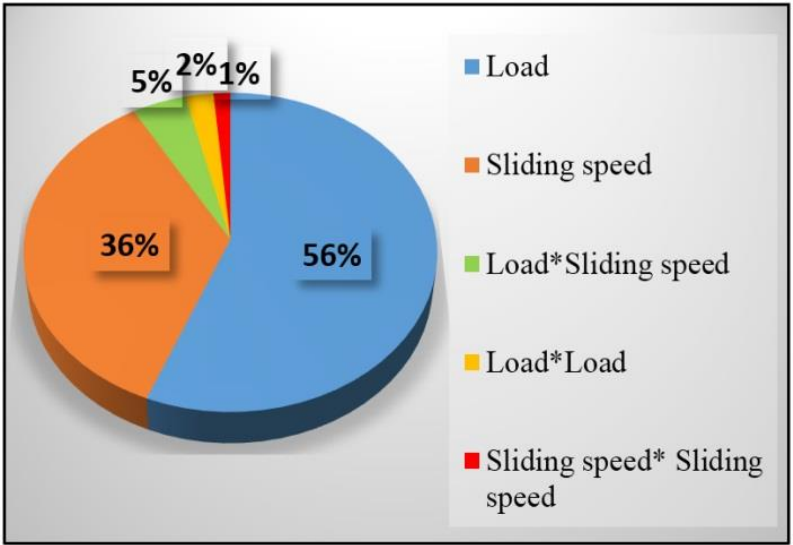


Figure 8. Effects (%) of load, sliding speed, and their interaction and quadratic effect on the wear rate of TiN/CrN coating

Figures 9 and 10 illustrate 2D and 3D response surface plots of the wear rate of CrAlN and TiC/CrN coatings as a function of load and sliding speed. At a given load, the wear rate of CrAlN and TiC/CrN coatings increased with increasing sliding speed. Similarly, as the load rose, the wear rate of CrAlN and TiC/CrN coatings increased at a certain sliding speed. The increase in wear rate with an increase in load at relatively lower sliding speeds was less than the rise in wear rate with an increment at relatively higher sliding speeds.

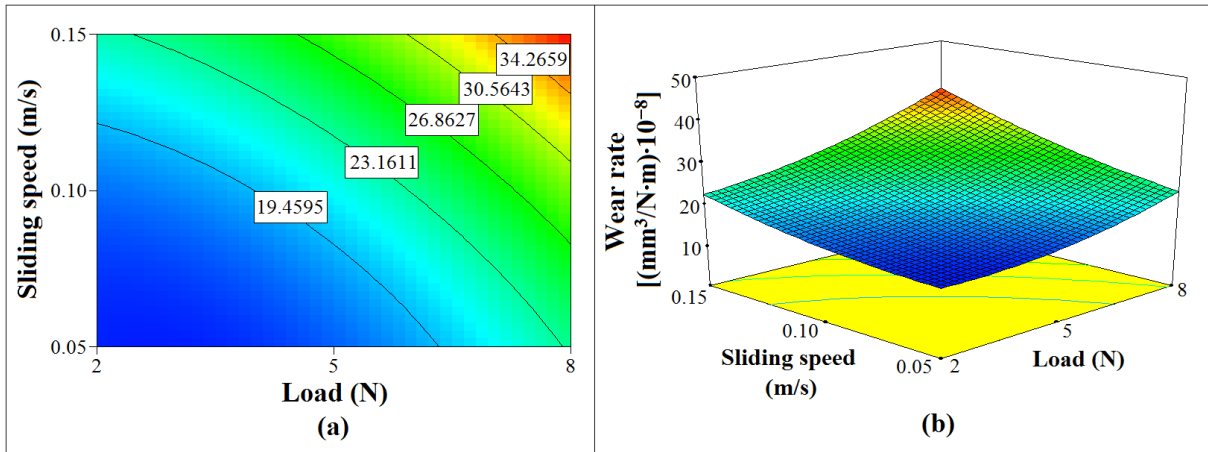


Figure 9. (a) 2D contour and (b) 3D response surface plots of the effects of load and sliding speed on the wear rate of CrAlN coating

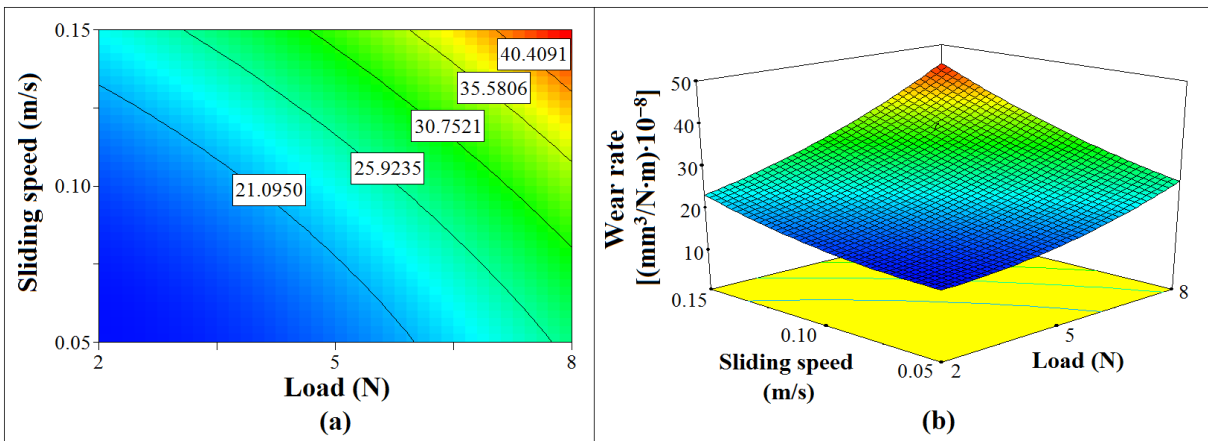


Figure 10. (a) 2D contour and (b) 3D response surface plots of the effects of load and sliding speed on the wear rate of TiN/CrN coating

As shown in Figure 11, with a sliding speed of 0.05 m/s and a load increase from 2 N to 8 N, the wear rates of CrAlN and TiN/CrN increased by 53.6% and 66.7%, respectively. However, at a sliding speed of 0.15 m/s, as the load increased from 2 N to 8 N, the wear rate of CrAlN and TiN/CrN increased by 69.6% and 94.8%, respectively.

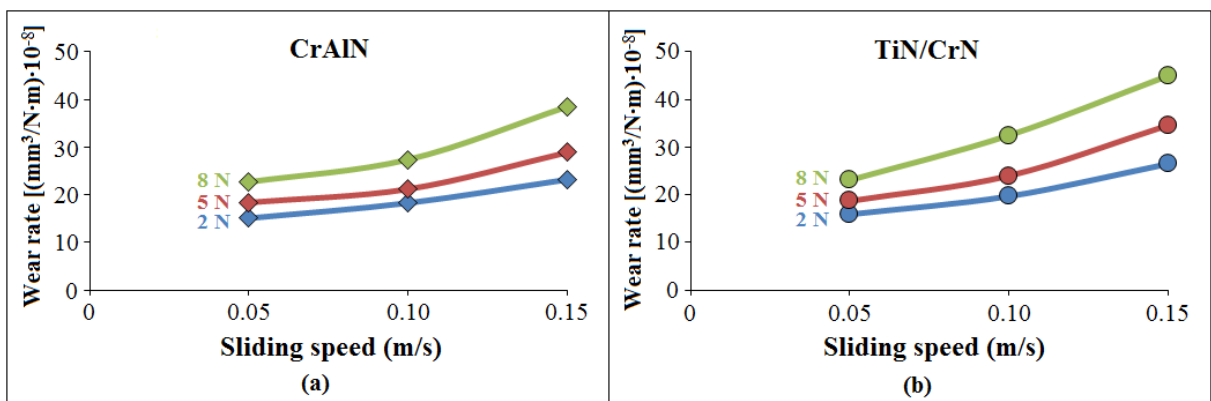


Figure 11. Wear rates of (a) CrAlN and (b) TiN/CrN coatings at various loads and sliding speeds

When the wear rates of CrAlN and TiN/CrN coatings were compared, it was inferred from Figures 9-11, that the wear resistance of the CrAlN coating was greater than that of the TiN/CrN coating. This can be attributed to the following reasons. The first reason could be that, as seen in Figure 5, the hardness of the CrAlN coating was higher than that of the TiN/CrN coating, which may have resulted in greater wear resistance (lower wear rate) for CrAlN. The second reason can be related to regime of coefficient of friction (COF) of the coatings during the wear test. The regime of COF of coatings may be separated into three stages in this study based on assessment processes of COF as a function of sliding distance: initial, transition, and steady stages. The initial stage corresponded to a shorter sliding distance and lower COF values [28]. The transition stage occurred between the initial and steady stages, and COF rose from a low value to a relatively higher one during this stage. The steady stage was defined as the point at which COF values stabilized.

The COF of CrAlN coating was higher than that of TiN/CrN coating at both the initial and transition stages of the wear test (Figures 12 and 13). During the deposition process, macroparticles can be generated on and in Al-containing coatings [29], which could be one of the causes for the higher COF of the CrAlN coating. During the transition stage, the force required to deform and fracture the asperities primarily contributed to the friction force; therefore, because CrAlN coating has a higher hardness, a higher frictional force occurs in the CrAlN coating [28,30,31], which could have resulted in a higher COF of the CrAlN coating compared to the TiN/CrN coating. The transition stage became shorter as the load and sliding speed increased. It can be attributed to the higher load easily and rapidly deforming the asperities [31]. It is also possible that the asperities could easily be deformed as a result of the softening impact of temperature rise caused by high sliding speed. The COF of TiN/CrN coating showed fluctuating trend throughout both the transition and steady stages, as shown in Figure 12. This could be due to the COF of TiN and CrN layers differing from one another. Because each TiN and CrN layer in the multi-layered TiN/CrN coating was nanometre thick, layers with different properties were encountered as the wear surface during wear, which might have resulted in fluctuating COF in the TiN/CrN coatings. This could be one of the reasons for the increased wear rate in the TiN/CrN coating.

The third factor influencing the wear rate of the ceramic coatings can be associated with the wear debris removal efficiency. During the wear of CrAlN coating and TiN and CrN layer in TiN/CrN coating, wear debris such as Cr_2O_3 , Al_2O_3 , and TiO_2 can form [32]. As stated in the literature [28], wear debris removal efficiency in CrAlN coating is better than in CrN coating, which could be one of the reasons CrAlN coating had a higher wear resistance in this study. Another factor that can affect the wear rate is the temperature oxidation resistance of the coating. The temperature rises during wear testing due to friction between contacting materials (parts), and this is especially noticeable at high load and sliding speed, which can lead to tribological oxidation of coatings [30]. As stated in the literature, non-oxidized layers is more lubricous [32]. This could imply that reducing the quantity of oxidation will lessen the wear rate. AlCrN coating has more high temperature oxidation resistance than CrN coating [30]. As a result of this, the higher oxidation resistance of CrAlN coating may have contributed to its lower COF and higher wear resistance (lower wear rate) in this study.

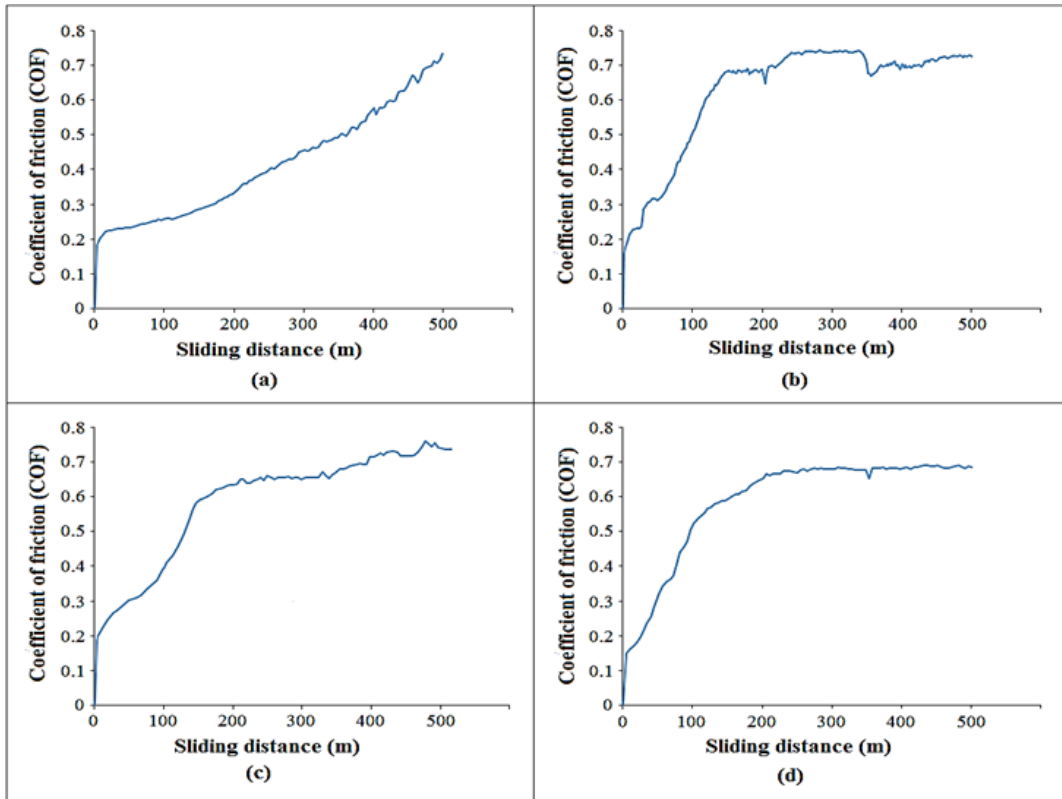


Figure 12. Coefficient of friction (COF) of TiN/CrN coating at various loads and sliding speeds (a) 2N, 0.05 m/s, (b) 2N, 0.15 m/s, (c) 8N, 0.05 m/s, and (d) 8N, 0.15 m/s

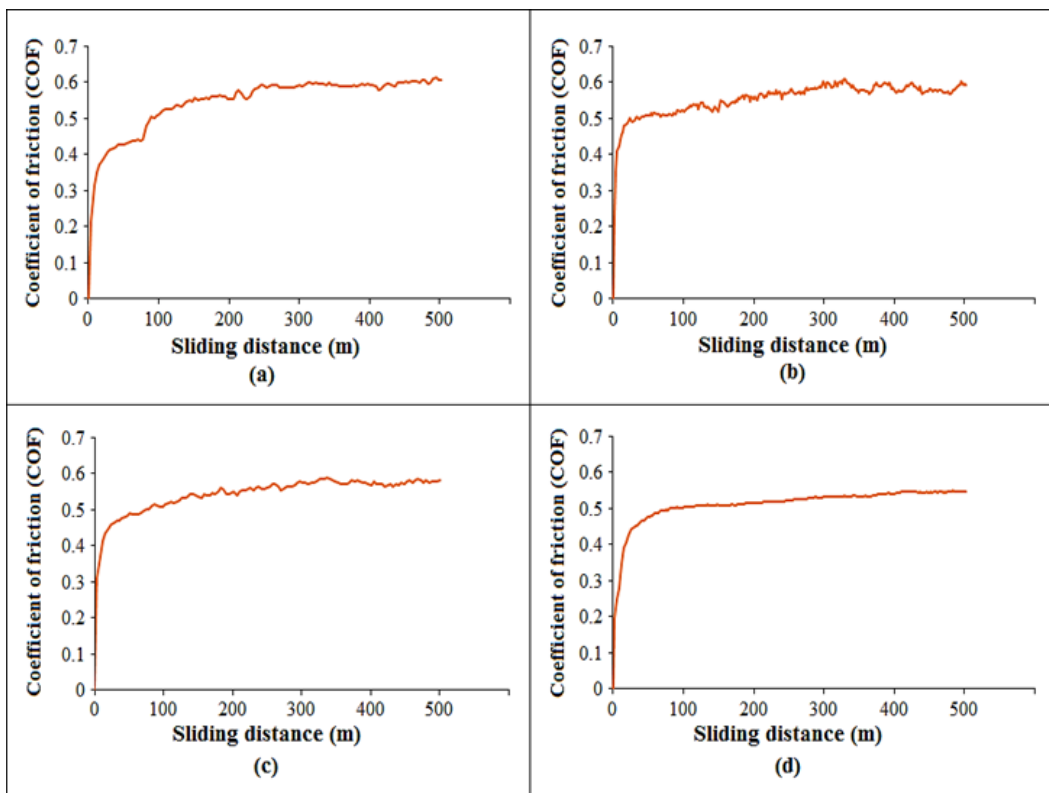


Figure 13. Coefficient of friction (COF) of CrAlN coating at various loads and sliding speeds (a) 2N, 0.05 m/s, (b) 2N, 0.15 m/s, (c) 8N, 0.05 m/s, and (d) 8N, 0.15 m/s

IV. CONCLUSIONS

The performances (tool life) of TiN, CrAlN, and TiN/CrN-coated AISI M2 piercing punches in the manufacturing of nut were studied, and also hardness and wear tests were carried out to analyse the wear resistance of TiN/CrN and CrAlN coatings under relatively normal load conditions compared to actual working conditions (impact loading conditions) in the punching process. The findings were listed below:

- The tool life of the TiN/CrN-coated AISI M2 piercing punch was 88.9% and 42.6% more than that of TiN and CrAlN-coated punches, respectively.
- Although the diameter of the CrAlN-coated punch was reduced less in the manufacturing of the nut and its hardness was higher, its performance was inferior to TiN/CrN coating when the loading was in the form of impact (piercing action in the production of nut); on the other hand, under normal load conditions, the CrAlN coating had better wear performance than the TiN/CrN coating.
- Load and sliding speed had a considerable impact on the wear performance of CrAlN and TiN/CrN coatings, while their interaction had a negligible. Load had a greater influence on wear rate than sliding speed. The wear rate of the CrAlN and TiN/CrN coatings increased with increasing load and sliding speed, with the rise in wear rate being greater at relatively high load and sliding speed.
- The coefficient of friction (COF) of CrAlN coating was higher than that of TiN/CrN coating during the initial and transition stages of the wear test. The COF of TiN/CrN fluctuated during the wear test, which might have contributed to the greater wear rate of the TiN/CrN coating.

V. REFERENCES

- [1] H. Gong, X. Ding, J. Liu, and H. Feng, "Review of research on loosening of threaded fasteners," *Friction*, in press, 2021, <https://doi.org/10.1007/s40544-021-0497-1>.
- [2] H. Gong, J. Liu and H. Feng, "Review on anti-loosening methods for threaded fasteners," *Chinese Journal of Aeronautics*, in press, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.cja.2020.12.038>.
- [3] A. G. F. Araújo, M. Naeem, L. N. M. Araújo, T. H. C. Costa, K. H. Khan, J. C. Díaz-Guillén, J. Iqbal, M. S. Liborio and R. R. M. Sousa, "Design, manufacturing and plasma nitriding of AISI-M2 steel forming tool and its performance analysis," *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 9, no. 6, pp. 14517-14527, 2020.
- [4] V. Raja and T. Sornakumar, "Punch life improvement in cold forging of nut," *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, vol. 3, no. 11, pp. 838-842, 2014.
- [5] L. H. P. Abreu, M. C. L. Pimentel, W. F. A. Borges, T. H. C. Costa, M. Naeem, J. Iqbal and R. R. M. Sousa, "Plasma nitriding of AISI M2 steel: performance evaluation in forming tools," *Surface Engineering*, vol. 36, no. 5, pp. 508-515, 2020.
- [6] S. W. Choi, Y. S. Kim, Y. J. Yum and S. Y. Yang, "A study on strengthening mechanical properties of a punch mold for cutting by using an HWS powder material and a DED semi-AM method of metal 3D printing," *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, vol. 4, no. 4, pp. 1-16, 2020.
- [7] D. Kumar, H. S. Payal, and N. Beri, "Surface treatment of M2 tool steel: A review," *Asian Journal of Convergence in Technology*, vol. 3, no. 3, pp. 1-10, 2017.

- [8] T. Weinhold, A. Dalke, A. Schramm and H. Biermann, "Sliding wear behavior of duplex coatings with different plasma nitride layers and a Cr-Al-Ti-B-N coating," *Engineering Reports*, in press, 2021, <https://doi.org/10.1002/eng2.12377>.
- [9] F. Silva, R. Martinho, C. Martins, H. Lopes and R. Gouveia, "Machining GX2CrNiMoN26-7-4 DSS alloy: Wear analysis of TiAlN and TiCN/Al₂O₃/TiN coated carbide tools behavior in rough end milling operations," *Coatings*, vol. 9, no. 6, pp. 1-21, 2019.
- [10] C. C. Wei, "Analyses of material properties of nitrided AISI M2 steel treated by plasma immersion ion implantation (PIII) process," *Advanced Science Letters*, vol. 12, no. 1, pp. 148-154, 2012.
- [11] M. Skakov, B. Rakhadilov, and M. Sheffler, "Influence of electrolyte plasma treatment on structure, phase composition and microhardness of steel P6M5," *Key Engineering Materials*, vol. 531-532, no. 627-631, 2012.
- [12] M. Dubar, A. Dubois and L. Dubar, "Wear analysis of tools in cold forging: PVD versus CVD TiN coatings," *Wear*, vol. 259, no. 7-12, pp. 1109-1116, 2005.
- [13] M. Brizuela, A. Garcia-Luis, I. Braceras, J. I. Oñate, J. C. Sánchez-López, D. Martínez-Martínez, C. López-Cartes, and A. Fernández, "Magnetron sputtering of Cr(Al)N coatings: Mechanical and tribological study," *Surface and Coatings Technology*, vol. 200, no. 1-4, pp. 192-197, 2005.
- [14] M. Yousefi, S. Baghshahi and M. S. Amiri Kerahroodi, "Effect of titanium nitride, diamond-like carbon and chromium carbonitride coatings on the life time of an AISI M2 steel punch forming tool," *Journal of Bio- and Tribo-Corrosion*, vol. 7, no. 50, pp. 1-16, 2021.
- [15] E. Spain, J. C. Avelar-Batista, M. Letch, J. Housden and B. Lerga, "Characterisation and applications of Cr-Al-N coatings," *Surface and Coatings Technology*, vol. 200, no. 5-6, pp. 1507-1513, 2005.
- [16] C. Mendibide, J. Fontaine, P. Steyer and C. Esnouf, "Dry sliding wear model of nanometer scale multilayered TiN/CrN PVD hard coatings," *Tribology Letters*, 17(4), 779-789, 2004.
- [17] H. C. Barshilia, B. Deepthi, N. Selvakumar, A. Jain and K. S. Rajam, "Nanolayered multilayer coatings of CrN/CrAlN prepared by reactive DC magnetron sputtering," *Applied Surface Science*, vol. 253, no. 11, pp. 5076-5083, 2007.
- [18] C. Mendibide, P. Steyer, J. Fontaine and P. Goudeau, "Improvement of the tribological behaviour of PVD nanostratified TiN/CrN coating - An explanation," *Surface and Coatings Technology*, vol. 201, no. 7, pp. 4119-4124, 2006.
- [19] N. K. Sahu and A. Andhare, "Design of experiments applied to industrial process," in *Statistical approaches with emphasis on design of experiments applied to chemical processes*, V. Silva, Ed., IntechOpen, U.K.: London, 2018, ch. 2, pp. 5-20.
- [20] D. L. Vaux, F. Fidler and G. Cumming, "Replicates and repeats-what is the difference and is it significant?," *EMBO Reports*, vol. 13, no. 4, pp. 291-296, 2012.
- [21] S. Oraby and D. Hayhurst, "Tool life determination based on the measurement of wear and tool force ratio variation," *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, vol. 44, no. 12-13, pp. 1261-1269, 2004.

- [22] J. F. Archard, "Contact and rubbing of flat surfaces," *Journal of Applied Physics*, vol. 24, no. 8, pp. 981–988, 1953.
- [23] I. Hutchings and P. Shipway, *Tribology: Friction and wear of engineering materials*. Oxford, U.K.: Butterworth-Heinemann, 2017.
- [24] B. Bhushan, *Principles and Applications of Tribology*. New York, USA: Wiley, 1999.
- [25] R. Lewis, M. Zalzal and T. Slatter, (2021). "Impact wear failures," in *Failure analysis and prevention*, B. A. Miller, R. J. Shipley, R. J. Parrington and D. P. Dennies, Eds., ASM Handbook, 2021, vol. 11, pp. 730-744.
- [26] Q. Chen, Y. Yu, J. Sun, C. Jing, Y. Zhao and J. Wang, "Investigation of the wear behavior of surface welding AZ91 and AZ91+Gd alloys under variable loading conditions," *Crystals*, vol. 11, no. 5, pp. 1-16, 2021.
- [27] K. Holmberg and A. Matthews, "Coatings tribology: Properties, techniques and applications in surface engineering," in *Tribology Series*, D. Dowson, ED., Elsevier Science, U.K.: Oxford, 1994, vol. 28, pp. 33-124.
- [28] J. L. Mo and M. H. Zhu, "Sliding tribological behaviors of PVD CrN and AlCrN coatings against Si₃N₄ ceramic and pure titanium," *Wear*, vol. 267, no. 5-8, pp. 874-881, 2009.
- [29] K. Jokar, H. Elmkhah, A. Fattah-alhosseini, K. Babaei and A. Zolriasatein, A. Comparison of the wear and corrosion behavior between CrN and AlCrN coatings deposited by Arc-PVD method. *Materials Research Express*, vol. 6, no. 116426, pp. 1-7, 2019.
- [30] J. L. Mo and M. H. Zhu, "Tribological oxidation behaviour of PVD hard coatings," *Tribology International*, vol. 42, no. 11-12, pp. 1758-1764, 2009.
- [31] J. L. Mo and M. H. Zhu, "Sliding tribological behavior of AlCrN coating," *Tribology International*, vol. 41, no. 12, pp. 1161-1168, 2008.
- [32] W. Y. H. Liew, S. Dayou, M. A. B. Ismail, N. J. Siambun and J. Dayou, "Dry sliding behaviour of AlCrN and TiN coatings," *Advanced Materials Research*, vol. 576, pp. 559-562, 2012.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Öğrencilerin Dersteki Niteliklerinin Makine Öğrenmesi Teknikleri Kullanılarak Sınıflandırılması¹

 Ercüment GÜVENÇ^{a,*},  Murat SAKAL^a,  Gürcan ÇETİN^b,  Osman ÖZKARACA^b

^a Enformatik Bölümü, Rektörlük, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla, TÜRKİYE

^b Bilişim Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: eguven@mu.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1017202

ÖZ

Öğrencilerin akademik başarılarını tahmin etme ve eksik oldukları alanları giderme anlamında yapılan bu çalışma, Bilişim Sistemleri Mühendisliğine Giriş dersi alan öğrencilere uygulanmıştır. Bu öğrencilerin dönem başı bilgisayar bilgi düzeylerinin, dönem sonunda elde ettikleri başarı notu üzerine etkisi makine öğrenmesi yöntemleri uygulanarak eğitim kalitesinin artırılması amaçlanmıştır. Çalışmaya katılan öğrencilere ait veriseti eğitim ve test verisi olmak üzere ayrıldığında veri yetersizliğinden dolayı anlamsız sonuçlar ortaya çıkmıştır. Bu nedenle makine öğrenmesi algoritmalarının başarımını arttırmak için "Sentetik Azınlık Örneklem Arttırma Yöntemi (SMOTE)" çalışmada veri çoğaltma tekniği olarak seçilmiştir. Veri çoğaltma işlemi yapıldıktan sonra, veri seti üzerinde uygulanan K-en yakın komşu (KNN), Destek vektör makinesi (DVM), Lojistik Regresyon (LR), Rasgele Orman (RF), Karar ağaçları (DT) ve Naive Bayes makine öğrenmesi yöntemlerine göre en iyi sonucu en yakın komşuluk- KNN algoritması ile oluşturulmuş model vermiştir. Bu model, eğitim setinden bağımsız 300 öğrenciden oluşan test verisinin sınıflandırma işlemini, %97.66 doğrulukla tahmin etmiştir.

Anahtar Kelimeler: Makine öğrenmesi, Sınıflandırma, Başarı tahmini, En yakın komşuluk algoritması, Sentetik azınlık örneklem arttırma yöntemi.

Classification of Students' Course Qualifications Using Machine Learning Techniques

ABSTRACT

This study, which aims to predict the academic success of the students and to eliminate the missing areas, was applied to the students who took the Introduction to Information Systems Engineering course. It is aimed to increase the quality of education by applying machine learning methods to the effect of the computer knowledge level of these students at the beginning of the semester on the success grade they get at the end of the semester. When the dataset of the students participating in the study was separated as training and test data, meaningless results emerged due to the lack of data. For this reason, "Synthetic Minority Sampling Method (SMOTE)" was chosen as the data multiplication technique in the study to increase the performance of machine learning algorithms. After the data replication process is done, according to the K-nearest neighbor (KNN), Support vector machine (DVM), Logistic Regression (LR), Random Forest (RF), Decision trees (DT) and Naive Bayes machine learning methods applied on the data set. The model created with the nearest neighbor-KNN algorithm gave the best result. This model predicted the classification process of the test data consisting of 300 students independent of the training set, with an accuracy of 97.66%.

Keywords: Machine Learning, Classification, Success prediction, K-nearest Neighbour, SMOTE

¹ ICAIAME 2021, konferansında sunulmuştur.

I. GİRİŞ

Lisans düzeyindeki öğrencilerin akademik performanslarının makine öğrenmesi teknikleri kullanılarak tahmin edilmesi ve bu tahminler ışığında ders ve konu temelli yönlendirmelerin yapılması ile ilgili çalışmalar son yıllarda oldukça gelişme göstermiştir [1]. Özellikle eş-zamanlı ve eş-zamansız eğitim yöntemlerinde öğrencilerin takibi ve başarı oranlarının seviyelerinin istenilen düzeylere getirilebilmesi açısından bu tip çalışmaların önemi oldukça fazladır. Bu alanda makine öğrenmesi algoritmalarından sınıflandırma ve kümeleme algoritmaları ile çok sayıda çalışma gerçekleştirilmiştir [2].

Özellikle büyük verilerin sınıflandırılması ile ilgili yapılan çalışmalar, görüntü işleme, doğal dil işleme, optimizasyon, risk analizi ve ekonomi alanında tahminler gibi birçok alana yayılmıştır [3]. Bu alanlarda yapılan çalışmaların çoğunda var olan bir veri setindeki veriler kullanılarak makine öğrenmesi algoritmaları yardımıyla sınıflandırma işlemleri gerçekleştirilmektedir. K-Nearest Neighbors (KNN), Support Vector Machine (SVM), Logistic Regression (LR), Random Forest (RF), Decision Tree (DT), Naive Bayes (NB) gibi algoritmalar makine öğrenmesi tabanlı sınıflandırma algoritmalarının en çok tercih edilenleridir. Bu algoritmaların farklı veri setleriyle elde edilmiş sınıflandırma sonuçlarının başarılı olduğunu gösteren çok sayıda örnek literatürde yer almaktadır [4].

Sınıflandırma işlemi veri setinde yer alan verilerin, niteliklerine göre kategorileştirme işlemidir denilebilir. Makine öğrenmesi alanında sınıflandırma işlemi, örnek veri setindeki giriş değerlerinin sınıf etiketlerinin tahmin edilmesi problemi olarak ortaya çıkan bir modeldir [5]. Sınıflandırma işlemi yapılırken belirtilen algoritmalar, istatistiksel hesaplamalar yardımıyla verileri benzer özelliklere göre veya birbirilerine olan yakınlıklarına göre gruplama işlemi yapmaktadır. Belirtilen algoritmalar ile sınıflandırma işlemi yapılırken veri setindeki veriler sınıflandırma algoritmaları ile eğitilmeden önce veri hazırlama işlemleri yapılır. Bu veri hazırlama işlemi esnasında eldeki verilerin yeterli olup olmadığı belirlenen algoritmaların verdiği sonuçlara bakılarak ortaya çıkartılır [4].

Son yıllarda dengesiz veri kümelerinde, dengesiz veri gruplarını artırmak ya da veri sayısı az olan ve veri toplamının zor olduğu konularda sentetik veri üretmek amacıyla kullanılan yöntemlerden birisi de SMOTE olmuştur. Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde, Yavaş ve arkadaşları [6] Covid-19 hastalığının teşhisinde yapay sinir ağı modelinin başarı oranını arttırmak için SMOTE yöntemini önermişlerdir. Çalışmada kullanılan model ile 0.86 olarak elde edilen doğruluk değeri, SMOTE kullanılarak dengelenen veri kümesinde 0.90'a çıkmıştır. Turhan ve arkadaşları [7] tarafından gerçekleştirilen bir diğer çalışmada ise diyabet tanısının sınıflandırılmasında sınıf dengesizliğinin gidermek amacıyla sentetik veri örnekleme metotları başarılı bir şekilde kullanılmıştır. Wang [8] tarafından gerçekleştirilen çalışmada da benzer şekilde kredi risk değerlendirmesinde, dengesiz veri sınıflarından kaynaklanan başarı problemi çözmek için SMOTE yöntemi kullanılmıştır. Çalışma sonucunda SMOTE yönteminin genel başarıyı artırdığı belirtilmiştir.

SMOTE yönteminin veri artırma ve dengesiz veri sınıflarını dengelemedeki başarıyı göz önünde bulundurularak, veri sayısı az olan verisetleri üzerinde ne ölçüde başarılı olabileceği öğrenci başarılarını ortaya koyacak bir veriseti için araştırılmıştır. Bu amaçla öncelikle örnek bir veri seti hazırlanmıştır. Bu veri setinin hazırlanmasında, "Bilişim Sistemleri Mühendisliğine Giriş" dersini alan öğrencilere, dersi almadan önce öğrencilerin bilgisayar bilgi düzeylerini ortaya koyacak 68 soru sorulmuş ve 71 öğrenciye ait veriler elde edilmiştir. Bu verilere dönem sonu başarı puanları da eklenerek öğrenciler dört ayrı kategoride (çok iyi, iyi, orta, zayıf) sınıflandırılmıştır. Veri setindeki verilerin %20'si test verisi olacak şekilde ayrılarak altı farklı makine öğrenmesi algoritması ile eğitilmiştir. Çalışma sonuçları, SMOTE yöntemi kullanılarak üretilen sentetik verileri içeren veriseti ve orijinal veriseti üzerinde gerçekleştirilen makine öğrenmesi sınıflandırma işlemleri kesinlik, doğruluk ve f1-skor sonuçlarına göre incelenmiştir.

Çalışmanın bölümleri şu şekilde düzenlenmiştir; 2. Bölümde kullanılan veriseti, SMOTE yöntemi ve kullanılan makine öğrenmesi teknikleri detaylandırılmıştır. 3. Bölümde ise veri çoğaltma sürecine ve

yöntemin başarımına yönelik elde edilen sonuçlar paylaşılmıştır. Çalışma sonuçları, Bölüm 4'te verilmiştir.

II. MATERYAL VE METOD

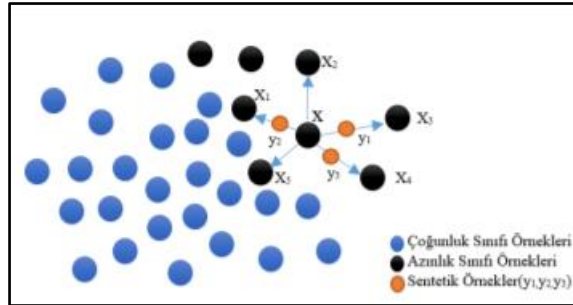
A. VERİ SETİ

Gerçekleştirilen çalışmanın amacı Bilişim Sistemleri Mühendisliğine Giriş dersini seçen öğrencilerin, dönem başlangıcında ders içeriğinde yer alan temel konularla ilgili özelliklerinin belirlenerek, mevcut bilgi düzeyleri ile dönem sonundaki başarı durumunu tahmin etmektir.

Çalışmanın ilk aşaması öğrencilerden veri toplama aşamasıdır. Bu aşamada Bilişim Sistemleri Mühendisliğine Giriş dersinin içeriğinde yer alan haftalık kazanımlar ortaya çıkartılmış ve konu başlıkları dersin veren öğretim görevlisi tarafından seyretilerek 68 farklı kazanım ortaya çıkarılmıştır. Ortaya çıkarılan bu kazanımların her birisi için, öğrencilerin kendilerini 1-5 puan arasında değerlendirmeleri istenmiştir. 2020-2021 Güz dönemi başında yapılan veri toplama işlemine 71 öğrenci katılmış ve bu şekilde gerçek verilerden oluşan 71x68 boyutundaki ham veri seti ortaya çıkartılmıştır.

B. SMOTE (SENTETİK AZINLIK ÖRNEKLEM ARTTIRMA YÖNTEMİ)

Veri setinde yer alan verilerin yetersiz ve dengesiz olması durumlarında SMOTE (Synthetic Minority Oversampling Technique) olarak adlandırılan yeniden örnekleme yöntemi kullanılmaktadır. 2002 yılında geliştirilen bu algoritma birçok dengesiz veri kümesi problemine uygulanmıştır [9]. SMOTE tekniği, bu gibi durumlarda en yaygın kullanılan ve çoğu zaman en başarılı örnekleme yöntemi olarak literatürde yer almaktadır. Algoritmanın çalışma mantığı Şekil 1'de gösterildiği gibidir [6]. Burada öncelikle, azınlık sınıfına ait her bir gözlemin en yakın k komşusu aranır. Bulunan fark, yeni bir sentetik gözlem oluşturmak için (0,1) aralığında seçilen rastgele bir sayı ile çarpılır. Bu işlem, istenen sayıda sentetik gözlem üretmek için tekrarlanır.



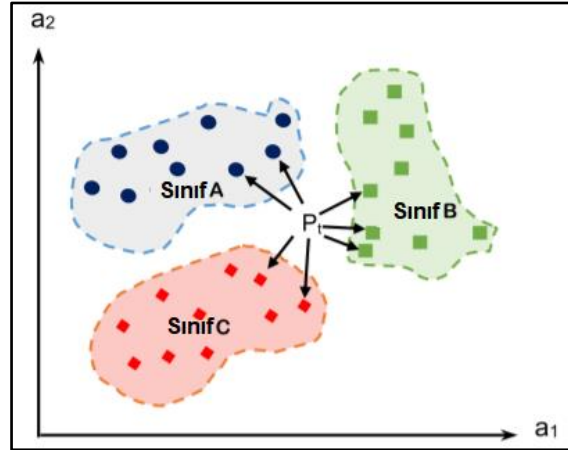
Şekil 1. SMOTE algoritması [6].

C. KNN (K-EN YAKIN KOMŞU ALGORİTMASI)

K-NN, sınıflandırılmamış örneğin en yakın komşularının bulunmasına ve benzerliği yüksek sınıflara göre tahminlerde bulunulmasına dayanan bir sınıflandırma yöntemidir [10]. En yakın komşuları bulmak için veri setini tek tek taramak algoritmanın performansını düşürdüğü için tembel öğrenme yöntemi veya vaka tabanlı öğrenme yöntemi olarak adlandırılır [11]. Bu dezavantajdan dolayı, k-NN algoritması, özellikle büyük hacimli verilerde yavaş bir çalışma süresine sahiptir [12].

K-NN algoritması, sınıflandırılmamış bir örneği önceden sınıflandırılmış veri noktalarından herhangi birisine olan uzaklığına göre ilgili sınıfa atama işlemini yapar [13]. Şekil 2'de, bilinmeyen bir veri

noktası olan P, belirlenen k komşuluk değerine göre veri noktasından minimum uzaklığa göre bir sınıfa dahil edilmiştir [14].



Şekil 2. K-en yakın komşu sınıflandırıcısına bir örnek.

KNN algoritmasında, veri setindeki sınıfları belli olan kümelerden faydalanılarak, tahminde bulunulacak veri setindeki yeni verilerin, mevcut verilere göre uzaklık değerleri hesaplanır ve k sayıdaki komşuluklarına bakılır. Komşulukların mesafeleri hesaplanırken sıklıkla kullanılan bir fonksiyon olan Öklid uzaklığı Denklem (1)'de verilmiştir [2].

$$d(x, y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2} \quad (1)$$

Veri setinden yeni bir veriyi sınıflandırmak amaçlı olarak algoritmaya verdiğimizde, eğitilmiş veri setinde yer alan k adet en yakın komşuların sınıf etiketleri alınır. Sonraki adımda, ortaya çıkan sınıf etiketlerinden hangisi çoğunluktaysa işleme alınan veri o kümeye dahil edilir [15].

Ç. SVM (DESTEK VEKTÖR MAKİNESİ ALGORİTMASI)

Destek Vektör Makinesi (SVM), sınıflandırma veya regresyon problemleri için kullanılan bir denetimli makine öğrenmesi algoritmasıdır. Eğer çözülmesi gereken sorun, denetlenen ikili sınıflandırmalardan biri ise SVM(Destek Vektör Makinesi) kullanılabilir [16]. Yani, kategorisi bilinmeyen yeni nesnelere, özelliklerine ve daha önceden kategorize edilmiş bilinen örneklerine göre iki ayrı gruba ayırmak istendiğinde SVM algoritması oldukça başarılıdır [17].

D. LR (LOJİSTİK REGRESYON ALGORİTMASI)

Lojistik regresyon, ismine rağmen, regresyon modelinden ziyade bir sınıflandırma modelidir. LR, ikili ve doğrusal sınıflandırma problemleri için basit ve daha verimli bir yöntemdir. Gerçekleştirilmesi çok kolay olan ve lineer olarak ayrılabilir sınıflarla çok iyi performans gösteren bir sınıflandırma modelidir. Endüstride sınıflandırma için yaygın olarak kullanılan bir algoritmadır. Adaline ve perceptron gibi lojistik regresyon modeli, çok sınıflı sınıflandırmaya genelleştirilebilen ikili sınıflandırma için istatistiksel bir yöntemdir [18].

Lojistik regresyonda, bağımlı değişken yalnızca 1 (DOĞRU) veya 0 (YANLIŞ) şeklinde kodlanmış verileri içerir. LR'nin amacı, bağımlı değişken ile bağımsız değişken arasındaki ilişkiyi tanımlamak için en uygun modeli bulmaktır. Lojistik regresyon analizi temelde, bir olayın logaritmik oranını tahmin eder. Matematiksel olarak, lojistik regresyon Denklem (2)'deki gibi tanımlanmış çoklu doğrusal regresyon fonksiyonunu kullanır.

$$\text{logit}_{(p)} = \log\left(\frac{p(y=1)}{1-p(y=1)}\right) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \dots + \beta_k X_k \quad (2)$$

Bu denklemde p, karakteristik özelliğinin var olma olasılığıdır. Bir diğer önemli değer de odds değeri olarak adlandırılan değerdir. Denklem (3) ile verilen bu değer karakteristik özelliğinin var olma olasılığı (p) değerinin, karakteristik özelliğinin var olmama olasılığı (p-1) değerine bölünmesiyle ortaya çıkan bir değerdir.

$$\text{odds} = \frac{p}{p-1} = \frac{\text{karakteristiğinin var olma olasılığı}}{\text{karakteristiğinin var olmama olasılığı}} \quad (3)$$

Burada yer alan odds değeri iki farklı durumun gerçekleşme olasılığını ortaya çıkarır. Gerçekleştirilen çalışmalarda ortaya çıkan bu değerlerin birbirlerine oranı ise iki durumun birbirine göre gerçekleşme olasılıklarını göstermektedir. Örneğin bir hastalığa yakalanma riskinin yaş gruplarına göre olasılıkları hesaplanarak bu hesaplamalar sonucunda hangi yaş aralığındaki kişilerin daha riskli bir yaş grubunda oldukları bulunabilmektedir.

E. RF (RASTGELE ORMAN ALGORİTMASI)

Rastgele ormanlar veya rastgele karar ormanları, eğitim zamanında çok sayıda karar ağacı oluşturarak çalışan, sınıflandırma, regresyon ve diğer görevler için bir topluluk öğrenme yöntemidir. Sınıflandırma görevleri için, rastgele ormanın çıktısı, çoğu ağaç tarafından seçilen sınıftır. Regresyon görevleri için, tek tek ağaçların ortalama veya ortalama tahmini döndürülür [19]. Rastgele orman algoritması genellikle karar ağaçlarından daha iyi performans gösterir, ancak doğruluk değerleri gradyan destekli ağaçlardan daha düşüktür. Ancak, veri setinde yer alan verilerin özellikleri performanslarını etkileyebilir [20].

Rastgele orman algoritmasında yer alan ağaçların her birinin öğrenmesi aşamasında kullanılan genel teknik bootstrap veya bagging yöntemidir. Bu yöntemin işleyişinde, eğitim sonrası, görünmeyen örnekler x' için tahminler, x' üzerindeki tüm bireysel regresyon ağaçlarından gelen tahminlerin ortalaması alınarak aşağıdaki formül ile veya sınıflandırma ağaçları söz konusu olduğunda oy çoğunluğuna bakılarak yapılabilir [21].

$$\hat{f} = \frac{1}{B} \sum_{b=1}^B f_b(x^l) \quad (4)$$

Bu bootstrap prosedürü, bias'ı artırmadan modelin varyansını azalttığı için daha iyi bir performans elde edebilmeyi sağlamaktadır [21].

F. DT (KARAR AĞAÇLARI ALGORİTMASI)

Karar ağaçları algoritması, veri madenciliğinde kullanılan çok sayıda sınıflandırma algoritması olmasına rağmen, uygulamasının ve anlaşılmasının kolay olması sebebiyle literatürde yaygın olarak kullanılan bir sınıflandırma algoritmasıdır [22].

Karar ağacı algoritması, veri setini küçük ve hatta daha küçük parçalara bölerek geliştirilir. Bir karar düğümü bir veya birden fazla dallanma içerebilir. İlk düğüme kök düğüm (root node) denir. Bir karar ağacı hem kategorik hem de sayısal verilerden oluşabilmektedir [23].

Karar ağacı algoritmasının kullanıldığı sınıflandırma problemlerinde, diğer birçok algoritmada olduğu gibi kullanılacak veri seti iki ana parçaya (eğitim-train ve test) ayrılır. Algoritma, eğitim verilerini kullanarak modeli oluşturur. Oluşturulan bu model de test verisi üzerinde uygulanarak modelin problem çözümündeki başarısı hesaplanır. Literatürde en sık kullanılan karar ağacı algoritmaları ID3, C4.5, CHAID, CART algoritmalarıdır.

G. NB (NAİVE BAYES ALGORİTMASI)

İstatistikte Naive Bayes sınıflandırıcıları, özellikler arasında güçlü bağımsızlık varsayımları ile Bayes teoreminin uygulanmasına dayanan basit “olasılıklı sınıflandırıcılar” ailesi olarak tanımlanırlar. En basit Bayes ağ modelleri arasındadırlar [24], fakat çekirdek yoğunluğu tahmini ile birleştiğinde daha yüksek doğruluk seviyelerine ulaşabilirler [25] [26]. Naive Bayes sınıflandırıcıları oldukça ölçeklenebilirdir ve bir öğrenme problemindeki değişkenlerin (features/predictors) sayısında doğrusal bir dizi parametre gerektirir [27].

İstatistik ve bilgisayar bilimi literatüründe, Naive Bayes modelleri, Simple Bayes ve Independent Bayes dahil olmak üzere çeşitli isimler altında bilinir ve bütün bu isimler, sınıflandırıcının karar kuralında Bayes teoreminin kullanımına atıfta bulunur. Ancak Naive Bayes bir Bayes yöntemi değildir [27] [28].

III. VERİ ÇOĞALTMA VE BAŞARI DURUMU TESPİTİ

Veriseti kullanılmadan önce ön işleme adımından geçirilerek veriler eğitime hazır hale getirilmiştir. Ön işleme aşamasında öğrencilerin dönem sonu başarı puanları, ilk adımda oluşturulan veri setindeki öğrenci bilgileriyle eşleştirilerek en son sütuna eklenmiştir. Ayrıca, öğrencilerin başarı puanlarına göre sınıflandırılması işlemi, istatistiksel yöntemler kullanılarak **ÇOK İYİ-İYİ-ORTA-ZAYIF** şeklinde dört kategoriye ayrılmıştır. Böylece her öğrencinin mevcut niteliklerine göre hangi başarı durumu sınıfında olduğu belirlenmiştir. Öğrencilerden toplanan verilere göre oluşturulan veri setinin ilk hali Şekil 3’te verilmiştir.

	A	C	D	E	F	G	BQ	BR	BS	BU
1	ÖğrenciNo	Nitelik 1	Nitelik 2	Nitelik 3	Nitelik 4	Nitelik 5	Nitelik 67	Nitelik 68	BasarıNot	Durum
2	201601714	5	3	3	4	3	5	5	31,3	ZAYIF
3	201601021	4	5	3	5	4	5	5	61,9	ÇOK İYİ
4	201601036	4	4	4	4	4	5	5	47,01	ORTA
5	201601065	5	5	4	4	5	5	4	61,08	ÇOK İYİ
6	201601602	3	5	5	5	5	5	5	56,11	İYİ
7	201601007	4	5	5	5	5	5	5	44,53	ORTA
8	201601013	4	4	4	5	3	4	4	55,29	İYİ
9	201601059	5	4	4	5	4	5	4	51,98	İYİ
10	201601025	5	4	4	5	5	5	5	56,11	İYİ
11	201601603	5	5	5	5	5	5	5	47,01	ORTA
12	201601035	5	5	4	5	5	5	5	47,01	ORTA
13	201601061	5	5	5	5	5	5	5	53,63	İYİ
14	201601011	4	5	5	5	5	5	3	54,46	İYİ
15	201601062	3	3	4	2	2	4	3	44,53	ORTA
16	201601070	4	4	3	3	5	5	4	59,42	ÇOK İYİ
17	201601018	5	5	5	5	5	5	5	61,08	ÇOK İYİ
18	201601057	3	3	2	4	1	4	1	40,4	ZAYIF

Şekil 3. 71 Öğrencinin bilgilerine dayalı veriseti.

Çalışmanın ilk aşamasında, 71 satırlık veri setindeki veriler %20 test ve %80 eğitim verisi olarak ayrılarak, seçilen altı makine öğrenmesi yöntemi ile eğitilmiştir. Bu algoritmalara ait modellerin doğruluk skorları Şekil 4’te verilmiştir.

Algoritma	Doğruluk
Lojistik Regresyon	60.000000
Destek Vektör Makinesi	53.333330
K-en yakın komşu	40.000000
Rastgele Orman	40.000000
Karar Ağacı	33.333333
Naive Bayes	13.333333

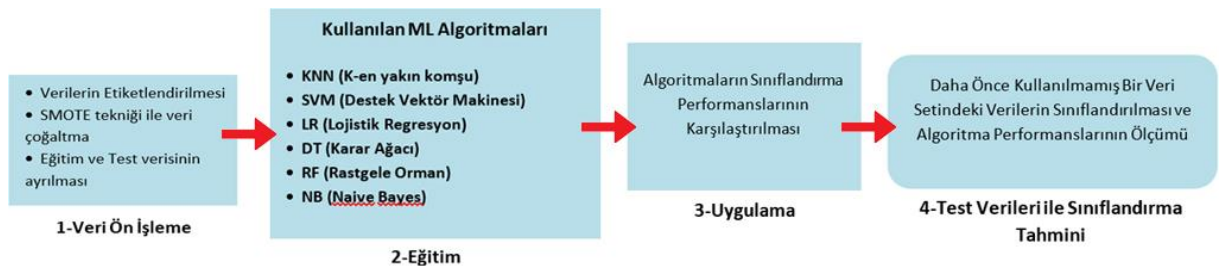
Şekil 4. Algoritmaların veri setinin ilk hali ile eğitilmesiyle ortaya çıkan doğruluk skor tablosu.

Şekil 4’de de verildiği gibi ortaya çıkan makine öğrenmesi doğruluk değerleri, eldeki veri seti ile çok başarılı bir sınıflandırmanın yapılamayacağını ortaya koymuştur. Bu nedenle 71 satırlık veri seti içerisindeki veriler kullanılarak, “Sentetik Azınlık Örneklem Arttırma Yöntemi (SMOTE)” ile 640 satırlık eğitim ve 300 satırlık test verisi üretilmiştir. Eğitim veri setindeki verilerin %20 lik bölümü test verisi olarak ayrılmış ve bu veriler daha önce belirtilen altı makine öğrenmesi sınıflandırma algoritması ile eğitilmiştir. Eğitim sonucunda elde edilen modellerin doğruluk tablosu ise Şekil 5’de verilmiştir.

Algoritma	Doğruluk
K-en yakın komşu	96.87500
Destek Vektör Makinesi	96.09375
Lojistik Regresyon	92.96875
Karar Ağacı	90.62500
Rastgele Orman	89.84375
Naive Bayes	59.37500

Şekil 5. Algoritmaların Eğitim veri setine göre doğruluk skor tablosu.

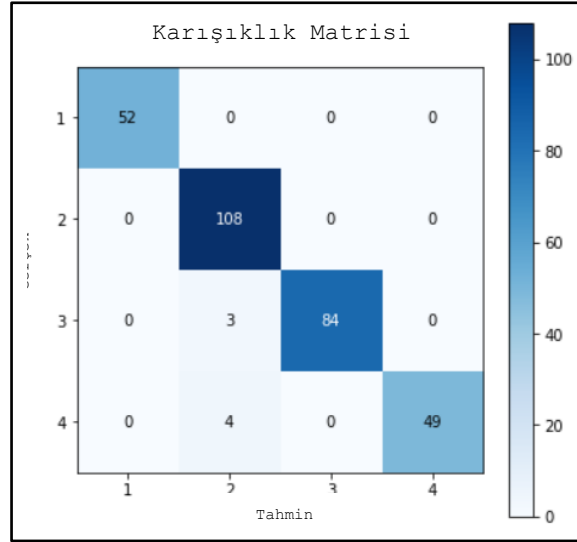
Çalışmada gerçekleştirilen işlem adımları ve bu işlemlere ait bilgiler Şekil 6’ da gösterilmiştir. Şekil 6’ya göre birinci adımda veri setindeki verilerin yeterli olup olmadığı test edilmiştir. Daha sonra sentetik veri arttırma tekniği kullanılarak satır sayısı arttırılmış ve eğitim ve test veri seti olarak bölümlere ayrılmıştır. İkinci adımda ise hazırlanan veriler, belirlenen algoritmalar kullanılarak eğitilmiştir. Üçüncü adımda algoritmaların sınıflandırma performansları karşılaştırılarak sıralanmış ve böylece son adımdaki test verileri ile sınıflandırma tahmini yaparken bu tablodan faydalanılmıştır. Şekil 5’deki tabloda da görüldüğü gibi ilk iki sırada yer alan algoritmalar sırasıyla, KNN ve SVM algoritmaları olmuş test verileri ile sınıflandırma tahmini adımı bu iki algoritmanın sınıflandırma performansı incelenmiştir.



Şekil 6. Yapılan çalışmaya ait işlem adımları.

A. KNN (K-EN YAKIN KOMŞU ALGORİTMASI)

KNN algoritmasının verimliliği ve performansını belirleyen en önemli faktör komşu sayısının belirlendiği k değeridir. Gerçekleştirilen çalışmada çeşitli k değerlerine göre performans ölçümleri yapılarak en uygun değer 8 olduğu belirlenmiştir. KNN modelinin optimizasyonu eğitim veri setindeki verilerle sağlandıktan sonra, modelin doğruluğu 300 satırlık test verisi ile ölçülmüştür. KNN algoritmasıyla elde edilen sonuçlara ait karışıklık matrisi Şekil 7’de verilmiştir. Buna göre, KNN algoritması “1 - Çok İyi” ve “2- İyi” sınıflarına ait olan öğrencileri hatasız sınıflandırırken, “3- Orta” sınıfına ait öğrencilerden 3 tanesini “İyi” olarak sınıflandırılmıştır. Ayrıca, “4- Kötü” sınıfına ait öğrencilerden de 4 tanesini “İyi” sınıfına dahil ederken 49 veri doğru sınıflandırılmıştır.



Şekil 7. KNN Algoritması Karışıklık Matrisi Tablosu.

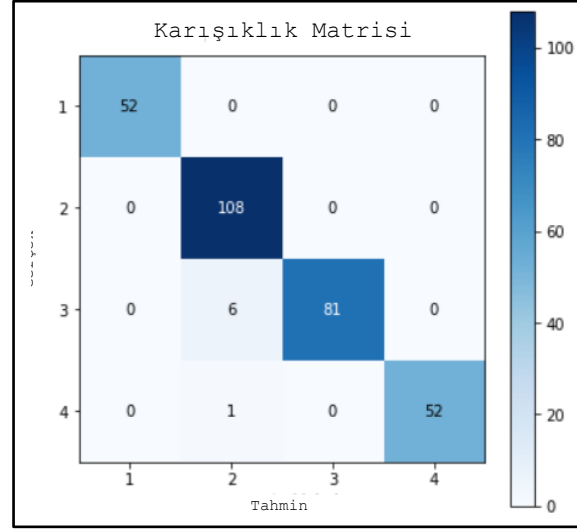
KNN algoritmasının sınıflandırma performansını gösteren değerlendirme kriterleri ve değerleri Şekil 8’deki “Sınıflandırma Raporu” ile verilmiştir. Bu matriste yer alan f1-score puanı, hangi modelin en iyi sınıflandırma performansına sahip olduğuna karar vermek için kullanılmıştır. KNN modeli ile, çalışmadaki test veri setinde yer alan dört farklı sınıfa ait sınıflandırma sonuçlarının f1-score değerlerinden %97.66’lık bir doğruluk değeri elde edilmiştir. Ayrıca matriste görülen kesinlik ve duyarlılık değerlerinin 1’e yakın olması modelin doğruluğunun ne derecede yüksek olduğunu da göstermektedir.

	Kesinlik	Duyarlılık	f1-skor	Destek
1	1.00	1.00	1.00	52
2	0.94	1.00	0.97	108
3	1.00	0.97	0.98	87
4	1.00	0.92	0.96	53
Doğruluk			0.98	300
macro avg	0.98	0.97	0.98	300
weighted avg	0.98	0.98	0.98	300

Şekil 8. KNN algoritmasına ait sınıflandırma raporu matrisi.

B. SVM (DESTEK VEKTÖR MAKİNESİ)

Çalışmanın uygulama adımında elde edilen sonuçlar ışığında %96.09'luk doğruluk oranına sahip olan SVM algoritması, test verilerindeki sınıfı belli olmayan satırları Şekil 9'da verilen karışıklık matrisi verilerine göre sınıflandırmıştır. Buna göre SVM algoritması da KNN algoritması gibi "1 - Çok İyi" ve "2 - İyi" sınıflarında yer alan satırları doğru sınıflandırırken, "3 - Orta" sınıfında yer alan 87 kişiden 6 kişiyi "İyi" sınıfına dahil etmiştir. Ayrıca, "4 - Kötü" sınıfında yer alan 53 kişiden 1 tanesi benzer şekilde "İyi" sınıfında tahmin edilmiştir.



Şekil 9. SVM algoritması karışıklık matrisi tablosu.

SVM algoritmasının sınıflandırma performansına ait bilgiler Şekil 10'daki Sınıflandırma Raporu ile verilmiştir. KNN algoritması ile elde edilen sonuçlar benzer şekilde SVM algoritması ile de elde edilmiştir. SVM algoritması da %97.66'lık bir doğrulukla sınıflandırma işlemini gerçekleştirmiştir. Bununla birlikte, kesinlik ve duyarlılık değerlerinin KNN de olduğu gibi 1 değerine çok yakın olduğu görülmüştür.

	Kesinlik	Duyarlılık	f1-skor	Destek
1	1.00	1.00	1.00	52
2	0.94	1.00	0.97	108
3	1.00	0.93	0.96	87
4	1.00	0.98	0.99	53
Doğruluk			0.98	300
macro avg	0.98	0.98	0.98	300
weighted avg	0.98	0.98	0.98	300

Şekil 10. SVM algoritmasına ait sınıflandırma raporu matrisi.

IV. SONUC

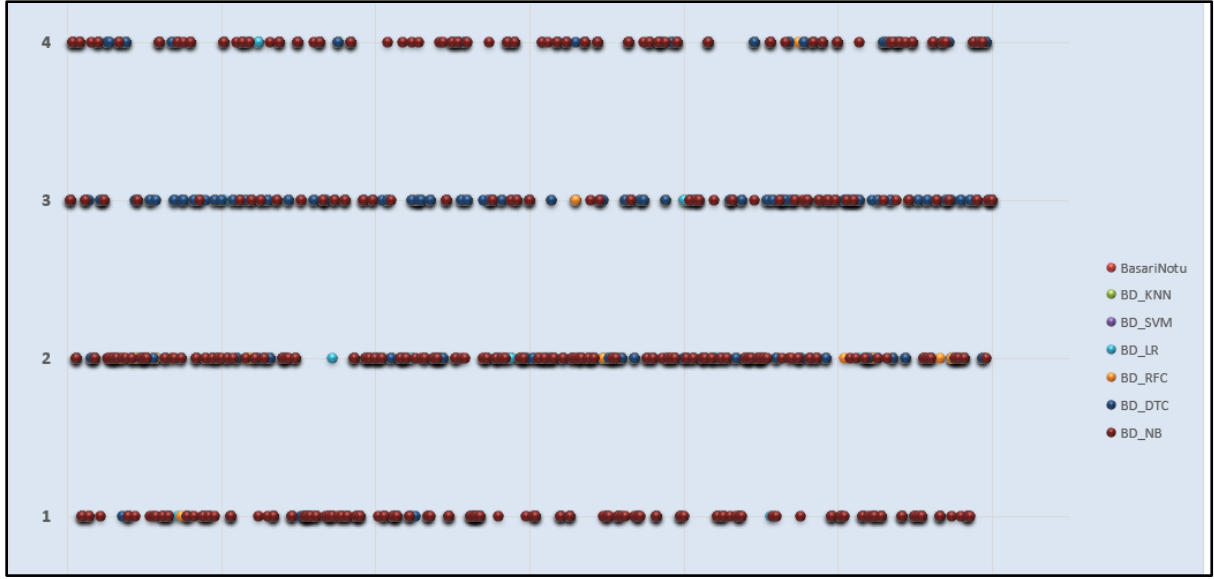
Yapılan çalışmada, eğitim verisinden ayrılan %20'lik veri seti kullanılarak gerçekleştirilen sınıflandırma yöntemlerinin başarısı ortaya konmuştur. Eğitim verisinden ayrılan bu verilerle elde edilen sonuçlar ile 300 satırlık test verisinden elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında en iyi sonuçları veren algoritmaların her iki aşamada KNN ve SVM algoritmaları olduğu görülmüştür. Gerçekleştirilen çalışmada kullanılan algoritmaların test veri seti kullanılarak elde edilmiş sınıflandırma doğruluk skorları Şekil 11'de verilmiştir.

Algoritma	Doğruluk
K-en yakın komşu	97.666667
Destek Vektör Makinesi	97.666667
Lojistik Regresyon	95.333330
Rastgele Orman	94.333330
Karar Ağacı	91.666667
Naive Bayes	68.333333

Şekil 11. Algoritmaların Test veri setine göre doğruluk skor tablosu.

KNN ve SVM algoritmalarının, test veri setine uygulanması sonucunda sınıflandırma başarısını gösteren doğruluk değerleri her iki algortmada da %97.66 olarak ortaya çıkmıştır. KNN ve SVM algoritmalarının test veri setine uygulanmasıyla elde edilen Karışıklık matrisleri incelendiğinde, her iki algoritma da “Çok İyi” ve “İyi” sınıflarını %100 doğrulukla tahmin ederken, KNN algoritması “Orta” sınıfındaki öğrencileri %96.55, SVM algoritması %93.10 doğrulukla tahmin etmiştir. “Kötü” sınıfındaki öğrencileri ise KNN algoritması %92.45, SVM algoritması %98.11 doğrulukla tahmin etmiştir.

Çalışmada kullanılan altı algoritmanın sınıflandırma tahminlerinin gerçekte olması gereken değerlerle karşılaştırıldığı grafik Şekil 12'teki gibidir. Grafikte “Başarı Notu” olarak tanımlanan gösterge, veri setinde yer alan değerlerin gerçekte olması gereken sınıflarını temsil ederken diğer göstergeler ise algoritmaları temsil etmektedir. Şekilden de anlaşıldığı gibi “Başarı Notu” sınıfındaki değerlerden farklı olan sınıflandırma sonuçları ilgili algoritma için belirlenen renk ile gösterilmiştir. Buna göre en farklı sınıflandırmayı Naive Bayes algoritmasının yaptığı grafikte de görülmektedir. Bununla birlikte 3 ncü sınıf olarak tanımlanan “Orta” sınıfında yer alması gereken öğrenciler diğer sınıfların tahminine göre daha düşük oranda tahmin edilmişlerdir.



Şekil 12. Sınıflandırma tahminleri ve gerçek değerlerin karşılaştırılması.

Çalışmada kullanılan algoritmaların sınıflandırma tahminleri ile olması gereken sınıflandırma değerleri arasındaki regresyon sonuçları da Tablo 1’de gösterilmiştir. Tabloya göre algoritmaların β katsayıları ve r^2 değerleri incelendiğinde SVM algoritmasının sınıflandırma tahminlerinin, olması gereken tahmin değerlerine en yakın sonuçları üreten doğrusal regresyon modeline sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca her bir algoritmanın olasılık değerleri 0.05’in altında olduğundan bütün algoritmalara ait regresyon modelleri anlamlı bulunmuştur.

Tablo 1. Algoritmalara ait basit doğrusal regresyon analizi sonuçları.

Algoritma (X)	Basit Doğrusal Regresyon Modeli	R^2	Modelin Olasılık Değeri (p)
KNN	$Y=0,079+0,983X$	0,935	,000
SVM	$Y=0,057+0,987X$	0,983	,000
LR	$Y=0,173+0,950X$	0,934	,000
RF	$Y=0,138+0,959X$	0,944	,000
DT	$Y=0,187+0,915X$	0,928	,000
NB	$Y=1,126+0,591X$	0,663	,000

Y: başarı notu, $p < 0,05$

Elde edilen bütün sonuçlar karşılaştırıldığında bu gibi veri setlerinde SVM algoritmasının sınıflandırma başarı oranının oldukça yüksek olduğu görülmektedir.

Yapılan çalışmanın ilerleyen aşamalarında Bilişim Sistemleri Mühendisliğine Giriş dersini ilk defa alan öğrencilerin ders ile ilgili nitelikleri, çalışmanın çıkış noktasında olduğu gibi toplanacak, daha sonra yapılan çalışmada ortaya konulan en iyi algoritma ile öğrencilerin niteliklerine göre sınıflandırma tahminleri yapılacaktır. Ortaya çıkan sonuçlar incelenerek periyodik olarak takip edilerek öğrencilere gerekli yönlendirmelerin yapılması planlanmaktadır.

V. KAYNAKLAR

[1] M. Imran, S. Latif, D. Mehmood ve M. S. Shah, "Student academic performance prediction using supervised learning techniques," *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)*, vol. 14, pp. 92-105, 2019.

- [2] E. Güvenç, G. Çetin ve H. Koçak, “Comparison of KNN and DNN classifiers performance in predicting mobile phone price ranges,” *Advances in Artificial Intelligence Research (AAIR)*, vol. 1, pp. 19-28, 2021.
- [3] A. A. Soofi ve A. Awan, “Classification techniques in machine learning: Applications and issues,” *Journal of Basic & Applied Sciences*, no. 13, pp. 459-465, 2017.
- [4] B. Abdualgalil ve S. Abraham, “Applications of machine learning algorithms and performance comparison: A Review,” *International Conference on Emerging Trends in Information Technology and Engineering*, pp. 1-6, 2020.
- [5] J. Brownlee. (2020, Apr 8). *4 Types of Classification Tasks in Machine Learning*. [Online]. Available: <https://machinelearningmastery.com/types-of-classification-in-machine-learning/>.
- [6] M. Yavaş, A. Güran ve M. Uysal, “Covid-19 veri kümesinin SMOTE tabanlı örnekleme yöntemi uygulanarak sınıflandırılması,” *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi Özel Sayı*, ss. 258-264, 2020.
- [7] S. Turhan, Ö. Yüksel, B. S. Yürekli, A. S. Karakülah ve E. Doğu, “Sınıf dengesizliği varlığında hastalık tanısı için kolektif öğrenme yöntemlerinin karşılaştırılması: Diyabet tanısı,” *Türkiye Klinikleri Biyoistatistik Dergisi*, c. 12, ss. 16-26, 2020.
- [8] L. Wang, “Imbalanced credit risk prediction based on SMOTE and Multi-Kernel FCM improved by particle swarm optimization,” *Applied Soft Computing*, vol. 114, pp. 1-14, 2021.
- [9] N. V. Chawla, K. W. Bowyer, L. O. Hall ve W. P. Kegelmeyer, “SMOTE: Synthetic minority over-sampling technique,” *Journal of Artificial Intelligence Research*, no. 16, pp. 321-357, 2002.
- [10] Y.-l. Cai, D. Ji ve D.-f. Cai, *Proceedings of NTCIR-8 Workshop Meeting*, Tokyo, 2010.
- [11] P. Cunningham ve S. J. Delany, “k-Nearest neighbour classifiers - A Tutorial,” *ACM Computing Surveys*, vol. 6, no. 54, pp. 1-25, 2021.
- [12] G. Guo, H. Wang, D. Bell, Y. Bi ve K. Greer, “KNN model-based approach in classification,” *On The Move to Meaningful Internet Systems 2003: CoopIS, DOA, and ODBASE. OTM 2003. Lecture Notes in Computer Science*, pp. 986-996, 2003.
- [13] T. Cover ve p. Hart, “Nearest neighbor pattern classification,” *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 1, no. 13, pp. 21-27, 1967.
- [14] D. M. Atallah, M. Badawy, A. El-Sayed ve M. A. Ghoneim, “Predicting kidney transplantation outcome based on hybrid feature selection and KNN classifier,” *Multimedia Tools and Applications*, 2019.
- [15] M. Muja ve D. G. Lowe, “Fast approximate nearest neighbors with automatic algorithm configuration,” *Proceedings of the Fourth International Conference on Computer Vision Theory and Applications*, Lisboa, Portugal, pp. 331-340, 2009.
- [16] C. Cortes ve V. Vapnik, “Support vector networks,” *Machine Learning*, no. 20, pp. 273-289, 1995.


- [17] S. Alay. (2020, 22 Haziran). *AlgoRithm:Destek Vektör Makineleri(Support Vector Machines)(R Kod Örnekli)*. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.datascienceearth.com/algorithmdestek-vektor-makinelerisupport-vector-machinesr-kod-ornekli/>.
- [18] A. Subasi, Practical machine learning for data analysis using python, *Academic Press*, 2020.
- [19] T. K. Ho, “Random decision forests,” *Proceedings of the 3rd International Conference on Document Analysis and Recognition, Montreal*, pp. 278-282, 1995.
- [20] S. M. Piryonesi ve T. E. El-Diraby, “Role of data analytics in infrastructure asset management: overcoming data size and quality problems,” *Journal of Transportation Engineering, Part B: Pavements*, no. 146, pp. 1-17, 2020.
- [21] G. James, D. Witten, T. Hastie ve R. Tibshirani, %1 içinde *An Introduction to statistical learning*, Springer, 2013, pp. 316-321.
- [22] H. Chauhan ve A. Chauhan, “Implementation of decision tree algorithm c4.5,” *International Journal of Scientific and Research Publications*, no. 3, pp. 1-3, 2013.
- [23] E. Uzun. (2022) .*Decision Tree (Karar Ağacı): ID3 Algoritması – Classification (Sınıflama)*. [Çevrimiçi]. Erişim: https://erdincuzun.com/makine_ogrenmesi/decision-tree-karar-agaci-id3-algoritmasi-classification-siniflama/.
- [24] A. McCallum, *Graphical Models, Lecture2: Bayesian Network Representation*, 2019.
- [25] S. M. Piryonesi ve T. E. El-Diraby, “Role of data analytics in infrastructure asset management: overcoming data size and quality problems,” *Journal of Transportation Engineering, Part B: Pavements*, vol. 2, no. 146, pp. 1-17, 2020.
- [26] T. Hastie, R. Tibshirani ve J. H. Friedman, *The elements of statistical learning : Data mining, inference, and prediction : With 200 full-color illustrations*, New York : Springer, 2001.
- [27] R. Stuart ve N. Peter, *Artificial intelligence a modern approach*, New Jersey: Published by Prentice Hall, 1995.
- [28] D. J. Hand ve K. Yu, “Idiot's bayes: Not so stupid after all?,” *International Statistical Review*, no., 69, pp. 385-398, 2001.
- [29] devhuntery.wordpress.com. (2018, 20 Eylül). *Rastgele Orman(Random Forest) Algoritması*» [Çevrimiçi]. Erişim: <https://devhuntery.wordpress.com/2018/09/20/rastgele-ormanrandom-forest-algoritmasi/comment-page-1/>.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Biyobozunur Mg-Ag Alaşımlarının Mikroyapı, Mekanik ve Korozyon Özelliklerine Zn ve Nd Elementlerinin Etkisi

 Levent ELEN^{a,*}

^a*Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, TOBB Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Karabük Üniversitesi, Karabük, TÜRKİYE*

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: leventelen@karabuk.edu.tr

DOI:10.29130/dubited.996415

ÖZ

Bu çalışmada, %0,5 oranlarında (Zn ve Nd) element ilaveli Mg-%3Ag döküm alaşımlarının, mikroyapı, mekanik, in vitro korozyon özellikleri incelenmiştir. Deney sonuçlarına göre, alaşımlara ilave edilen Zn elementinin etkisiyle (Mg-3Ag-0,5Zn) alaşımda tanelerin incelendiği ve bu sayede alaşımların bazı mekanik özelliklerinin de arttığı gözlenmiştir. Nd elementi ilavesi ile oluşturulan (Mg-3Ag-0,5Nd) alaşımında ise en yüksek sertlik değeri gözlenmiştir. Korozyon testleri sonrasında ise alaşım elementlerine bağlı olarak farklı korozyon değerleri tespit edilmiştir. Alaşımların yapısında tespit edilen ikincil fazların, alaşımların mekanik özelliklerine ve korozyon özelliklerine etki ettiği tespit edilmiştir. Tüm bu sonuçlar neticesinde Mg-Ag alaşımlarının biyomalzeme alanında gelişime açık ve ihtiyaç duyduğu kanısına varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Mg-Ag alaşımları, Mikroyapı, Mekanik özellikler, *In vitro* korozyon özellikleri

Effect of Zn and Nd Elements on Microstructure, Mechanical and Corrosion Properties of Biodegradable Mg-Ag Alloys

ABSTRACT

In this study, casting, microstructure, mechanical and in vitro corrosion properties of 0.5% (Zn and Nd) element added Mg-3%Ag cast alloys were investigated. According to the results of the experiment, it was observed that the grains got refined with the effect of Zn element added to the alloys and thus some mechanical properties of the alloys increased. The highest hardness value was observed in the alloy (Mg-3Ag-0.5Nd) created by the addition of Nd element. After the corrosion tests, differences were determined depending on the alloying elements. It has been determined that the secondary phases seen in the structure of the alloys have an effect on the mechanical and corrosion properties of these alloys. According to all these results, it was concluded that Mg-Ag alloys are required and open for development in the field of biomaterials.

Keywords: Mg-Ag alloys, microstructure, Mechanical properties, *In vitro* corrosion properties

I. GİRİŞ

Magnezyum (Mg) alaşımları iyi mekanik özellikleri sebebiyle endüstriyel yapı malzemesi olarak ve otomotiv endüstrisinde kullanımı açısından ilk sıralarda yer alırken [1], düşük yoğunluk özelliğinden dolayı ise havacılık ve elektronik endüstrisinde kendisine geniş yer bulmuştur. Fakat Mg ve alaşımları, biyomalzeme alanında yeni gelişmeler içerisinde olmasından dolayı tıp ve malzeme literatüründe doyurucu bir bilgiye henüz ulaşmış değildir. Özellikle biyobozunur malzeme üretiminde ve kullanımında tam manasıyla yaygınlaşmasını henüz tamamlayamamıştır. Bunun en temel nedenlerden biri insan sağlığı olduğu için yapılan deneysel ve klinik çalışmaların süresinin uzun olması ve de alaşımlandırma pratiğinin eksikliği ya da yanlışlığı sayılabilir. Ayrıca tıp alanında kullanılması öngörülen bu küçük boyutlardaki parçaların boyutsal uygunluğunun sağlanabilmesi için ikinci bir işlem mekanizmasının (ekstrüzyon, hadde vb.) devreye girmesi gerekebilir. Bunun yanı sıra en iyi mekanik özelliklerin elde edilmesi için sadece üretim yöntemi değil alaşım elementleri ve soğuma hızı [2]–[4] bu duruma etki eder. Dolayısıyla da farklı yöntemlerle elde edilen bazı mekanik özellikler, döküm yöntemi, soğuma hızı ve alaşım elementlerinin sayesinde de sağlanabilir.

Biyobozunur Mg implantlarının en önemli özelliği fizyolojik ortamda yavaş yavaş çözünmesidir. Bu durum ise, implantları tekrar insan vücudundan çıkarmak için revizyon ameliyatı gerekliliğini ortadan kaldırır [5], böylece hastalar için ikincil bir ameliyat kaygısı ve muhtemel enfeksiyon riskleri de ortadan kaldırılmış olur. Dahası, yüksek mukavemet / ağırlık oranına sahip olan Mg ve alaşımlarının, Young modülü ($E= 41-45$ GPa) doğal kemiğin ($E= 3-20$ GPa) değerine oldukça yakındır [5]–[7]. Bu nedenle, Mg alaşımları, stres koruyucu etkiyi en aza indirger ve kemiğin kendi kendini tamir etmesini sağlar [5], [7].

Mg içerisinde yüksek çözünürlüğe (ağırlıkça %15) sahip olmakla birlikte katı çözeltili oluşturarak Mg alaşımlarının mekanik özelliklerini geliştiren gümüş (Ag) [8] biyomalzeme alanında oldukça önemli bir elementtir. Çünkü Ag, bakterilerin DNA ve RNA yapısını deforme edip çoğalmasını ve yaşamını sürdürmesini engelleyerek antibakteriyel özellik göstermektedir [9]. Özellikle metisilin dirençli stafilokok aureus (Kısa adı MRSA olan ve genel mukozal dokularda yaşayan ve türeyen bir tür bakteri) gibi fakültatif anaerobik, sporsuz ve gram pozitif olan bakterilerin canlılığını düşürebilmek ve ortadan kaldırabilmek için [9] Ag ilaveli Mg alaşımları ideal alaşımlar olarak nitelendirilebilir.

Çinko (Zn), Mg-Zn denge diyagramına göre hem katı çözeltili hem de yaşlandırma olanakları sağlayan, ağırlıkça %6,2 katı bir çözünürlüğe sahip önemli bir alaşım elementidir. Zn, insan vücudunda kemik metabolizmasında rol oynayan, vücutta fizyolojik işlevi koruyan ve kemiklerde osteoblast fosfataz aktivitesini artıran önemli bir eser elementtir [10]. Dolayısıyla biyomalzeme alanında da önemli bir elementidir.

Nadir toprak elementleri (REE)'ler, yüksek sıcaklıkta dayanımı ve sürünme direncini artırabilen zayıf yayılma özelliğine sahiptir [8]. Ayrıca Mg'a ilave edildiğinde mekanik özelliği artırması, korozyon direncini artırması ve fizyolojik ortamda biyolojik uyumluluğu artırması beklenir [8]. Özellikle Neodimyum (Nd) aynı zamanda kanser ilaçlarında da kullanılan antikansorejen özelliğe sahip önemli bir elementtir.

Dolayısıyla bu çalışmada %3 Ag içeren Mg-Ag alaşımlarına %0,5 (ağ.) oranında Zn ve Nd elementleri ilave edilerek elde edilen döküm alaşımlarının mikroyapı, mekanik ve in vitro korozyon özellikleri incelenmiştir.

II. MATERYAL VE METOT

Deneyisel çalışmalarda, Mg-Ag magnezyum alaşımlarının hazırlanmasında Bilginoğlu Endüstri firmasından temin edilen %99,9 saflıkta magnezyum ve 4D Makine ve Teknoloji firmasından temin edilen %99,9 saflıkta gümüş kullanılmıştır.

Alaşımların ergitme ve döküm proseslerinde atmosfer kontrollü indüksiyon döküm ocağı kullanılmıştır. Döküm sıcaklığı 750 °C ve kalıp sıcaklığı 250 °C olarak belirlenmiştir. Ergitme ve karıştırma işlemlerinin ardından döküm işlemi, kokil kalıp içerisine (CO₂+%1SF₆) gaz koruması altında yapılmıştır.

Mg-Ag alaşımlarının döküm sonrası kimyasal bileşimleri, Rigaku ZSX Primus II marka cihaz kullanılarak XRF (X-Işınları Floresans) yöntemi ile belirlenmiştir. Analiz sonuçları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Alaşımların kimyasal analizleri.

Alaşım	Kod	Kimyasal Bileşim (ağ. %)							
		Ag	Zn	Nd	Al	Si	P	Mn	Mg
Mg-3Ag	Q	3,351	0,003	-	0,023	0,036	0,001	0,027	Kalan
Mg-3Ag-0,5Zn	QZ	3,061	0,576	-	0,019	0,035	0,003	0,035	Kalan
Mg-3Ag-0,5Nd	QE	3,173	0,006	0,558	0,034	0,029	0,001	0,033	Kalan

Metalografik incelemeler için numune yüzeyleri sırası ile 400, 600, 800, 1200 ve 2000 mesh zımparalar ile saf su kullanılarak zımparalanmıştır. Daha sonra 1 µm alümina süspansiyon kullanılarak yüzeyler parlatılarak Nikon Epiphot marka optik mikroskopta mikroyapıları incelenmiştir. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) (Carl Zeiss Ultra Plus) ile SEM ve EDX analizleri yapılmıştır.

Döküm sonrası 5 adet çekme numunesi hazırlanmıştır. Numunelerin çekme testleri, Zwick/Roell Z600 çekme cihazında, $1,67 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ çekme hızında gerçekleştirilmiştir.

Numunelerin sertlikleri, Shimadzu marka HMV model Micro Hardness Tester cihazında Vickers sertlik testi ile belirlenmiştir. Sertlik deneyi 0,3 kg yük altında 15 s uygulanarak gerçekleştirilmiştir.

Döküm sonrası bütün numunelerin XRD profilleri Rigaku Ultima IV marka cihaz ile 10°-90° tarama açısı aralığında ve 3 °/min tarama hızında elde edilmiştir.

Döküm sonrası alaşımların korozyon testleri ~37 °C'de, 7.4 pH'a sahip ve kompozisyonu: NaCl 8.0 g/l, KCl 0.4 g/l, CaCl₂ 0.14 g/l, NaHCO₃ 0.35 g/l, C₆H₆O₆ (glucose) 1.0 g/l, MgCl₂·6H₂O 0.1 g/l, MgSO₄·7H₂O 0.06 g/l, KH₂PO₄ 0.06 g/l, Na₂HPO₄·12H₂O 0.06 g/l. bileşiminden oluşan Hank sıvısında yapılmıştır. Elektrokimyasal ölçümler ~37 °C'de, 7.4 pH olan Hank sıvısında, bilgisayar kontrollü DC105 korozyon analizine sahip Gamry model PC4/300 mA potansiyostat/galvanostat ile yapılmıştır. Polarizasyon eğrileri, 1 mV.s⁻¹ tarama hızında, -0,25 V (vs. açık devre potansiyeli, Eoc) +0,25 V (vs. Eoc) aralığında tarama ile oluşturulmuştur.

Daldırma testleri ~37 °C'de, 7.4 pH'a sahip Hank sıvısında yapılmıştır. Daldırma işlemi 24 ve 72 saat aralıklarında gerçekleştirilmiştir. Daldırma sonrası ortalama korozyon hızı CR_m [11] hesaplanmıştır.

Ortalama korozyon hızı CR_m, aşağıdaki denklem kullanılarak belirlendi (Eşitlik 1):

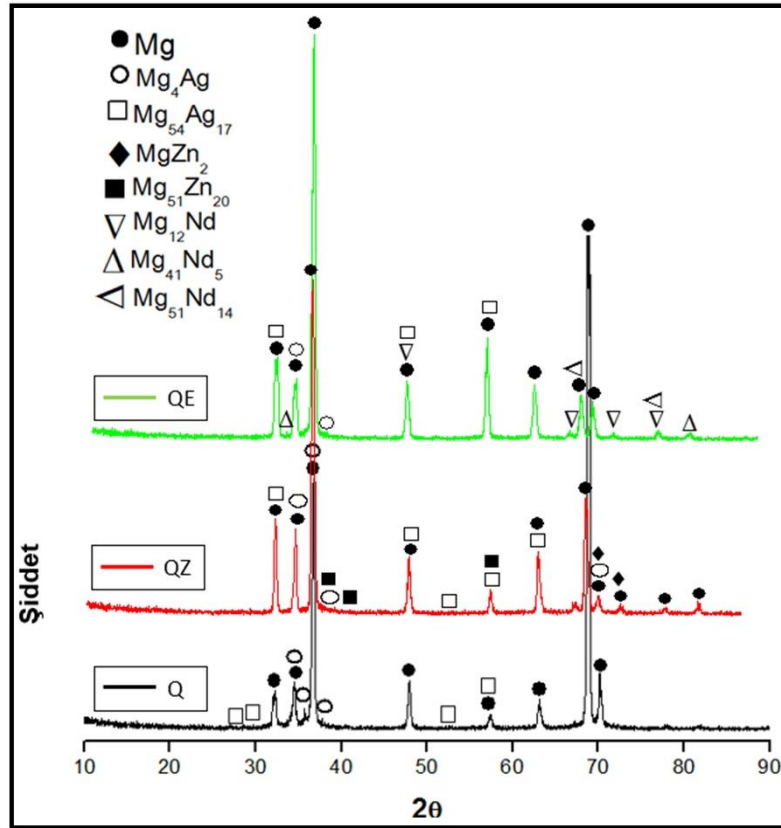
$$CR_m = \frac{8.76 \times 10^4 \times \Delta g}{A \times t \times \rho} \quad (1)$$

Formülde, Δg gram cinsinden ağırlık değişimi (daldırma öncesi ve sonrası fark), A cm^2 cinsinden numunenin yüzey alanı, t saat cinsinden daldırma süresi ve ρ g/cm^3 cinsinden yoğunluktur.

III. SONUÇ VE TARTIŞMA

A. XRD SONUÇLARI

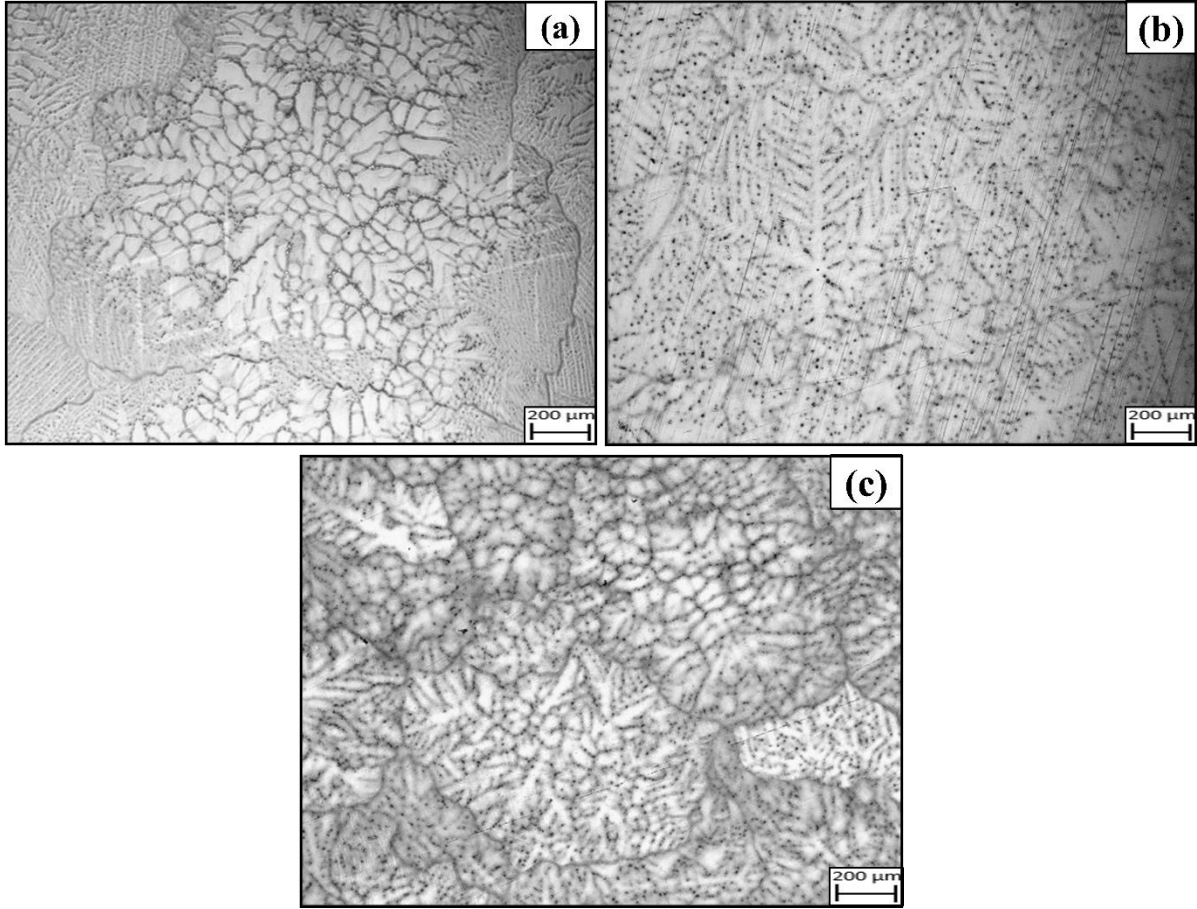
Alaşımın XRD faz analiz sonuçları Şekil 1.'de verilmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, Q alaşımında Mg (JCPDS kart no 01-089-5003), Mg_4Ag (JCPDS kart no 00-045-1020), $\text{Mg}_{54}\text{Ag}_{17}$ (JCPDS 03-065-8314) fazlarının varlığı tespit edilmiştir. Bu fazların yanısıra, QZ alaşımında MgZn_2 (JCPDS kart no 03-065-0120), $\text{Mg}_{51}\text{Zn}_{20}$ (JCPDS kart no 03-065-4290) fazlarının varlığı tespit edilmiştir. Ancak MgZn_2 fazı zayıf pikler oluşturmuştur. (Ben-Hamu vd.) yapmış oldukları çalışmada, Ag miktarının %3'ün altında olması halinde MgZn_2 fazının daha belirgin hale geldiğini ve bunun yanı sıra Ag miktarı %3'e kadar çıktığında $\text{Mg}_{51}\text{Zn}_{20}$ fazının belirginleştiği rapor edilmiştir [12]. Ayrıca (Feng vd.) yapmış oldukları çalışmada MgZn_2 fazının varlığını tespit etmiştir [13]. QE alaşımında ise Mg_{12}Nd (JCPDS kart no 03-065-2772), $\text{Mg}_{41}\text{Nd}_5$ (JCPDS kart no 00-045-1031), $\text{Ag}_{51}\text{Nd}_{14}$ (JCPDS kart no 00-023-0641) kırınım tepeleri gözlenmiştir. (Zhang vd.) yapmış oldukları çalışmada Mg_{12}Nd fazının Mg ana matrisi etrafında dağılmış olarak tespit ettiklerini rapor etmiş ve XRD analizlerinde dikkate değer pikler oluşturduğunu gözlemlemiştir [14]. (Feng vd.) $\text{Ag}_{51}\text{Nd}_{14}$ fazları, farklı Ag içeriğine sahip tüm alaşımlarda tanımlanabilir olduğunu vurgulamıştır [13]. Ayrıca (Zhang vd.) yapmış oldukları çalışmada α -Mg'un yanısıra yapıda hem Mg_{12}Nd hem de $\text{Mg}_{41}\text{Nd}_5$ fazının varlığını tespit etmiştir [15].



Şekil 1. Alaşımların XRD faz analizleri.

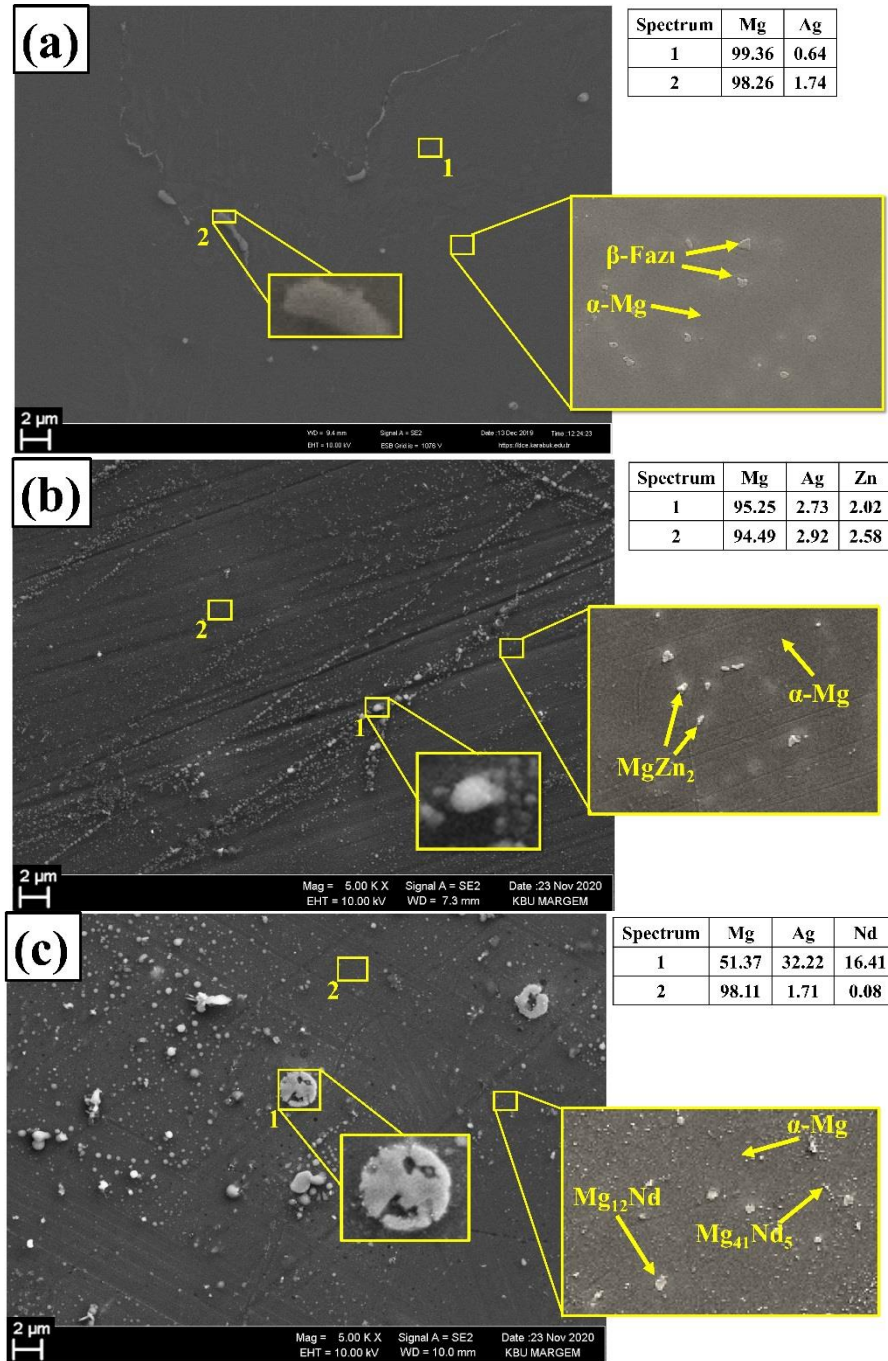
B. MİKROYAPI SONUÇLARI

Alaşımlara ait optik mikroskop görüntüleri Şekil 2’de verilmiştir. Mg-Ag alaşımlarının yapısı üzerindeki dendritik segregasyonun etkisi, (Podosek vd.) tarafından yapılan çalışma ile ikili Mg-Ag alaşımlarının denge dışı katılaşmasının teorik ve deneysel olarak detaylı bir şekilde gösterilmiştir [16]. Yapılan çalışma sonucunda ise, denge dışı ötektiklerin mümkün olan en düşük miktarlarını elde etmek için ve alaşımların, yapı mekanik özellikler açısından daha uygun hale gelebilmesi için, daha yüksek hızlarda katılaşması gerektiğini rapor etmiştir [16]. Bu bilgiler doğrultusunda alaşımların mikroyapısı incelendiğinde, genel olarak dendritik yapıdan meydana geldiği görülmektedir. Mg-%3Ag (Q) alaşımına ilave edilen (Zn ve Nd) elementlerin mikroyapıya etkisi incelendiğinde (Şekil 2), QZ döküm alaşımında Q alaşımına kıyasla, ikincil faz partiküllerinin daha incelmış olduğu gözlenmiştir.



Şekil 2. Alaşımların optik mikroskop görüntüleri (a) Q, (b) QZ, (c) QE.

Alaşımlara ait SEM görüntüleri ve EDX analizleri Şekil 3’te verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, ötektik büyük β -Mg₄Ag /Mg₅₄Ag₁₇ faz partiküllerinden ve α -Mg fazından oluştuğu tespit edilmiştir. QZ alaşımında çinkoca ve gümüşçe zengin bir alaşım oluşturulmuştur. Aynı şekilde QE alaşımında da ilave elementlerce zengin partiküllerin varlığı tespit edilmiştir.



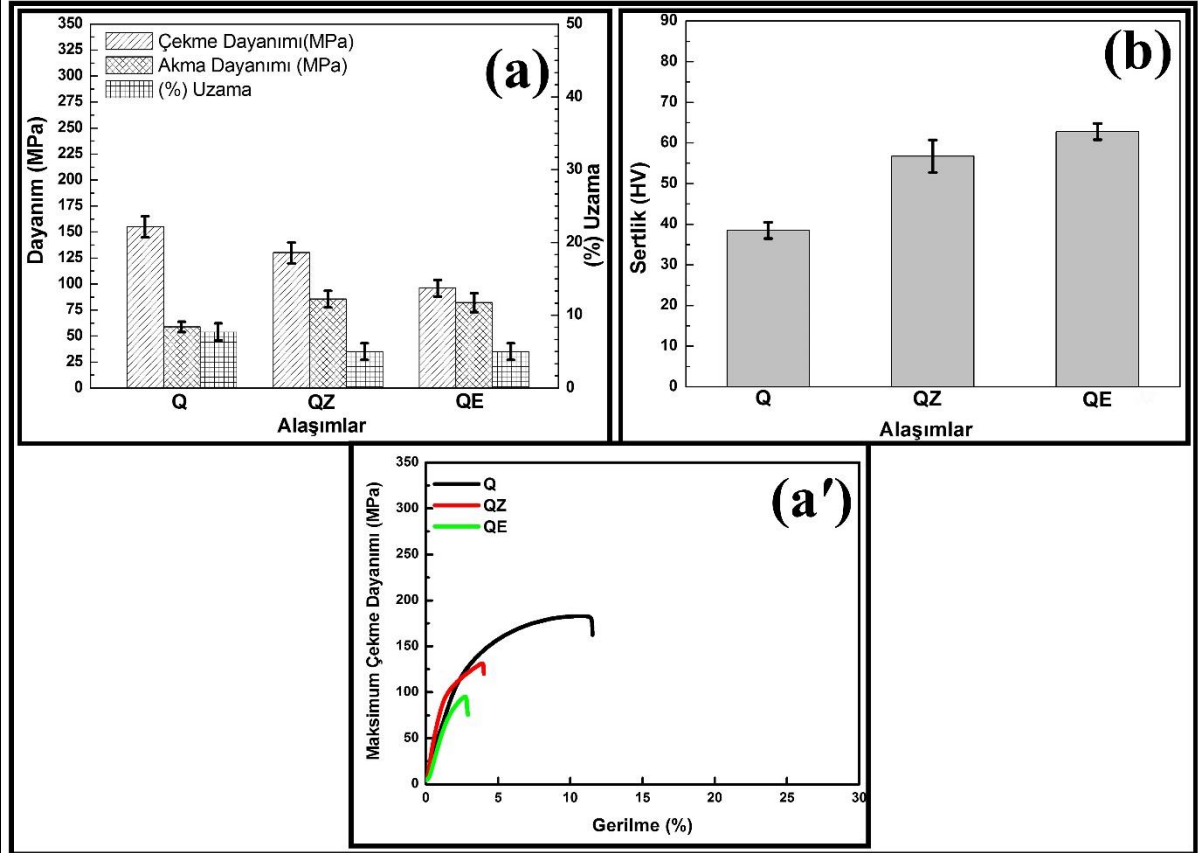
Şekil 3. Alaşımların SEM görüntüleri ve EDX analizleri (a) Q, (b) QZ, (c) QE.

Literatürde Mg-Nd sistemi hakkında belirgin bir deneysel veri eksikliği mevcuttur ve var olanlar tam manasıyla tutarlı değildir [17]. Bununla birlikte, en son sonuçlar, Mg-Nd sisteminin sıvıdan, uç katı çözeltilerden: Hegzagona sıkı paketli (hsp) (Mg katı çözeltisi), hacim merkezli kübik (hmk) ve çift hezagonal sıkıpaket (çhsp) (sırasıyla yüksek ve düşük sıcaklıkta Nd katı çözeltisi) ve metallerearası bileşikler $Mg_{41}Nd_5$ ve $Mg_{12}Nd$ 'den oluştuğu konusunda hemfikirdir [17]. Mg-Nd sisteminde bulunan intermetalik fazlardan $Mg_{41}Nd_5$ fazı Mg açısından en zengin olanıdır [17]. 560 °C'de peritektik olarak sıvı ve Mg_3Nd fazlarına ayrışır ve ayrıca Mg açısından zengin uç katı çözelti ve 545 °C'de sıvı faz ile ötektik reaksiyona girer (at. %92,5 Mg) [18]. Diğer $Mg_{41}RE_5$ fazları (tI92-Ce₅Mg₄₁ tipi) gibi tetragonal bir yapıya sahiptir [18].

C. ÇEKME VE SERTLİK TESTLERİ SONUÇLARI

Alaşımın çekme dayanımları Şekil 4(a) incelendiğinde Q alaşımına ilave edilen elementlerin akma dayanımına olumlu bir etki sergilediği, çekme dayanımlarında olumlu bir etki ortaya çıkarmadığı tespit edilmiştir. Genel olarak Ag elementinin Mg alaşımlarında güçlü katı eriyik etkisine sahip olması ve bu sayede ince dendritik yapının yanısıra tek düze mikroyapı oluşumunu [13] desteklemesinden dolayı çekme dayanımlarında çok fazla bir artış sergilemesi beklenemez. Bununla birlikte Hem Mg-Ag hem de Mg-Zn ikili sistemlerinde bulunan HMK katı çözeltileri de QZ (Mg-Ag-Zn üçlü sistem) alaşımlarında meydana geldiği [19] için çekme dayanımının düşmesine fakat akma dayanımının artmasına neden olduğu düşünülmektedir.

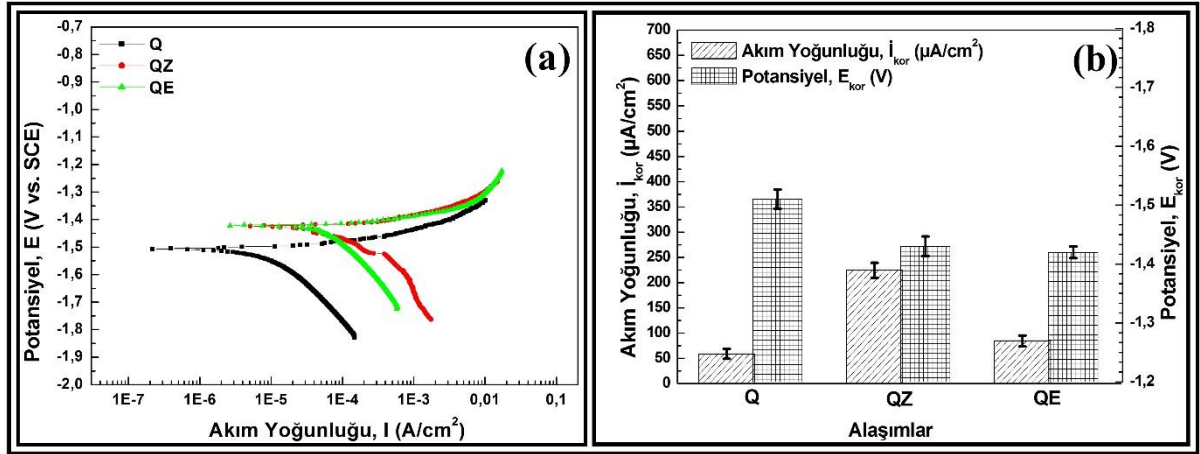
Nd elementinin Mg içerisinde maksimum katı çözünürlüğü Mg-Nd faz diyagramına [18] göre 552 °C'de en fazla %3,6 kadardır. Ancak sıcaklığın azalmasıyla birlikte çözünürlük miktarı da azalma gösterir. Bu sebeple ortam sıcaklığında Nd'nin Mg içerisindeki çözünürlüğü göz ardı edilebilir seviyededir. Ayrıca denge dışı katılaşma nedeniyle, α -Mg aşırı doymuştur ve Nd'nin bir kısmı, döküm alaşımlarında çökeltiler yerine boşanmış ötektik $Mg_{12}Nd$ oluşturur [20]. Bu sebeple Nd ilave edilmiş QE döküm alaşımlarının (Şekil 4(a)) mekanik özelliklerinde bir iyileşme olmadığı düşünülmektedir. Alaşım elementi ilavesi ile sertlik değerlerinin artış gösterdiği tespit edilmiştir. Ayrıca QE alaşımının sertlik değeri Şekil 4(b) incelendiğinde, tüm alaşımlara kıyasla en yüksek değere ulaşmıştır. Nd ilaveli döküm Mg alaşımlarının sertlik değişimini açıklamak için üç faktör vardır. İlk olarak, ortalama tane boyutunun azalması, yani tane sınırının hacim oranı artar, bu da tane sınırının güçlenmesine yol açar [21]. İkinci olarak, katı çözeltiler güçlendirme etkisini üreten matriste giderek daha fazla Nd atomu çözülür [21]. Üçüncüsü, alaşımlardaki Nd içeriği miktarı, matristeki Nd elementinin maksimum katı çözünürlüğünü aştığında, ötektik reaksiyon nedeniyle daha sert ikinci faz oluşur ve bu da ikinci fazın güçlenmesine neden olur [21]. QE alaşımının sertlik değerindeki artış bu nedenlerle açıklanabilir.



Şekil 4. Alaşımların (a) çekme-akma dayanımları ve % uzama, (b) sertlik değerleri.

D. KOROZYON TESTİ SONUÇLARI

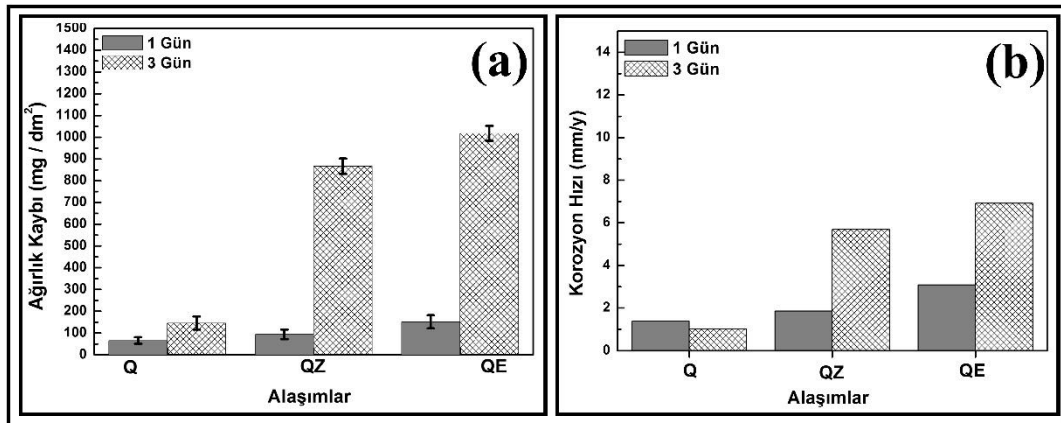
Şekil 5'te alaşımlara ait potansiyodinamik polarizasyon test sonuçları verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde Q alaşımının diğer alaşımlara kıyasla korozyon potansiyelinin daha negatif değerde olduğu tespit edilmiştir. Galvanik korozyonun oluşum prensibine bağlı olarak, anot faz olan α -Mg oranının katot faz olan intermetalikler oranından büyük olması durumu galvanik korozyonu hızlandırıcı rol oynamaktadır [22]. Bununla birlikte döküm halinde malzemelerde genel olarak çökelmeler ve segregasyonlar meydana gelebilmektedir. Meydana gelen çökelmeler ve segregasyonlar ise daha çok tane sınırlarında olmaktadır. Dolayısıyla da yapı içerisinde meydana gelen ikincil fazların öncelikle ve büyük miktarlarda tane sınırları boyunca çökmesi ve (ağ. %3) Ag'ün varlığı ile intermetalik fazların çoğalmasından neticesinde (Şekil 5(b)) farklı korozyon oranlarının ortaya çıkardığı düşünülmektedir.



Şekil 5. Alaşımların (a) potansiyodinamik polarizasyon test sonuçları (b) korozyon akım yoğunluğu ve potansiyel değerleri.

Alaşımlara ait 72 saat (3 günlük) daldırma korozyon testi sonrası ortaya çıkan sonuçlar Şekil 6'da verilmiştir.

Bozunma hızı, artan miktarda çökelti ile doğrusal olarak artar ve çökeltiler, lokal bozunma durumuna neden olabilir [23]. Dolayısıyla çökeltilerin hem miktarı hem de dağılımı, mikrogalvanik korozyon prensibine bağlı olarak bozunma davranışını etkileyebilir [24], [25].



Şekil 6. Alaşımların 1 ve 3 günlük daldırma korozyon testi sonrası, (a) ağırlık kaybı, (b) korozyon hızı.

Sonuçlar incelendiğinde, ağırlık kaybı oranları alaşımların genelinde (Şekil 6(a)) ilk 24 saat içerisinde stabil iken daha sonra artış gösterdiği tespit edilmiştir. Korozyon hızı (Şekil 6(b)), artan miktarda

çökelti ile doğrusal olarak artma eğiliminde olması ve çökeltilerin lokal bozunmaya neden olabilmesi gibi durumlar neticesinde Zn ve Nd içeren (QZ ve QE) döküm alaşımlarının Q alaşımına kıyasla artan bir korozyon hızı sergilediği tespit edilmiştir.

IV. SONUÇLAR

Yapılan çalışma sonucunda;

1- Mg'a Ag ilavesi ile yapıda Mg₄Ag ve Mg₅₄Ag₁₇ fazlarının varlığı tespit edilmiştir. Diğer alaşım elementleri (Zn ve Nd) ilavesi ile yapıda MgZn₂, Mg₅₁Zn₂₀, Mg₁₂Nd, Mg₄₁Nd₅, Ag₅₁Nd₁₄ fazlarının varlığı tespit edilmiştir.

2- Alaşımların mekanik özellikleri element ilavesi ile farklılık göstermiş ve buna göre; Q alaşımının çekme dayanımı 155 MPa iken QZ ve QE alaşımlarında sırası ile 130 ve 96 MPa olarak tespit edilmiştir. Bununla birlikte, Q alaşımının akma dayanımı 58,8 MPa iken QZ ve QE alaşımlarında sırası ile 85,5 ve 82 MPa olduğu gözlenmiştir. Ayrıca alaşımların sertlik değerlerinin, Q alaşımında 38,5 HV, QZ alaşımında 56,7 ve QE alaşımında 62,8 HV olduğu gözlenmiştir.

3- Potansiyodinamik polarizasyon testleri sonucunda, en düşük akım yoğunluğu değeri Q ve QE alaşımında, en yüksek akım yoğunluğu ise QZ alaşımında gözlenmiştir. Bununla birlikte Q alaşımının potansiyel değeri QZ ve QE alaşımına kıyasla daha negatif değer sergilediği tespit edilmiştir.

4- Daldırma korozyon testleri sonrası (1 ve 3 günlük) en fazla ağırlık kaybı (1 günlük: 151, 3 günlük: 1017 mg/dm²) QE alaşımında gözlenmiştir. En düşük ağırlık kaybı (1 günlük: 65,5, 3 günlük: 145,2 mg/dm²) Q alaşımında tespit edilmiştir. QZ alaşımında ise ağırlık kaybı (1 günlük: 94, 3 günlük: 866 mg/dm²) QE alaşımına yakın bir değer sergilediği gözlenmiştir. Korozyon hızlarında da en düşük (1 günlük: 1,3 mm/y, 3 günlük: 1,0 mm/y) Q alaşımında gözlenirken en yüksek değer ise gene (1 günlük: 3,0 mm/y, 3 günlük: 6,9 mm/y) QE alaşımında gözlenmiştir. QZ alaşımının korozyon hızı (1 günlük: 1,8 mm/y, 3 günlük: 5,6 mm/y) QE alaşımına yakın değer sergilemiştir.

5- Biyobozunur Mg alaşımları genel olarak düz kemikler için implant malzemesi olarak tasarlanmaktadır. Dolayısıyla alaşım modifikasyonu ile üretilmiş Mg-Ag alaşımları da küçük düz kemikler için ideal bir biyomalzemedir denilebilir.

TEŞEKKÜR: Bu çalışma Türkiye Bilimsel Araştırmalar Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 1002 no'lu ve 119M645 kodlu Hızlı Destek Projesi ile desteklenmiştir.

V. KAYNAKLAR

[1] M. Vogel, "Mikrostruktur Und Kriechverhalten Von Magnesium-Druckgusslegierungen Im System Mg-Zn-Al-Ca," Ph.D. Thesis, Universität Stuttgart, 2002.

[2] L. Elen, "AZ91 Magnezyum alaşımına farklı oranlarda Bi ve Sb ilavesi ile katılma hızının mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisi," Yüksek lisans tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, Türkiye, 2012.

[3] L. Elen, Y. Türen and E. Koç, "Effects of solidification rate on microstructure and mechanical properties with Sb at Different Ratio of AZ91 Quality Mg Alloy," *Int. J. Eng. Res. Dev.*, vol. 11, no. 2, pp. 451–463, 2019.

- [4] L. Elen, B. Cicek, E. Koc, Y. Turen, Y. Sun and H. Ahlatci, "Effects of alloying element and cooling rate on properties of AM60 Mg alloy," *Mater. Res. Express*, vol. 6, no. 9, 2019.
- [5] M. P. Staiger, A. M. Pietak, J. Huadmai, and G. Dias, "Magnesium and its alloys as orthopedic biomaterials: A review," *Biomaterials*, vol. 27, no. 9, pp. 1728–1734, 2006.
- [6] F. Witte, V. Kaese, H. Haferkamp, E. Switzer, A. Meyer-Lindenberg, C. J. Wirth, H. Windhagen, "In vivo corrosion of four magnesium alloys and the associated bone response," *Biomaterials*, vol. 26, no. 17, pp. 3557–3563, 2005.
- [7] G. Song and S. Song, "A Possible Biodegradable Magnesium Implant Material," *Adv. Eng. Mater.*, vol. 9, no. 4, pp. 298–302, 2007.
- [8] Y. Zheng, *Magnesium alloys as degradable biomaterials*. Boca Raton London New York: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2015.
- [9] D. Tie, F. Feyerabend, W. D. Müller, R. Schade, K. Liefeth, K. Kainer, R. Willumeit, "Antibacterial biodegradable Mg-Ag alloys," *Eur. Cell. Mater.*, vol. 25, pp. 284–298, 2013.
- [10] K. Nagata, N. Nakashima-Kamimura, T. Mikami, I. Ohsawa, and S. Ohta, "Consumption of molecular hydrogen prevents the stress-induced impairments in hippocampus-dependent learning tasks during chronic physical restraint in mice," *Neuropsychopharmacol. Off. Publ. Am. Coll. Neuropsychopharmacol.*, vol. 34, no. 2, pp. 501–508, 2009.
- [11] P. Maier, N. Lauth, C. L. Mendis, M. Bechly, and N. Hort, "Mechanical and corrosion properties of two precipitation-hardened Mg-Y-Nd-Gd-Dy alloys with small changes in chemical composition," *JOM*, vol. 71, no. 4, pp. 1426–1435, 2019.
- [12] G. Ben-Hamu, D. Eliezer, A. Kaya, Y. G. Na, and K. S. Shin, "Microstructure and corrosion behavior of Mg-Zn-Ag alloys," *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 435–436, pp. 579–587, 2006.
- [13] Y. Feng, S. Zhu, L. Wang, L. Chang, Y. Hou, and S. Guan, "Fabrication and characterization of biodegradable Mg-Zn-Y-Nd-Ag alloy: Microstructure, mechanical properties, corrosion behavior and antibacterial activities," *Bioact. Mater.*, vol. 3, no. 3, pp. 225–235, 2018.
- [14] X. Zhang, Z. Ba, Z. Wang, X. He, C. Shen, and Q. Wang, "Influence of silver addition on microstructure and corrosion behavior of Mg-Nd-Zn-Zr alloys for biomedical application," *Mater. Lett.*, vol. 100, pp. 188–191, 2013.
- [15] J. Zhang, B. Jiang, Q. Yang, D. Huang, A. Tang, F. Pan, Q. Han, "Role of second phases on the corrosion resistance of Mg-Nd-Zr alloys," *J. Alloys Compd.*, vol. 849, pp. 156619, 2020.
- [16] M., Podosek, A. Rakowska, R. Ciach, "The Influence of Dendrite Segregation on Structure of Mg-Ag Alloys", in *Proceedings of the Third International Magnesium Conference*, Manchester, England, 1996, pp. 545–555.
- [17] S. Gorsse, C. R. Hutchinson, B. Chevalier, and J.-F. Nie, "A thermodynamic assessment of the Mg-Nd binary system using random solution and associate models for the liquid phase," *J. Alloys Compd.*, vol. 392, no. 1, pp. 253–262, 2005.
- [18] S. Delfino, A. Saccone, and R. Ferro, "Phase relationships in the neodymium-magnesium alloy system," *Metall. Trans. A*, vol. 21, no. 8, pp. 2109–2114, 1990.



- [19] J. Wang, Y.-N. Zhang, P. Hudon, I.-H. Jung, M. Medraj, and P. Chartrand, "Experimental study of the phase equilibria in the Mg–Zn–Ag ternary system at 300°C," *J. Alloys Compd.*, vol. 639, pp. 593–601, 2015.
- [20] J. Yan, Y. Sun, F. Xue, S. Xue, and W. Tao, "Microstructure and mechanical properties in cast magnesium–neodymium binary alloys," *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 476, no. 1, pp. 366–371, 2008.
- [21] C. Su, D. Li, T. Ying, L. Zhou, L. Li, and X. Zeng, "Effect of Nd content and heat treatment on the thermal conductivity of MgNd alloys," *J. Alloys Compd.*, vol. 685, pp. 114–121, 2016.
- [22] G. L. Song and A. Atrens, "Corrosion mechanisms of magnesium alloys," *Adv. Eng. Mater.*, vol. 1, no. 1, pp. 11–33, 1999.
- [23] E. Ghali, W. Dietzel, and K.-U. Kainer, "General and localized corrosion of magnesium alloys: A critical review," *J. Mater. Eng. Perform.*, vol. 13, no. 1, pp. 7–23, 2004.
- [24] G. Song and A. Atrens, "Understanding Magnesium Corrosion—A Framework for Improved Alloy Performance," *Adv. Eng. Mater.*, vol. 5, no. 12, pp. 837–858, 2003.
- [25] F. Witte, N. Hort, C. Vogt, S. Cohen, K. U. Kainer, R. Willumeit, F. Feyerabend, "Degradable biomaterials based on magnesium corrosion," *Curr. Opin. Solid State Mater. Sci.*, vol. 12, no. 5, pp. 63–72, 2008.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Hidrofobik Yüzeylerin Türbülanslı Boru Akımlarında Sürtünme Kayıplarına Etkisinin Deneysel İncelenmesi

 Mustafa PEHLİVAN^{a,*},  Mustafa ÖZBEY^b

^a Motorlu Araçlar ve Ulaştırma Teknolojileri Bölümü, Kavak Meslek Yüksekokulu, Samsun Üniversitesi, Samsun, TÜRKİYE

^b Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: mustafa.pehlivan@samsun.edu.tr

DOI:10.29130/dubited.873308

ÖZ

Bu çalışmada, pürüzsüz bakır boru iç yüzeyi hidrofobik özellik kazandırılacak şekilde kaplanarak türbülanslı akımda basınç kaybı ve sürtünme faktörü üzerindeki etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Kaplama malzemesi olarak floridetenpropilen (FEP) ve bu temel malzemeye ağırlıkça %1 oranda grafen (FEP-G) ve grafit (FEP-C) ekleyerek elde edilen solüsyonlar kullanılmıştır. FEP, FEP-G ve FEP-C malzemeleri ile pürüzsüz bakır boru iç yüzeyleri sprey yöntemi ile kaplanıp 400 °C sıcaklıkta kurutularak hidrofobik yüzeyler elde edilmiştir. İşlenmemiş konvansiyonel pürüzsüz bakır yüzeyi ile FEP, FEP-C ve FEP-G kaplı yüzeylerin hidrofobikliği temas açıları sırasıyla 65°, 93°, 96° ve 102° olarak ölçülerek belirlenmiştir. Türbülanslı akımda, 5000 – 30000 Reynolds sayıları aralığında deneysel olarak basınç kayıpları ölçülerek sürtünme faktörü belirlenmiştir. FEP, FEP-C ve FEP-G kaplı hidrofobik yüzeyler, konvansiyonel bakır yüzeye kıyasla 5000 – 30000 Reynolds sayısı aralığındaki türbülanslı akımda %7 - %36.1 aralığında sürtünme faktöründe bir azalma göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Hidrofobik yüzey, FEP kaplama, Türbülanslı akım, Basınç kaybı, Sürtünme faktörü

Experimental Investigation of the Effect of Hydrophobic Surfaces On Friction Losses in Turbulent Pipe Flows

ABSTRACT

In this study, the inner surface of the smooth copper pipe was coated with a hydrophobic material and an experimental study was made to determine the effect on the friction factor in turbulent flow. Fluoroid ethylene propylene (FEP) was chosen as the base coating material and 1% by weight of graphene and graphite are added to this base material to obtain FEP-G and FEP-C materials, respectively. The inner surface of the smooth copper pipe was coated with FEP, FEP-G and FEP-C materials by using the spray technique. Then coated pipe was dried at 400 °C to form hydrophobic surfaces. The contact angles representing the hydrophobicity of the uncoated conventional smooth copper, FEP, FEP-C, and FEP-G coated surfaces were measured as 65°, 93°, 96° and 102°, respectively. In the turbulent flow, the pressure losses in the range of 5000 – 30000 Reynolds numbers were experimentally measured and the friction factor was determined. As a result, the decrease in the friction factor in the range of 7% to 36.1% was determined.

Keywords: Hydrophobic surface, FEP coating, Turbulent flow, Pressure drop, Friction factor.

I. GİRİŞ

Mühendislik uygulamalarının büyük çoğunluğunda akışkanların transferi ile ilgili prosesler gerçekleşmektedir. Bunun için de toplam elektrik tüketiminin %20'sini oluşturan pompalama gücüne ihtiyaç duyulmaktadır [1]. Nüfusun ve endüstrileşmenin giderek artması ile enerjiye duyulan ihtiyacın da arttığı günümüzde özellikle de çevresel etkileri açısından enerji verimliliği daha büyük önem arz etmektedir.

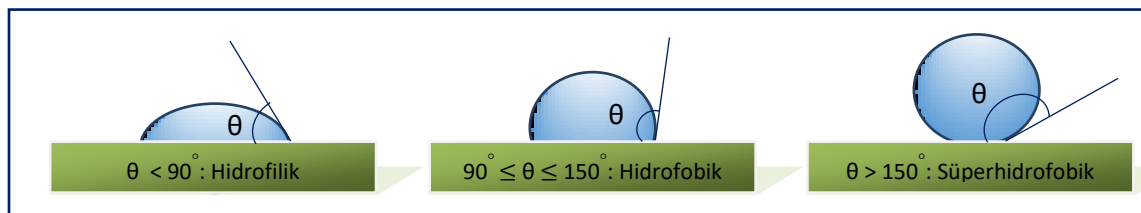
Pompalama sistemlerinde enerji tasarrufu sağlamanın bir yolu da boru akımlarındaki sürtünme kaynaklı basınç kayıplarının azaltılmasıdır. Pratikte, laminer akımdan daha çok türbülanslı akım rejimi ile karşılaşılır. Türbülanslı akımda meydana gelen basınç kaybı laminer akıma kıyasla daha yüksektir. Laminer boru akımlarında basınç kaybı akım hızı ile birinci dereceden doğru orantılı iken türbülanslı akımlarda hızın 1.75 üssü ile orantılı artmaktadır. Dolayısıyla türbülanslı akımlarda sürtünme kaynaklı basınç kaybı enerji tasarrufu açısından daha büyük önem arz etmektedir. Son yıllarda malzeme teknolojisine bağlı olarak gelişen yüzey işleme ve kaplama metotları uygulanarak sürtünme kayıplarını azaltmak üzerine teorik ve deneysel çalışmaların artmaya başladığı görülmektedir. Genel olarak, sürtünme kayıplarını azaltmak için yoğunlukla konvansiyonel yüzeyler düşük yüzey enerjili malzemeler ile kaplanarak hidrofobik yüzeyler elde edilmektedir.

Hidrofobiklik kısaca ıslanabilirlik olarak tanımlanır. Şekil 1'de görüldüğü gibi nilüfer bitkisinin yaprağı üzerinden yağmur damlasının hiçbir iz bırakmadan, yaprağın üzerindeki toz zerreciklerini toplayarak kayması hidrofobikliğe örnek olarak verilebilir.



Şekil 1. Nilüfer yaprağının hidrofobikliği [2]

Hidrofobiklik düzeyi temas açısı ölçülerek belirlenir. Temas açısı katı yüzey üzerindeki sıvı damlasının, temas ettiği yüzeyle temas noktasındaki teğetin yaptığı açıdır. Şekil 2'de görüldüğü gibi bu açının aldığı değere göre yüzeyin ıslanabilirliği için üç durum söz konusudur. Temas açısı 90° 'den küçükse hidrofilik (ıslanabilir), 90° 'den büyük ve 150° 'den küçük ise hidrofobik ve 150° 'den büyükse süperhidrofobik olarak adlandırılır [3].



Şekil 2. Yüzey hidrofobikliği

Temas açısı, sıvı-katı ara yüzey gerilimine, katının yüzey enerjisine ve yüzey pürüzlülüğüne bağlıdır. Sıvının yüzey enerjisi azaldıkça temas açısı ve buna bağlı olarak hidrofobiklik artar. Aynı zamanda hidrofobiklik katının yüzey pürüzlülüğü atıkça da artar. Pürüzlü olmayan yüzeylerde ölçülen temas açısı 120°'yi geçmez. Ancak, yüksek pürüzlülüğe sahip katı yüzeylerde, katı yüzeyi ile sıvı arasında bulunan hava, yüzeyler arası etkileşimi azaltarak hidrofobikliğini artırır [4].

Sürtünme faktörü (f) ile basınç kaybı (ΔP) arasındaki ilişki Eş. 1'de verilmiştir. Bu ilişki her iki laminer ve türbülanslı akım rejimi için de geçerlidir.

$$\Delta P = f \frac{L}{D} \frac{1}{2} \rho V^2 \quad (1)$$

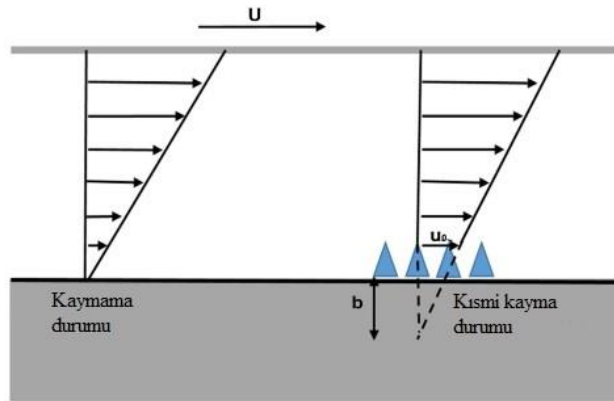
Laminer boru akımı için Darcy sürtünme faktörü aşağıdaki gibidir.

$$f = \frac{64}{Re} \quad (2)$$

Pürüzsüz borularda türbülanslı akım için ise sürtünme faktörü, aşağıdaki Blasius bağıntısı ile verilir [5].

$$f = \frac{0,316}{Re^{1/4}} \quad (3)$$

Hidrofobiklik yüzeyde kayma olmama şartını ortadan kaldırmaktadır. Bunun sebebi, hidrofobik özellik sayesinde sıvının katı yüzeyle temas ettiği alanın azalması ve buna bağlı olarak sıvı damlalarının katı yüzey üzerinde yuvarlanması şeklinde açıklanabilir. Kayma gerilmesini etkileyen bu durum kesit boyunca meydana gelen hız gradyeni (deformasyon hızı) üzerinde doğrudan etkilidir. Bu durumda yüzeydeki hız gradyeni azalarak kayma gerilmesini, dolayısıyla sürtünme kuvvetini de düşürecektir. Aynı zamanda Şekil 3'te görüldüğü üzere hidrofobik bir yüzeyde kayma olmama şartı ortadan kalktığından akım hızı sıfırdan farklı olacaktır. Yüzey üzerinde gelişen hız kayma hızı ve Şekil 3'te gösterildiği gibi b mesafesi de kayma uzunluğu olarak adlandırılır [6].



Şekil 3. Hidrofobik özelliğin hız profili üzerindeki etkisi [6].

Yüzeyde kayma olduğu durumda yüzeydeki kayma gerilmesi (τ_w) ile kayma hızı (u_k) arasındaki oran kayma katsayısı (m) olarak ifade edilebilir. Bu durumda, u_k değeri kayma gerilmesi tanımından laminer boru akımı için aşağıdaki gibi verilebilir.

$$\tau_w = -\mu \frac{du}{dr} = -\frac{dP}{dx} \frac{R}{2} = m u_k \quad (4)$$

$$u_k = -\frac{dP}{dx} \frac{R}{2m} \quad (5)$$

Ayrıca yüzeydeki hız gradyeni, kayma hızının kayma uzunluğuna (b) oranı olarak tarif edilebilir. Bu durumda yüzeydeki kayma gerilmesi;

$$\tau_w = \mu \frac{u_k}{b} \quad (6)$$

şeklini alır. Bu denklem, Eş. 4'te verilen kayma gerilmesi bağıntısı ile birleştirilirse kayma katsayısı aşağıdaki gibi olur.

$$m = \frac{\mu}{b} \quad (7)$$

Laminer boru akımı için aksenal hız (u) bağıntısı aşağıdaki gibidir;

$$u = \frac{r^2}{4\mu} \frac{dp}{dx} + c \quad (8)$$

hidrofobik yüzeylerde $r = R$ için, $u = u_k$ sınır şartı uygulandığında c sabiti,

$$c = \left(\frac{R}{2m} + \frac{R^2}{4\mu} \right) \left(-\frac{dP}{dx} \right) \quad (9)$$

olarak belirlenir ve laminer akım için hidrofobik yüzeylerde, yani yüzeyde kayma durumunda hız profili aşağıdaki formu alır.

$$u = \left[\frac{R^2}{4\mu} \left(1 - \frac{r^2}{R^2} \right) + \frac{R}{2m} \right] \left(-\frac{dP}{dx} \right) \quad (10)$$

Bu durumda hacimsel debi (Q) ve ortalama akım hızı (V) bağıntıları sırasıyla aşağıdaki gibi olur.

$$Q = \int V A dA = \int_0^R u 2\pi r dr = \int_0^R \left[\frac{R^2}{4\mu} \left(1 - \frac{r^2}{R^2} \right) + \frac{R}{2m} \right] \left(-\frac{dP}{dx} \right) 2\pi r dr \quad (11)$$

$$Q = -\frac{\pi R^2}{8\mu} \left(\frac{dP}{dx} \right) \left(1 + \frac{4\mu}{Rm} \right) \quad (12)$$

$$V = \frac{Q}{A} = -\frac{R^2}{8\mu} \frac{dP}{dx} \left(1 + \frac{4\mu}{Rm} \right) \quad (13)$$

Bu denklem, boru çapı (D) ve $-dP/dx = \Delta P/L$ esas alınarak düzenlenirse;

$$\Delta P = \frac{32\mu V L}{D^2} \frac{1}{\left(1 + \frac{4\mu}{Rm} \right)} \quad (14)$$

şeklini alır. Bu ilişkiden Eş. 1'e göre laminer hidrofobik boru akımı için sürtünme faktörü;

$$f = \frac{64}{Re} \frac{1}{\left(1 + \frac{4b}{R} \right)} \quad (15)$$

olur. Hidrofilik bir yüzeyde, yani kaymama koşulu olması durumunda kayma uzunluğu sıfır olur ve bu durumda denklem konvansiyonel bir yüzey için olan laminer akım sürtünme faktörü bağıntısı ile aynı olur. $4b/R$ eklentisi hidrofobik laminer akım düzeltme katsayısı (m_l) olarak anılabilir.

$$f = \frac{64}{Re} \frac{1}{(1+m_l)} \quad (16)$$

Tretheway ve Meinhart [7], hidrofobik malzeme ile kaplı cam yüzeylerde mikrokanal içindeki ortalama akım hızının %10'u kadar bir kayma hızı oluştuğunu ve kayma uzunluğunun da 1 μ m olduğunu tespit etmişlerdir. Ríos-Rodríguez vd. [8] de hidrofobik malzeme ile kapladıkları cam boruda 70-250 Reynolds sayısı aralığındaki laminer akımda PIV ölçümleri ile kaplanmamış cam

boruya kıyasla %20 oranında sürtünmede azalma tespit etmişlerdir. Ou vd. [9] de mikrokanallarda akım yönünde mikro çıkıntılar oluşturarak elde ettikleri süperhidrofobik yüzeyde deneysel olarak maksimum kayma hızının ortalama akım hızının %60'ı kadar olduğunu belirlemişlerdir, ayrıca süperhidrofobik yüzey üzerindeki kaymanın sürtünme faktörünü azaltan en önemli faktör olduğunu vurgulamışlardır. Ybert vd. [10] ise yaklaşık 50-100 nm çapında, 5 µm aralıklı sütunlardan oluşan bir yüzeyde 179°'den daha büyük bir temas açısı elde etmişlerdir. Yapılan deneyler sonucunda böyle bir süperhidrofobik yüzeyde kayma uzunluğunu 100 µm olarak ölçmüşlerdir.

Henoch vd. [11] ürettikleri süperhidrofobik yüzeyleri su tüneline teste tabi tutarak laminer akımdaki sürtünmenin yaklaşık %50 kadar azaldığını, ancak akım türbülanslı akıma yaklaşıırken bu oranın düştüğünü belirlemişlerdir. Daniello vd. [12] de yaptıkları deneysel çalışmada aldıkları PIV sonuçlarına göre pürüzsüz konvansiyonel yüzeye kıyasla süperhidrofobik yüzeyli mikro kanalda türbülanslı akım için birim uzunluk başına basınç kaybının %50'den daha fazla azaldığını tespit etmişlerdir. Truesdell vd [13] ise düzenli oluklu bir yapı oluşturarak süperhidrofobik bir yüzey elde etmiş ve düşük Reynolds sayılarında yüzeydeki kayma durumunu incelemişlerdir. Bu yapının etkili sıvı-yüzey temas alanını azalttığını ve dolayısıyla yüzeyde kayma meydana geldiğini ve sürtünme faktörünü azalttığını ortaya koymuşlardır.

Martell vd. [14], mikro-geometri yapıları ile oluşturdukları süperhidrofobik yüzeylerin, türbülanslı akımlarda laminer alt tabakayı deforme ettiği ve buna bağlı olarak sürtünme faktörünü azalttığını ortaya koymuşlardır. Mikro-geometriye bağlı olarak simüle edilen en büyük farkın, kayma hızının süperhidrofobik olmayan yüzeydeki ortalama akım hızının %80'inin üzerinde olduğu ve duvar kayma gerilmesinin süperhidrofobik olmayan yüzeye göre %50'den fazla azaldığını belirlemişlerdir. Ayrıca, Martell vd. [15] daha önce yaptıkları bir çalışmada, süperhidrofobik duvarın yakınındaki ortalama hız profilinin, duvar kayma gerilmesi ile ölçeklenmeye devam ettiğini, ancak bunların temel olarak mikro-geometride oluşan hava boşluklarına bağlı bir kayma hızı ile dengelendiğini göstermişlerdir.

Jeffs vd. [16] akış yönüne paralel olarak tasarlanmış desenli süperhidrofobik yüzeyli kanallarda Reynolds sayısının 4×10^3 ile 4×10^4 arasında değiştiği akımlarda yaptıkları teorik çalışma ile Woolford vd. [17] tarafından deneysel olarak aynı Reynolds sayısı arasında yaptıkları çalışmada sürtünme kuvveti ve sürtünme faktöründe sırasıyla %11 ve %14.5 oranında azalma belirlemişlerdir. Tian vd. [18] PIV ölçüm tekniği ile süperhidrofobik yüzeyde hidrofobik yüzeye oranla %10, Volkov vd. [19] ise aynı özellikteki hidrofobik yüzeylerin hidrolik sürtünmeyi %15.5-23 oranında düşürdüğünü kaydetmişlerdir.

Chinappi, M. ve Casciola [20] pürüzsüz malzeme yüzeylerini hidrofobik olarak kaplamış ve moleküler dinamik simülasyon (MD) tekniği ile 20 nm ölçülen kayma uzunluğunu Cottin-Bizonne vd. [21] tarafından deneysel olarak 0.2-0.5 nm olarak belirlemişlerdir. Bu iki sonuç arasındaki farkın sıvı – katı yüzeyi arasında oluşan hava katmanından kaynakladığına dikkat çekmişlerdir. Nouri vd. [22] ise yaptıkları teorik çalışmada hidrofobik yüzeylerdeki sürtünme düşüşünü Large Eddy Simulation (LES) türbülans modeli kullanarak çözümlenmişlerdir. Buldukları %30 sürtünme düşüşünü doğrudan sayısal simülasyon (DNS) modeli ile de doğrulamışlardır. Bu sürtünmedeki düşüşün sebebini duvar yakınındaki türbülanslı yapının yüzeydeki kayma hızı ile değişmesi olarak açıklamışlar ve bu etkinin de kayma uzunluğunun belirli bir değeri aştığında oluştuğunu belirlemişlerdir. Jelly vd. [23] de süperhidrofobik bir kanal yüzeyindeki türbülanslı akımı DNS yöntemi ile incelemiş ve yüzey kaplamasının türbülans ve sürtünme faktörü üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Kayma oluşmayan yüzeye göre sürtünme faktöründe %21.6 oranında azalma tespit etmişlerdir.

Fiolava vd. [24] hidrofobik malzeme ile kaplı paralel plakalar arasındaki laminer akım için duvardaki kayma koşulunu ve buna bağlı olarak oluşan hız profilini incelemişlerdir. Başka bir çalışmada [25] hidrofobik ve süperhidrofobik yüzeylerdeki hız profilini PIV tekniği ile incelemişlerdir. Süperhidrofobik yüzeylerde kayma hızının oluştuğunu ve bu kayma hızının Reynolds sayısı arttıkça azaldığını tespit etmişlerdir. Bir diğer çalışmalarında [26] türbülanslı akım için k-ε modeli ile hidrofobik yüzeylerin çözümünü yapmışlardır. Türbülanslı akım için yüzeyde kayma olması durumunda yüzeyde hızın çalkantı bileşeni, u' , oluşacağı ve dolayısıyla burada türbülans kayma

gerilmelerinden söz edilmesi gerektiğine ve bu durumda yüzeyde türbülans viskozitesi, μ_t , de oluşacağına dikkat çekmişlerdir.

Aljallis vd. [27], hidrofobik nano partiküllerin püskürtülmesi ile oluşturulan süperhidrofobik kaplamanın yüksek hızlı çekme tankı sisteminde deneye tabii tutarak sürtünme etkilerini incelemişlerdir. Sonuç olarak, daha yüksek temas açısına sahip, yani sıvı-katı ara yüzeyinde hava katmanı oluşan, süperhidrofobik yüzeylerin hem laminer hem de türbülanslı sınır tabakası akımlarında sürtünmenin azalmasında daha etkili olduğunu göstermişlerdir. Ayrıca, etkili sürtünme azalması için yüzeydeki hava tabakasının sabit kalınlıkta olmasının kritik öneme sahip olduğuna dikkat çekmişlerdir. Türbülanslı sınır tabakası akımındaki yüksek duvar kayma hızı ile yüzeydeki hava tabakası veya kabarcıklar azalıp tamamen kaybolabilmektedir. Bu durumda, yüzey su ile ıslanır ve süperhidrofobik yüzey desen pürüzlülüğünün sürtünmeyi daha da arttıracak ileri sürmüştür.

Moaven vd. [28], alüminyum disk yüzeyine süperhidrofobik özellik kazandırarak kaplamasız yüzeye kıyasla hidrolik sürtünme direncinin %15-30 kadar azaldığını belirlemişlerdir. Ayrıca, hidrofobik yüzeylerin sürtünme direncini büyük ölçüde azalttığını belirleyerek pompalama gücünü azaltmak için büyük bir potansiyel arz ettiğine dikkat çekmişlerdir. Özbek vd. [29] de deneysel olarak tipik santrifüj tip bir pompa çarkının ıslak yüzeylerini politetra floraitilen, floroiditilen propilen ve perfloro alkoksi olmak üzere 3 farklı karbon bazlı polimer malzeme ile kaplayarak sırasıyla 95°, 105° ve 110° temas açılarında elde ettikleri hidrofobik yüzeylerin hidrolik sürtünmeden kaynaklanan basınç kayıplarını düşürerek kaplamasız konvansiyonel çarka kıyasla pompa verimini sırasıyla yaklaşık %4, %5 ve %5.3 oranında artırdığını belirlemişlerdir.

Bir kargo gemisinin direnci üzerinde sürtünmenin katkısı %60-70, bir tankerde ise %80 oranındadır [30]. Tek başına nakliyenin küresel petrol arzı içindeki payı %8.5 [31] ve CO₂ emisyonları payı %3.3 oranındadır [32]. Hidrofobik yüzey oluşturularak sürtünme etkilerinin azaltılması, enerji tasarrufu sağlanması ve sera gazı azalımı için küresel ölçekte dikkate değer ölçüde bir potansiyele sahip olduğu görülmektedir. Park vd. [33] gemi gövdeleri için yaptıkları çalışmada 2.7 x 2.7 mm² süperhidrofobik ve pürüzsüz bir numune ile yapılan deney sonucunda ızgara parametrelerinin %75'e kadar türbülanslı akımda sürtünmeyi azaltmada etkili olduğunu ortaya koymuşlardır.

Bidkar vd. [34] türbülanslı akım rejimlerinde 10⁶ ile 9x10⁶ Reynolds sayıları aralığında deneysel olarak hidrofobik yüzeylerin yaklaşık olarak sürtünmeyi %20-30 oranında azalttığını belirlemişlerdir. Ayrıca, Reynolds sayısı arttıkça hidrofobik yüzeylerin havayı tutma kabiliyetinin azaldığı ve bu sebepten dolayı sürtünmedeki azalma oranının düştüğüne dikkat çekmişlerdir.

Bu çalışmada, pürüzsüz bakır borunun iç yüzeyleri 3 farklı karbon bazlı polimer malzeme ile kaplanarak elde edilen hidrofobik yüzeylerin türbülanslı boru akımında hidrolik sürtünme kaynaklı basınç kayıplarının azaltılması üzerine etkileri sürtünme faktörü belirlenerek ortaya konulmuştur.

II. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada, floropolimer esaslı floroiditilenpropilen (FEP) malzemesi satın alma yoluyla tedarik edilerek ağırlıkça %1 oranında ayrı ayrı grafit ve grafit ilave edilerek mekanik olarak karıştırmak suretiyle, sırasıyla FEP-G ve FEP-C solüsyonları elde edilmiştir. Kütle ölçümleri için 0.1 mg hassasiyetli hassas terazi kullanılmıştır. Elde edilen FEP, FEP-G ve FEP-C kaplama malzemeleri ile bakır boru iç yüzeyi kaplanarak hidrofobik yüzeyler oluşturulmuştur.

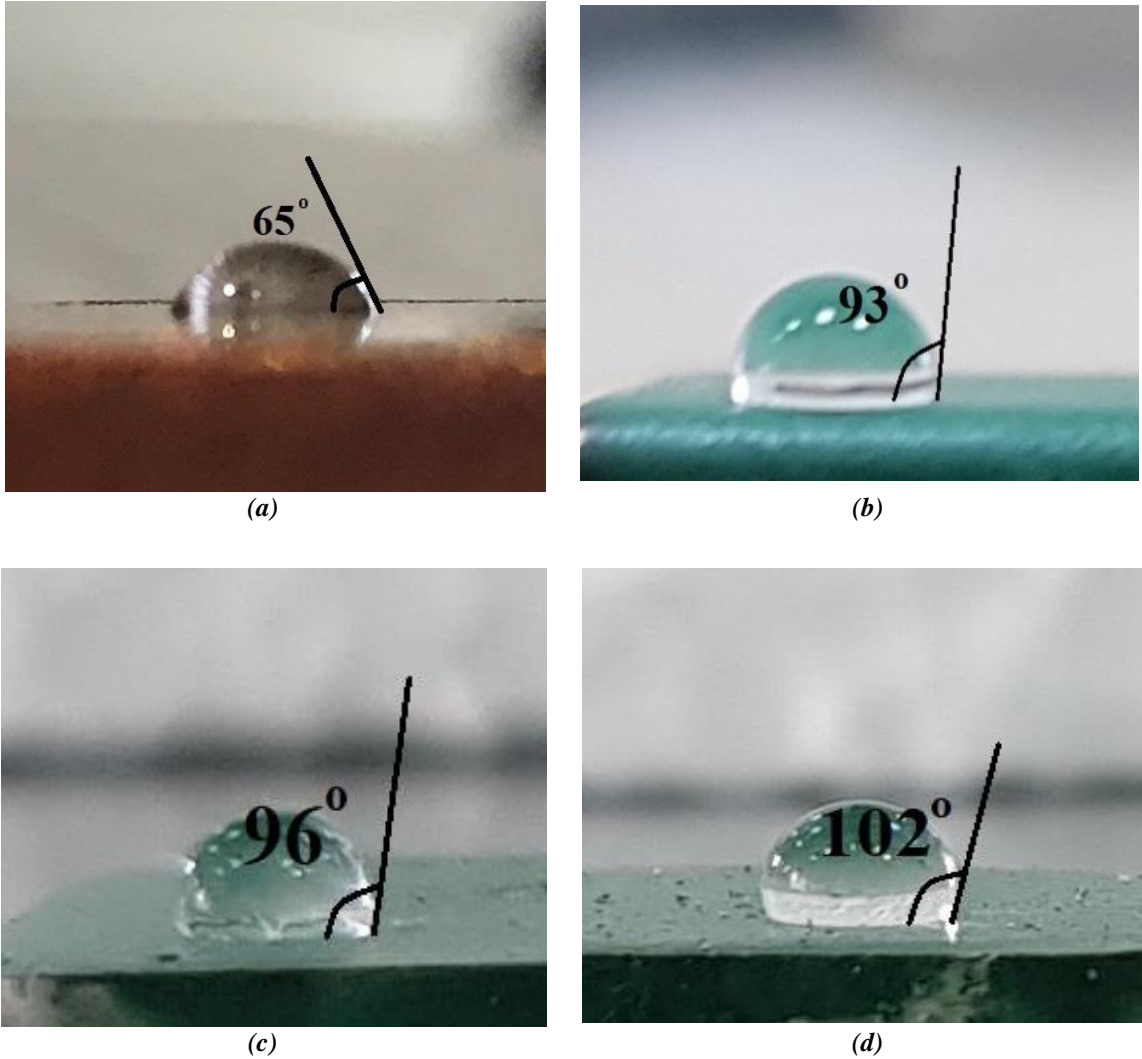
FEP, flor atomlarıyla doymuş uzun ve düz karbon zincirlerinden meydana gelmektedir. Atomları arasındaki kuvvetli bağlar sebebiyle FEP yüksek hidrofobik ve aşınma dayanımı özelliklerine sahiptir. FEP ile kaplanmış bakır plakanın kaplanmamış bakır plakaya kıyasla özgül aşınma miktarı %72 oranında daha düşüktür, dolayısıyla aşınma direncini oldukça yükseltmektedir [35]. Düşük mekanik sürtünme katsayısı ve yüksek kimyasal dirence sahip malzeme olan bu floropolimerin yapışma özelliği

de oldukça yüksektir. Diğer polimerlere göre daha yüksek sıcaklık dayanımları ve geniş bir çalışma sıcaklığı aralığına sahip olmaları sebebiyle birçok sektörde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Grafit, bilinen en iyi ısı iletkenlik, bakırdan 20 kat daha fazla elektrik iletkenliği ve 3500 °C'ye kadar yanmama, yani yüksek ısıya dayanıklılık gibi özelliklere sahiptir [36]. Grafen ise karbon nanotüp, fuleren ve grafitten oluşan bir tabakadır, ancak özellikleri itibarıyla bu yapılardan çok farklıdır. Grafen, birçok özelliğinin yanı sıra kolayca esneyebilmekte ve değişik formlardaki birçok malzemenin yüzeyine kolayca kaplanabilmektedir [37]. FEP malzemesine belirtilen oranlarda ilave edilen grafit ve grafen, uygulandığı yüzeydeki pürüzlülüğü arttırarak hidrofobikliğin artmasına katkı sağlamaktadır.

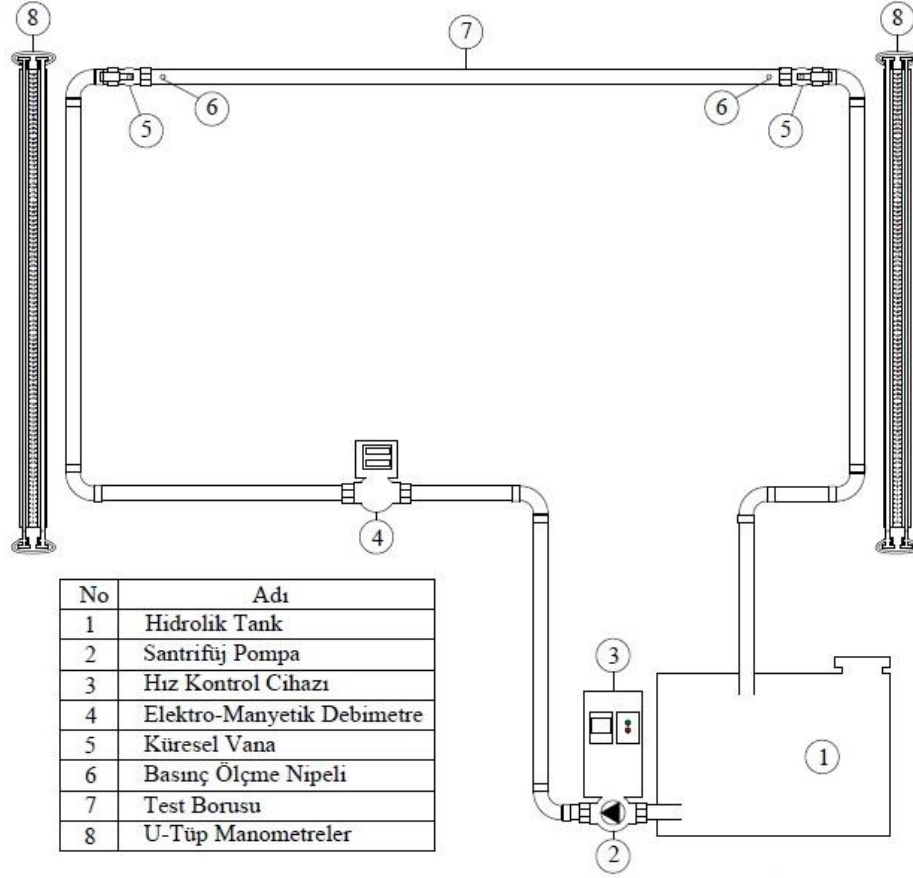
FEP, FEP-G ve FEP-C solüsyonları ile aynı tipteki iç çapı 15.8 mm ve 1 m uzunluğundaki 3 adet bakır borunun iç yüzeyi spray yöntemi ile kaplanmıştır. Kaplamanın bağlayıcılığını arttırmak için oda sıcaklığından 400 °C'ye kadar doğrusal olarak artırılarak ve 10 dakika süresince de bu sıcaklıkta bekletilerek ısı işleme tabi tutulmuştur.

Bakır boru iç yüzeyleri FEP, FEP-C ve FEP-G malzemeleri ile kaplanırken aynı yöntem ile bakır plaka numuneleri de kaplanmış ve bu plakalar üzerinden temas açıları ölçülmüştür. Ölçülen temas açıları Şekil 4'te verilmiştir. İşlenmemiş konvansiyonel bakır ve FEP, FEP-C, FEP-G ile kaplanan yüzeylerin temas açıları sırasıyla 65°, 93°, 96° ve 102° olarak belirlenmiştir.



Şekil 4. İşlenmiş ve işlenmemiş plakaların temas açıları (a) Pürüzsüz bakır plaka temas açısı (b) FEP kaplı bakır plaka temas açısı (c) FEP-C kaplı bakır plaka temas açısı (d) FEP-G kaplı bakır plaka temas açısı

Deney düzeneğinin şematik görünümü Şekil 5'te verilmiştir. Deney düzeneği genel olarak santrifüj pompa, elektro-manyetik debimetre, boru, U-tüp manometre, hidrolik tank ile vana ve dirsek gibi tesisat elemanlarından oluşan kapalı devre bir sistemdir.



Şekil 5. Deney düzeneğinin şematik görünümü

A. DATA ANALİZİ

Deneylerde belli bir Reynolds sayısında akım sağlamak için gerekli ortalama akım hızı;

$$Q = V \cdot A \quad (17)$$

eşitliği kullanılarak hesaplanmıştır. Santrifüj pompanın devri, hız kontrol cihazıyla ayarlanarak belirli bir debide, dolayısıyla hızda akım oluşturulmuştur. Kararlı akım sağlandıktan sonra U-tüp manometre vasıtasıyla deney borusunun giriş ve çıkış kesitleri arasındaki statik basınç farkı ölçülmüştür. Eşt. 1 kullanılarak Darcy sürtünme faktörü belirlenmiştir. Deneyler esnasında K-tipi termal çift ile 15 °C olarak ölçülen çalışma akışkanı suyun bu sıcaklıktaki yoğunluk ve viskozite değerleri esas alınmıştır.

Eşt. 3'teki Blasius denklemine göre ve deneylerde ölçülen basınç kaybı kullanılarak Eşt. 1'e göre Darcy sürtünme faktörleri belirlenmiştir.

Sürtünme faktörünün hidrofobik yüzeylerde aldığı değerlerin teorik olarak belirlenebilmesi için, m_t türbülanslı akım kayma katsayısını Eşt. 3'de verilen Blasius denklemine entegre edersek hidrofobik sürtünme faktörü, f_h ;

$$f_h = \frac{0,316}{Re^{1/4}(1+m_t)} \quad (18)$$

şeklinde düzenlenebilir. Bu denklem hidrofobik yüzeyde kayma oluşması durumunda pürüzsüz yüzeyler için sürtünme faktörünü belirlemek amacıyla oluşturulmuştur. Hidrofobik lamina akım için Eş. 16'da verilen sürtünme faktörü denkleminde benzeştirilerek pürüzsüz hidrofobik türbülanslı akım için Eş. 18 türetilmiştir. Eş. 18'deki m_t eklentisi hidrofobik türbülanslı akım düzeltme katsayısı olarak anılabilir. Hidrofobik yüzeylerde kayma olması durumu ile alakalı bir katsayıdır, konvansiyonel yüzeylerde kayma olmaması durumunda yani yüzey hidrofobik değil iken $m_t = 0$ olacak ve Eş. 3'deki Blasius denklemindeki halini alacaktır. Eş. 18 ile Eş. 3 kıyas edilerek düzenlenirse, hidrofobik türbülanslı akım düzeltme katsayısı aşağıdaki gibi olur,

$$m_t = \frac{f}{f_h} - 1 \quad (19)$$

ve bu bağıntı kullanılarak türbülanslı akım düzeltme katsayıları belirlenmiştir.

Ölçülen parametreler ve doğrulukları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Ölçülen parametreler ve doğruluk değerleri

Ölçülen Parametreler	Doğruluk
Kütle, g	±%0.1
Temas açısı, °C	±%1
Basınç, mmSS	±0.5
Debi, m ³ /s	±%0.2
Sıcaklık, °C	±1

Ölçülen büyüklüklerin belirsizlikleri Eş. 20 [38] kullanılarak belirlenip Tablo 2'de verilmiştir.

$$w_r = \left[\left(\frac{\partial R}{\partial x_1} w_{x_1} \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_2} w_{x_2} \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial R}{\partial x_n} w_{x_n} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (20)$$

Burada,

- R : Hesaplanan büyüklük,
- x : Hesaplanan büyüklüğe etki eden bağımsız değişkenler,
- w_x : Bağımsız değişkenlere ait belirsizlik,
- w_r : Hesaplanan büyüklüğün belirsizliği.

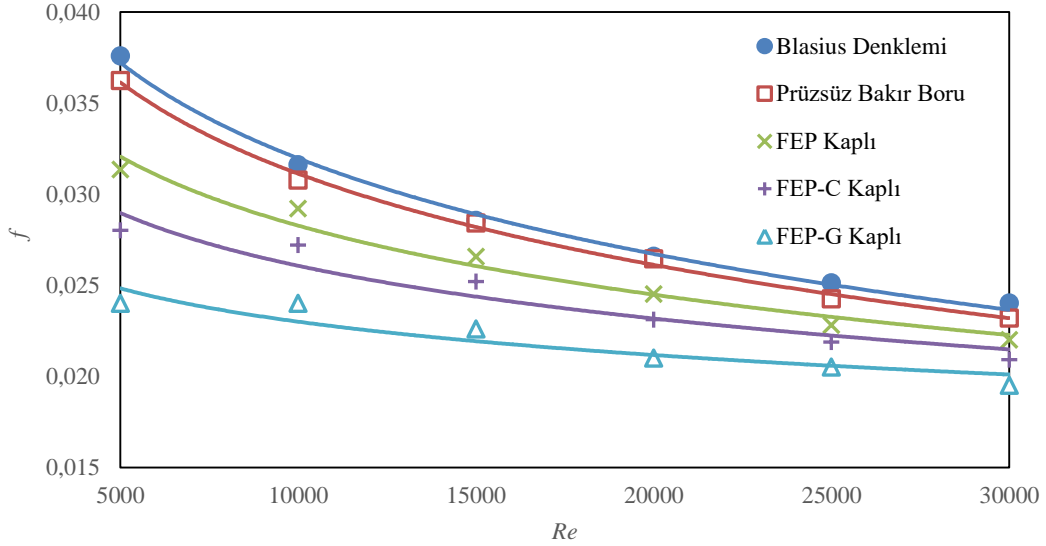
Tablo 2. Hesaplanan parametreler ve belirsizlikleri

Hesaplanan Parametreler	Doğruluk
Sürtünme Faktörü	±%0.19
Sürtünme faktörü düzeltme katsayısı	±%0.28
Reynolds sayısı	±%0.25

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

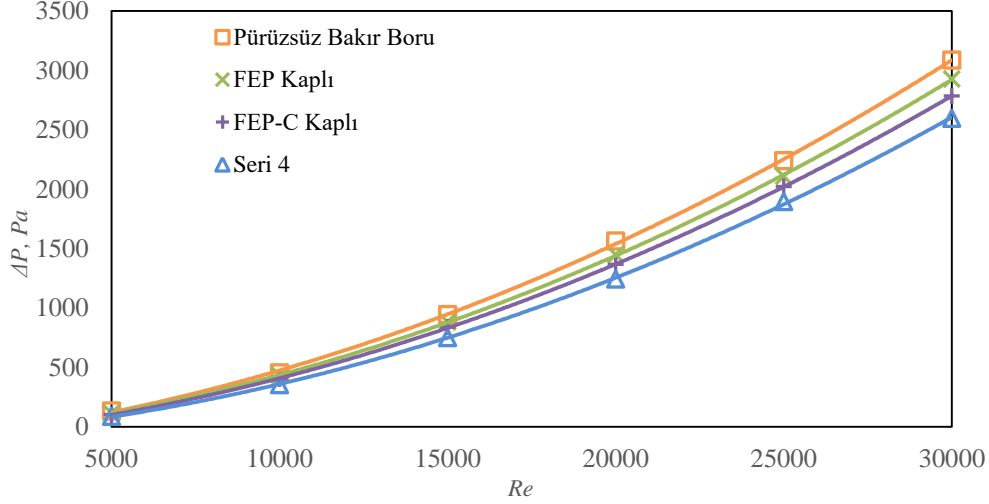
Şekil 6'da deneysel olarak konvansiyonel kaplanmamış bakır boru ile FEP, FEP-C ve FEP-G kaplı bakır borular için ve ayrıca Eş. 3'deki Blasius formülü kullanılarak belirlenen sürtünme faktörünün Reynolds sayına göre değişimi verilmiştir. Kaplamasız pürüzsüz borunun sürtünme faktörlerinin test edilen Reynolds sayısı aralığında Blasius denklemi ile yaklaşık %1 oranında uyum içinde olduğu ve hidrofobik yüzeyin sürtünme faktörünü dikkate değer ölçüde azalttığı açıkça görülmektedir. Sürtünme

faktöründeki en fazla düşüşün 5000 Reynolds sayısı değerinde, yani laminar akıma yakın akım rejiminde meydana geldiği ve sürtünme faktöründeki düşüşün Reynolds sayısı arttıkça azaldığı görülmektedir. Aynı zamanda FEP-G ile kaplı hidrofobik yüzeyin sürtünme faktörünü en fazla düşürdüğü, ikinci sırada FEP-C ile kaplı hidrofobik yüzeyin olduğu ve bu üç hidrofobik yüzey arasında en az seviyede sürtünme faktöründeki düşüşün FEP malzeme ile kaplı hidrofobik yüzeyde meydana geldiği görülmektedir. Dolayısıyla, grafit ve grafen katkılı kompozit malzeme ile elde edilen hidrofobik yüzeylerin sürtünme faktörünü temel malzeme ile kaplı hidrofobik yüzeye kıyasla daha fazla oranda düşürdüğü sonucuna varılmıştır.



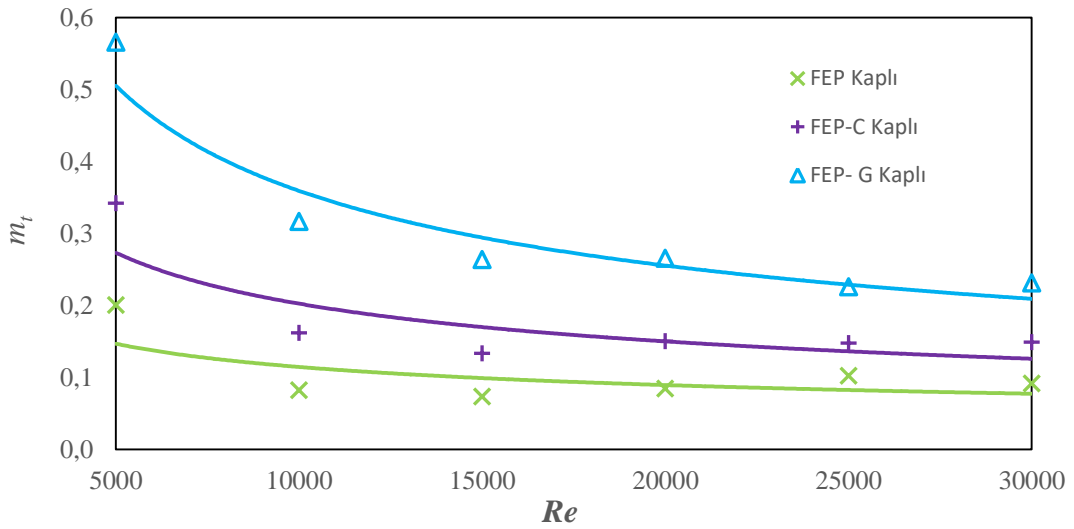
Şekil 6. Sürtünme faktörünün Reynolds sayısına göre değişimi

Şekil 7’de kaplamasız konvansiyonel bakır boru, FEP, FEP-C, FEP-G ile kaplı hidrofobik bakır borularda meydana gelen basınç kaybının Reynolds sayısına göre değişimi verilmiştir. Basınç kaybının Reynolds sayısı arttıkça parabolik olarak arttığı, fakat düşük Reynolds sayısında (yaklaşık 5000, laminar akım rejimine yakın) hidrofobik yüzeylerin basınç kaybını konvansiyonel yüzeye kıyasla neredeyse değiştirmedeği, türbülanslı akım geliştikçe, yani Reynolds sayısı arttıkça basınç kaybındaki düşüşün dikkate değer ölçüde olduğu görülmektedir. Haliyle, basınç kaybındaki düşüşün sıralaması sürtünme faktöründeki ile paralellik göstermektedir. FEP-G, FEP-C ve FEP malzemesi ile kaplı hidrofobik yüzey temas açıları sırasıyla 102°, 96° ve 93°’dir ve sürtünme faktörü ile basınç kaybındaki düşüşler de benzer şekilde gelişmektedir. Yani, basınç kaybı ve sürtünme faktöründeki düşüşlerin temas açısı, yani hidrofobiklikle orantılı olarak geliştiği görülmektedir.



Şekil 7. Basınç kaybının Reynolds sayısına göre değişimi

Şekil 8’de FEP, FEP-C ve FEP-G ile kaplı hidrofobik bakır boruların Eş. 19’a göre hesaplanan hidrofobik türbülanslı akım düzeltme katsayılarının Reynolds sayısına göre değişimi verilmiştir. m_t düzeltme katsayısı Reynolds sayısı arttıkça parabolik olarak azalmaktadır. Ancak bu paraboliklik Reynolds sayısı arttıkça azalmaktadır. Dolayısıyla, Reynolds sayısı arttıkça yüzeyde kayma azalmaktadır. Bu durumun yüzeyde katı-sıvı arasındaki nano veya mikro ölçekteki pürüzlerde hapsolan hava katmanının [21, 29], ve Reynolds sayısı arttıkça laminer alt tabakanın deforme olması ve buna bağlı gelişen Reynolds gerilmelerinin etkisiyle [14, 34], meydana geldiği söylenebilir. Şekil 8’e göre 5000 – 30000 Reynolds sayısı aralığında FEP-G ile kaplı hidrofobik bakır boru en yüksek türbülanslı akım sürtünme faktörü düzeltme katsayısına sahiptir. Bu durum da sürtünme faktöründeki düşüşe paralellik göstermektedir. Yani, en yüksek temas açısına sahip FEP-G ile kaplı hidrofobik yüzey sürtünme faktörünü en yüksek oranda düşürmektedir. Dolayısıyla, sürtünme faktörünü etkileyen en önemli faktörün kayma katsayısı veya diğer adıyla hidrofobik akım düzeltme katsayısı olduğu görülmektedir. Grafik genel olarak incelendiğinde 10000 Reynolds sayısı değerinden sonra hidrofobik türbülanslı akım düzeltme katsayısı m_t ’nin Reynolds sayısı arttıkça hemen hemen değişmediği, FEP için 0.09, FEP-C için 0.15, FEP-G için ise yaklaşık 0.26 değerinde olduğu görülebilmektedir.



Şekil 8. Pürüzsüz hidrofobik türbülanslı akım sürtünme faktörü düzeltme katsayısının Reynolds sayısına göre değişimi

IV. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada pürüzsüz bakır boru iç yüzeyleri floro polimer esaslı FEP, FEP-C, FEP-G malzemeler ile kaplanarak elde edilen hidrofobik yüzeylerin 5000 - 30000 Reynolds sayısı aralığındaki türbülanslı akımda sürtünme faktörü ve basınç kaybı üzerine etkileri deneysel olarak incelenmiştir.

Elde edilen yüzeylerin hidrofobikliği temas açısı ölçülerek belirlenmiştir. Konvansiyonel bakır yüzeyin temas açısı 65° iken sırasıyla FEP, FEP-C, FEP-G kaplı yüzeylerin temas açıları 93° , 96° ve 102° olarak ölçülmüştür. Grafit ve grafen katkılı kompozit malzemeler ile daha yüksek hidrofobiklik elde edilmiştir. Temas açısı en düşük olan FEP kaplı hidrofobik boruda, konvansiyonel bakır boruya kıyasla sürtünme faktöründeki azalma en azdır, en yüksek azalma ise temas açısı, yani hidrofobikliği en yüksek kompozit bir malzeme olan FEP-G ile kaplı hidrofobik boruda meydana gelmiştir ve 5000 - 30000 Reynolds sayısı aralığında sürtünme faktöründe %18.4-36.1 aralığında azalma meydana geldiği belirlenmiştir. Sonuç olarak, hidrofobiklik arttıkça sürtünme faktöründeki azalma artmaktadır. Aynı zamanda, türbülanslı pürüzsüz hidrofobik boru akımları için sürtünme faktöründeki ve buna bağlı sürtünme kaynaklı basınç kaybındaki düşüşün Reynolds sayısı arttıkça arttığı belirlenmiştir.

Bu çalışmada ayrıca boru akımlarında teorik hesaplamalar için kayma sınır şartı ve buna bağlı olarak sürtünme faktörünün belirlenmesine yönelik öneride bulunulmuştur. Hidrofobik laminer akım için teorik olarak elde edilen sürtünme faktörü denkleminde yer alan m_1 kayma katsayısından esinlenerek, pürüzsüz türbülanslı akım Blasius sürtünme faktörü denklemi hidrofobik yüzeyler için uyarlanmıştır. Aynı zamanda, sürtünme faktörünü etkileyen en önemli faktörün kayma katsayısı veya diğer adıyla hidrofobik akım düzeltme katsayısı olduğu ortaya konmuştur.

İleriye yönelik daha farklı malzemeler ile ve daha yüksek hidrofobiklikte elde edilecek hidrofobik yüzeylerin ve ayrıca pürüzlülüğün de daha geniş Reynolds sayısı aralığında sürtünme faktörü üzerine etkilerinin hem teorik hem de deneysel olarak incelenmesine ihtiyaç vardır.

V. KAYNAKLAR

- [1] Z. Yumurtacı and A. Sarıgül, "Santrifüj Pompalarda Enerji Verimliliği ve Uygulamaları," *Makina Mühendisleri Odası Tesisat Mühendisliği Derg.*, pp. 49–58, 2011.
- [2] P. Zhang and F. Y. Lv, "A review of the recent advances in superhydrophobic surfaces and the emerging energy-related applications," *Energy*, vol. 82, pp. 1068–1087, 2015.
- [3] L. Oberli, D. Caruso, C. Hall, M. Fabretto, P. J. Murphy, and D. Evans, "Condensation and freezing of droplets on superhydrophobic surfaces," *Adv. Colloid Interface Sci.*, vol. 210, pp. 47–57, 2014.
- [4] F. E. Kartal, "Nanokompozit süperhidrofobik yüzey sentezi ve karakterizasyonu." Yüksek lisans tezi, Kimya Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2009.
- [5] H. Blasius, "The law of similarity applied to friction phenomena," *Phys. Z.*, vol. 12, pp. 1175–1178, 1911.
- [6] C. Wang, F. Tang, Q. Li, Y. Zhang, and X. Wang, "Spray-coated superhydrophobic surfaces with wear-resistance, drag-reduction and anti-corrosion properties," *Colloids Surfaces A Physicochem. Eng. Asp.*, vol. 514, pp. 236–242, 2017.

- [7] D. C. Tretheway and C. D. Meinhart, "Apparent fluid slip at hydrophobic microchannel walls," *Phys. fluids*, vol. 14, no. 3, pp. L9–L12, 2002.
- [8] A. Ríos-Rodríguez, C. A. Palacios-Morales, E. Bernal, G. Ascanio, and J. P. Aguayo-Vallejo, "Effect of hydrophobic coating on Hagen-Poiseuille flows," *J. Appl. Fluid Mech.*, vol. 9, no. 3, pp. 1035–1040, 2016.
- [9] J. Ou and J. P. Rothstein, "Direct velocity measurements of the flow past drag-reducing ultrahydrophobic surfaces," *Phys. fluids*, vol. 17, no. 10, pp. 103606, 2005.
- [10] C. Ybert, C. Barentin, C. Cottin-Bizonne, P. Joseph, and L. Bocquet, "Achieving large slip with superhydrophobic surfaces: Scaling laws for generic geometries," *Phys. fluids*, vol. 19, no. 12, pp. 123601, 2007.
- [11] C. Henoeh, T. Krupenkin, P. Kolodner, J. Taylor, M. Hodes, A. Lyons ve K. Breuer, "Turbulent drag reduction using superhydrophobic surfaces," in *3rd AIAA Flow Control Conference*, 2006, pp. 3192.
- [12] R. J. Daniello, N. E. Waterhouse, and J. P. Rothstein, "Drag reduction in turbulent flows over superhydrophobic surfaces," *Phys. Fluids*, vol. 21, no. 8, pp. 85103, 2009.
- [13] R. Truesdell, A. Mammoli, P. Vorobieff, F. van Swol, and C. J. Brinker, "Drag reduction on a patterned superhydrophobic surface," *Phys. Rev. Lett.*, vol. 97, no. 4, pp. 44504, 2006.
- [14] M. B. Martell, J. P. Rothstein, and J. B. Perot, "An analysis of superhydrophobic turbulent drag reduction mechanisms using direct numerical simulation," *Phys. Fluids*, vol. 22, no. 6, pp. 65102, 2010.
- [15] M. B. Martell, J. B. Perot, and J. P. Rothstein, "Direct numerical simulations of turbulent flows over superhydrophobic surfaces," *J. Fluid Mech.*, vol. 620, pp. 31–41, 2009.
- [16] K. Jeffs, D. Maynes, and B. W. Webb, "Prediction of turbulent channel flow with superhydrophobic walls consisting of micro-ribs and cavities oriented parallel to the flow direction," *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 53, no. 4, pp. 786–796, 2010.
- [17] B. Woolford, J. Prince, D. Maynes, and B. W. Webb, "Particle image velocimetry characterization of turbulent channel flow with rib patterned superhydrophobic walls," *Phys. Fluids*, vol. 21, no. 8, pp. 85106, 2009.
- [18] H. Tian, J. Zhang, E. Wang, Z. Yao, and N. Jiang, "Experimental investigation on drag reduction in turbulent boundary layer over superhydrophobic surface by TRPIV," *Theor. Appl. Mech. Lett.*, vol. 5, no. 1, pp. 45–49, 2015.
- [19] A. V Volkov et al., "Analysis of the effect of hydrophobic properties of surfaces in the flow part of centrifugal pumps on their operational performance," *Therm. Eng.*, vol. 62, no. 11, pp. 817–824, 2015.
- [20] M. Chinappi and C. M. Casciola, "Intrinsic slip on hydrophobic self-assembled monolayer coatings," *Phys. Fluids*, vol. 22, no. 4, pp. 42003, 2010.

- [21] C. Cottin-Bizonne, B. Cross, A. Steinberger, and E. Charlaix, “Boundary slip on smooth hydrophobic surfaces: Intrinsic effects and possible artifacts,” *Phys. Rev. Lett.*, vol. 94, no. 5, pp. 56102, 2005.
- [22] N. M. Nouri, S. Sekhavat, and A. Mofidi, “Drag reduction in a turbulent channel flow with hydrophobic wall,” *J. Hydrodyn. Ser. B*, vol. 24, no. 3, pp. 458–466, 2012.
- [23] T. O. Jelly, S. Y. Jung, and T. A. Zaki, “Turbulence and skin friction modification in channel flow with streamwise-aligned superhydrophobic surface texture,” *Phys. Fluids*, vol. 26, no. 9, pp. 95102, 2014.
- [24] S. Fialová, F. Pochylý, M. Kotek, and D. Jašíková, “Velocity profiles of fluid flow close to a hydrophobic surface,” in *EPJ Web of Conferences*, 2017, pp. 2023.
- [25] F. Simona, P. František, H. Michal, and M. Jiří, “Influence of boundary conditions on fluid flow on hydrophobic surfaces,” in *AIP Conference Proceedings*, 2017, vol. 1889, no. 1, pp. 20008.
- [26] F. Pochylý, S. Fialová, and M. Havlásek, “New boundary conditions for fluid interaction with hydrophobic surface,” in *EPJ Web of Conferences*, 2018, pp. 2084.
- [27] E. Aljallis, M. A. Sarshar, R. Datla, V. Sikka, A. Jones, and C.-H. Choi, “Experimental study of skin friction drag reduction on superhydrophobic flat plates in high Reynolds number boundary layer flow,” *Phys. fluids*, vol. 25, no. 2, pp. 25103, 2013.
- [28] K. Moaven, M. Rad, and M. Taeibi-Rahni, “Experimental investigation of viscous drag reduction of superhydrophobic nano-coating in laminar and turbulent flows,” *Exp. Therm. Fluid Sci.*, vol. 51, pp. 239–243, 2013.
- [29] M. Özbey, M. Gürbüz, and U. Karakurt, “Hidrofofik çark yüzeylerinin santrifüj tip bir pompa performansına etkilerinin deneysel incelenmesi,” *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimar. Fakültesi Derg.*, vol. 36, no. 1, pp. 267–274, 2021.
- [30] K. Fukuda, J. Tokunaga, T. Nobunaga, T. Nakatani, T. Iwasaki, and Y. Kunitake, “Frictional drag reduction with air lubricant over a super-water-repellent surface,” *J. Mar. Sci. Technol.*, vol. 5, no. 3, pp. 123–130, 2000.
- [31] J. P. Winkler, (2008, June 24) “Shipping wasting 4.37 million barrels of oil a day,” Reuters Press Release. [Online]. Available: <http://www.reuters.com/article/2008/06/24/idUS8232>
- [32] X. Qi and D.-P. Song, “Minimizing fuel emissions by optimizing vessel schedules in liner shipping with uncertain port times,” *Transp. Res. Part E Logist. Transp. Rev.*, vol. 48, no. 4, pp. 863–880, 2012.
- [33] H. Park and G. Sun, “Superhydrophobic turbulent drag reduction as a function of surface grating parameters,” *J. Fluid Mech.*, vol. 747, pp. 722–734, 2014.
- [34] R. A. Bidkar, L. Leblanc, A. J. Kulkarni, V. Bahadur, S. L. Ceccio, and M. Perlin, “Skin-friction drag reduction in the turbulent regime using random-textured hydrophobic surfaces,” *Phys. Fluids*, vol. 26, no. 8, pp. 85108, 2014.



- [35] M. Pehlivan, U. Karakurt, M. Özbey, and M. Gürbüz, “Floro Polimer Kaplamanın Bakır Plaka Üzerine Uygulanması ve Aşınma Üzerine Etkisinin İncelenmesi,” in *3rd International Symposium on Innovative Approaches in Scientific Studies*, 2019, pp. 408–410.
- [36] A. D. Cuhadaroğlu and K. Erdal, “Grafit: Bir genel değerlendirme,” *Tek. Bilim. Derg.*, vol. 8, no. 1, pp. 14–33, 2018.
- [37] M. C. Şenel, M. Gürbüz, and K. O. Ç. Erdem, “Grafen takviyeli alüminyum matrisli yeni nesil kompozitler,” *Mühendis ve Makina*, vol. 56, no. 669, pp. 36–47, 2015.
- [38] J. P. Holman, “Experimental Methods for Engineers,” *McGraw-Hill, 5th Edition*, 1989.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

İklim Değişikliği, Düzce'de Çayır tırtılı (*Loxostege sticticalis* L.)'nın Birinci Nesil Kelebeklerinin Salgınına Neden Oldu

 Sevcan ÖZTEMİZ^{a,*},  İbrahim CİNER^a

^a Bitki Koruma Bölümü, Ziraat Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

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

DOI:10.29130/dubited.1140835

ÖZ

Çayır tırtılı, *Loxostege sticticalis* L. (Lepidoptera: Crambidae), istilacı ve göç eden bir zararlıdır. Zararlı genellikle periyodik 10-12 yılda bir meydana gelen kitlesel salgınları ile bilinirler. Düzce'de 2022 yılında haziran ayının ikinci yarısında çok sayıda zararlının birinci nesil ergin kelebekleri beklenmedik bir şekilde ortaya çıktı ve ilk kez kayıt edildi. İklim değişikliği ve zararlının kışlama alanlarındaki habitat koşullarının bozulması nedeni ile göç ettiği ve üreme alanlarındaki dağılımını da etkileyebileceği düşünülmektedir. Birinci nesil kelebek salgın mekanizmasının belirlenmesi için zararlı ile ilgili ulusal ortak izleme ve bilgi paylaşımı yapılması önem kazanmıştır. Bu amaçla ele alınan çalışmada zararlı ile ilgili genel bilgilere yer verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çayır tırtılı, Düzce, Göç, İklim değişikliği, İstilacı, *Loxostege sticticalis*.

Climate change caused an epidemic of first generation butterflies of the Meadow moth (*Loxostege sticticalis* L.) in Duzce

ABSTRACT

The meadow moth, *Loxostege sticticalis* L. (Lepidoptera: Crambidae), is an invasive and migratory pest. The pest is known for its mass outbreaks that usually occur periodically every 10-12 years. The first generation of adult butterflies unexpectedly appeared and were recorded for the first time in the second half of June 2022 in Düzce. It is thought that the pest migrates due to climate change and deterioration of the habitat conditions in the wintering areas and may also affect its distribution in the breeding areas. In order to determine the mechanism of the first generation butterfly epidemic, national joint monitoring and information sharing about the pest has gained importance. For this purpose, this study is discussed and general information about the pest is given.

Keywords: Meadow moth, Duzce, Migration, Climate change, Invasive, *Loxostege sticticalis*.

I. GİRİŞ

Çayır tırtılı, *Loxostege sticticalis* L. (Lepidoptera: Crambidae), Kuzey Amerika, Avrupa ve Asya'da yayılış göstermiştir. Özellikle Çin, Amerika ve Asya'nın Kuzeyinde ve Doğu Avrupa'da periyodik ağır salgınlar yaparak tarım ve hayvancılığı ciddi bir şekilde tehdit ettiği rapor edilmiştir. *Loxostege sticticalis*'in Rusya, Kanada, Çin ve İngiltere'de [1-4] göçmen olduğu varsayılmıştır. Rusya'daki zararlı salgınlarının kaynağının komşu ülkelerden gelen göçmenler olabileceği bildirilmiştir [5], ancak şimdiye kadar zararlının popülasyon dinamikleri ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Rusya'daki zararlı sayısındaki en son artış, 2008 yılında, larva yoğunluğunun önemli bazı bölgelerinde ekonomik hasar seviyesini aştığı zaman kaydedilmiştir [6-8]. Çin'de zararlı salgınının, özellikle kuzey ve kuzeydoğu illerinde yılda 110 bin hektarı kapladığı bildirilmiştir [9]. Çin'de 1949'dan beri zararlının 1953-1959, 1978-1984 ve 1996'dan bugüne kadar üç salgın yaptığı kaydedilmiştir [10-12]. Çin'de araştırmacılar zararlı popülasyon dinamikleri ile güneş aktivitesi arasında önemli ancak kesin olmayan bir ilişki olduğunu ortaya çıkardı [12]. Moğolistan'da ise bölgedeki salgın dinamiklerinin Çin'deki ile benzer olduğunu ancak ilişkinin aynı olmadığını göstermektedir [13]. Buna karşılık, 1990 ve 2000'li yıllarda, Çayır tırtılı, Rusya'da nispeten küçük bölgelerde zarar verirken, Çin'de epidemik pandemi boyutuna ulaştı. Böylece, Rusya ve Çin'deki zararlı salgınları zamanla negatif korelasyon göstermiştir. Böcek sayılarının dinamiklerinin biyotik ve abiyotik farklı faktörler tarafından belirlendiği bilinmektedir: abiyotik (hava-iklimsel), biyotik (özel ve türler arası ilişkiler) ve antropojenik (insan faaliyetinin sonuçları), kaynaklar (yiyecek, barınak vb.), doğal düşmanlar (predatör böcekler, parazitler, patojenler vb.) ve çevre bileşenleri (sıcaklıklar, nem, toprak yapısı vb.). İklim değişikliği ve zararlının kışlama alanlarındaki habitat koşullarının bozulması nedeni ile göç ettiği ve üreme alanlarındaki dağılımını da etkileyebileceği düşünülmektedir. Ülkemizde Çayır tırtılı Marmara, Ege ve Karadeniz olmak üzere üç bölgede saptanmıştır. Zararlı polifag olup 200'den fazla bitki türü konukçusudur. Tarla, bahçe ve boş alanlarda, kentsel alanlarda, çayır ve yabancı otlarda yaygındır [14]. Çayır tırtılı yılda 2-3 nesil verir ve daha güney bölgelerde daha fazla nesil verebilir. Üreme için uygun yıllarda, çok sayıda ortaya çıkar ve kalıcı yaşam alanlarının sınırlarının ötesine yerleşerek özellikle büyük zararlara neden olur. Bu sebeple zararlının göç ve yayılışını sınırlandırmak için gerekli tedbirlerin alınması önemlidir. Zararlının salgın mekanizmasının belirlenmesi için zararlı ile bilgi paylaşımı yapılması önem kazanmıştır. Bu amaçla ele alınan bu çalışmada zararlı ile ilgili genel bilgilere yer verilmiştir.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmada kullanılan materyal Düzce ili Konuralp ve Merkez ilçeden 28 Haziran 2022 tarihinde toplanmıştır (Tablo 1). Örnekler atrap ile toplanmıştır. Toplanan örnekler laboratuvara getirilerek teşhise hazır hale getirilmiş ve ilk yazar tarafından teşhis edilmiştir.

Tablo 1. Toplanan Çayır tırtılı (Loxostege sticticalis L.)'na ait bilgiler

Materyal	DÜZCE- Konuralp (40° 54' 50.5440" K ve 31° 8' 49.3404" D) ve Merkez (40° 49' 59" K ile 31° 10' 0" D): 28.06.2022, çok sayıda (>100 adet) dişi (♀) ve erkek birey (♂).
Habitat	Kırsal alan, çayırılık, çim, yonca, çalılık, çiçeksi otlu bitkiler, yabancı otlar, sebze bahçesi, karışık orman
Uçuş zamanı	Mayıs-Eylül.
Coğrafi dağılımı	Avrupa, Asya ve Kuzey Amerika'da yaygındır. Almanya, Amerika, Arnavutluk, Avusturya, Balear Adaları, Belçika, Bosna Hersek, Bulgaristan, Çin, Çekya Danimarka, Estonya, Faroe Adaları, Finlandiya, Fransa, Girit, Hırvatistan, Hollanda, İngiltere, İran, İspanya, İsveç, İsviçre, İtalya, Kanada, Kanal Adaları, Kazakistan, Korsika, Letonya, Litvanya, Lüksemburg, Macaristan, Makedonya, Malta, Moğolistan, Moldova, Norveç, Polonya,

	Portekiz, Romanya, Rusya, Sardunya, Sicilya, Sırbistan, Slovakya, Tacikistan, Türkiye, Türkmenistan, Ukrayna, Yugoslavya, Yunanistan [15].
Türkiye'den bilinen dağılımı	Adana [27]; Amasya [28], [29]; Ankara [30]; Balıkesir [31]; Bursa [28], [29], [32]; Çanakkale-Gelibolu [16]; Edirne-Merkez, Uzunköprü, Havsa (1988, 1989, 2001, 2015) [20]; İstanbul [17],[18],[19]; Kahramanmaraş [33]; Konya-Akşehir [28], [34]; Kırklareli-Vize (1991, 2014) [21]; Tekirdağ- Süleymanpaşa (2000, 2014) [20].

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmada tespit edilen türe ait bilgiler aşağıda verilmiştir.

Cins: *Loxostege* Hübner, 1825

***Loxostege sticticalis* (Linnaeus, 1761)**

Sinonim(ler): *Pyralis sticticalis* Linnaeus, 1761; *Pyralis fuscalis* Hübner, 1796; *Pyralis lupulina* Clerck, 1764; *Botys lupulinalis* Guenée, 1854; *Phalaena Pyralis sticticalis* Linnaeus, 1761; *Phalaena Tortrix miana* O. F. Müller, 1764; *Pyralis tetragonalis* Haworth, 1811; *Pyralis sylvata* Panzer, 1804; *Loxostege sticticalis tenebrosa* Caradja, 1939

Sistematikteki yeri:

Alan adı: Eukaryota

Alem: Metazoa

Şube: Arthropoda

Altşube: Uniramia

Sınıf: Insecta

Takım: Lepidoptera

Familya: Crambidae

Cins: *Loxostege*

Tür: *Loxostege sticticalis* L.

Diğer bilimsel isimleri: *Botys sticticalis* Linnaeus, *Eurycreon sticticalis* Linnaeus, *Margaritia sticticalis* Linnaeus, *Parasitochroa sticticalis* Linnaeus, *Phalaena sticticalis* Linnaeus, *Phlyctaenodes sticticalis* Linnaeus, *Pyrausta sticticalis* Linnaeus

Türün tanımı

Ergin: Açık sarımsı kahverenginde bir kelebek olup, vücut uzunluğu 10-12 mm, kanat açıklığı 22-29 mm'dir. Eşeyssel dimorfizm ile karakterize edilir; erkekler dişilerden daha küçüktür (erkek kanat açıklığı 18-20 mm, dişi kanat açıklığı 20-26 mm); erkeklerin dişilere göre daha ince ve uzun abdomenleri vardır; erkek bireylerin antenleri testere dişli, dişi bireylerin antenleri ipliksi formdadır. Kanatları üzerinde sarımsı-kahverengi, açık ve koyu noktalar desenli, bazen orta alanda iki koyu nokta bulunur. Kanadın genel renginin aksine, dış kenar boyunca dalgalı, ince sarımsı bir bant görülür. Açık ve koyu lekeler arasındaki zıtlık belirli bir değişkenlik gösterir, bazen kanat neredeyse tek tip bir renkte görünebilir, ancak ince sarımsı bant iyi bir ayırt edici karakterdir. Kanatlar kahverengi saçaklarla çevrilidir. Arka kanatlar sarımsı kahverengidir ve kenarlara doğru daha koyu gölgeler vardır, anal bölge dışında kenar boyunca dar bir kahverengi bant görülür. Arka kanatlar da kahverengi

renkte saçaklıdır (Şekil 1). Dinlenme anında abdomen ucu dişilerde kanatlar altında kalmakta, erkekler de ise açıkça görülmektedir. Kelebek uçuşları Mayıs-Eylül aylarında görülür. Ergin kelebekler 4 ile 20 gün yaşar[22,23].



Şekil 1. *Loxostege sticticalis* L. ergini.

Yumurta: Oval ve parlak olan yumurta önce şeffaf ve renksiz olup, daha sonra portakal sarısına, larvanın çıkışına yakın griye döner. Yumurtalar 0.8–1.0 mm boyunda olup, 2–20 tanesi bir arada paket halinde bırakır. Yumurtaların gelişimi 2-15 gün sürer [22].

Larva: Zararlıının 5 larva dönemi vardır. Birinci dönem larva boyu 1.5–2.5 mm, son dönemde ise 18–25 mm'dir. Larvaların rengi yeşilimsiden yeşilimsi griye ve siyaha kadar değişir. Sırt tarafında bir koyu şerit ve yan taraflarda iki koyu şerit uzanır. Larva başı siyah ve hafif desenlidir. Besin ve iklim şartlarına göre larva dönemi 14-22 gün sürmektedir. Larvalar sıcaklığa bağlı olarak 10-30 gün arasında gelişir ve son aşamada 35 mm uzunluğa ulaşır [22].

Pupa: Rengi sarımsı ile koyu kahverenginde olup 8-13 mm uzunluğunda ve 3-4 mm genişliğindedir. Toprakta silindirik ve içi ağ ile örülü bir kokon içinde bulunur. Pupa süresi ortalama 14-18 gün olmakla birlikte 7-38 gün sürer [22].

Biyolojisi ve zarar şekli

Kışı pupa kokonu içinde olgun larva olarak toprağın 5-7 cm derinliğinde geçirir. İlkbahara girerken pupa olur. İlk erginler nisan ortalarında uçmaya başlar. Gece aktif olup, gündüz hareketsizdirler. Polen tozu ve nektar ile beslenen dişiler iki hafta kadar yaşar ve bir dişi 30-600 yumurta bırakır. Yumurtalarını yaprağın alt tarafına, filizlere ve toprağa, ya gruplar halinde (2-3 ve daha fazla, bazen 20 yumurtaya kadar) ya da tek tek bırakır. Yumurtalar özellikle sirken (*Chenopodium* spp.) ve diğer yabancı ot yapraklarının alt yüzüne bırakılır. Yumurtalar 2-15 günde (genellikle 4-6 gün sonra) açılır. Yumurtadan çıkan larva bitkiler üzerinde beslenmeye başlar. Larva 1-2 gömlek değiştirdikten sonra kültür bitkisine geçer, burada oburca beslenerek yaprakların sadece damarlarını bırakır. Bitkilerin yaprak, sürgün, tomurcuk ve çiçek yaprakları ile beslenen larvalar, salgın yıllarında bitkileri tamamen yapraksız bırakabilirler. Popülasyonun yüksek olduğu yerlerde tüm yeşil aksam zarar görür. Larvalar sıcaklığa bağlı olarak 10-30 gün içinde gelişir. Olgunlaşan larva pupa dönemini geçirmek üzere toprağa geçer ve topraktaki kozaların içinde kışı geçirirler. Bir yılda 2–5 döl verir [22, 23].

Ekolojisi

Çayır tırtılı, bakir kullanılmayan ve nadasa bırakılan araziler, çayır ve meralar, ormanlık alanların çevreleri gibi rezerv biyotopları tercih etmekle birlikte [24], yabancı otlar ile ayçiçeği, şeker pancarı başta olmak üzere tarım alanlarında da görülmektedir (Tablo 2) [15], [23], [25]. Kelebekler bir bölgeye bağlı olarak farklı dönemlerde uçarlar ve uçuşları sıklıkla uzar; kışlamış erginler mayıs ve haziranda, birinci neslin erginleri haziran ve temmuz aylarında, ikinci neslin erginleri temmuz ve ağustos aylarında ve üçüncü-dördüncü nesillerin erginleri ağustos ve eylül aylarında uçar. Dişi kelebeklerin yumurta bırakabilmesi için nektara ihtiyacı vardır. Kelebekler beslenme ve yumurtlama için uygun yer arayışlarında onlarca kilometre uçabilmektedir. Böcek gelişimi sıcaklık ve yağışa

bağlıdır. Kışı geçiren larvalar, -40°C'ye kadar çok düşük kış sıcaklıklarında hayatta kalabilme yeteneğine sahiptir. Larvalar doğada yetişen yeşil bitkilerle beslenir. Üçüncü dönem larvaları, yabancı otların ölmesi durumunda kültür bitkileri ile beslenmeye başlar. Böcek popülasyonu, entomofajların (asalak ve predatörler) ve ayrıca entomopatojenlerin aktivitesine bağlı olarak değişir [15], [23].

Ekonomik önemi

Zararlı genellikle 10-12 yılda bir meydana gelen popülasyon artışı ve kitlesel üreme dönemlerinde salgın yapar ve zararlı olur. Bu zarar %60 verim azalmasına ve bazen %100 bitki tahribatına neden olur; ekonomik zarar eşiği şekerpancarında 1 metrekare başına yaklaşık 10 larvadır. Bu eşik ayçiçeğinde 20 larvadır. En büyük zararı şeker pancarına verdiği gibi çok yıllık baklagiller (fasulye), ayçiçeği, bezelye, kenevir, mısır, sebze bitkileri; arpa, buğday, sorgum, patatese zarar verebilir. Zararlı, 200'den fazla yabancı bitki türünü istila eder [14], [22], [23].

Tablo 2. Çayır tırtılı (*Loxostege sticticalis* L.)'nin konukçu bitkileri [15].

Bilimsel Adı	Familyası	Türkçe Adı
<i>Allium cepa</i> L.	Liliaceae	Soğan
<i>Arachis hypogaea</i> L.	Fabaceae	Yerfıstığı
<i>Asparagus officinalis</i> L.	Asparagaceae	Kuşkonmaz
<i>Avena sativa</i> L.	Poaceae	Yulaf
<i>Beta vulgaris</i> L.	Amaranthaceae	Kırmızı pancar
<i>Beta vulgaris</i> var. <i>saccharifera</i>	Chenopodiaceae	Şekerpancarı
<i>Brassica juncea</i> var. <i>juncea</i>	Brassicaceae	Hardalotu
<i>Brassica napus</i> var. <i>napus</i>	Brassicaceae	Kolza
<i>Brassica nigra</i> L.	Brassicaceae	Siyah hardal
<i>Brassica oleracea</i> L.	Brassicaceae	Lahana, karnabahar
<i>Brassica rapa</i> subsp. <i>oleifera</i>	Brassicaceae	Çin lahanası
<i>Cannabis sativa</i> L.	Cannabaceae	Hint keneviri
<i>Capsicum annuum</i> L.	Solanaceae	Dolmalık biber
<i>Citrullus lanatus</i> L.	Cucurbitaceae	Karpuz
<i>Cucumis melo</i> L.	Cucurbitaceae	Kavun
<i>Cucumis sativus</i> L.	Cucurbitaceae	Salatalık
<i>Daucus carota</i> L.	Apiaceae	Havuç
<i>Glycine max</i> L.	Fabaceae	Soya
<i>Gossypium hirsutum</i> L.	Malvaceae	Pamuk
<i>Helianthus annuus</i> L.	Asteraceae	Ayçiçeği
<i>Illicium verum</i> L.	Schisandraceae	Anason
<i>Lactuca sativa</i> L.	Asteraceae	Marul
<i>Linum usitatissimum</i> L.	Lineaceae	Keten
<i>Nicotiana tabacum</i> L.	Solanaceae	Tütün
<i>Pisum sativum</i> L.	Fabaceae	Bezelye
<i>Raphanus sativus</i> L.	Brassicaceae	Turp
<i>Ricinus communis</i> L.	Euphorbiaceae	Hintyağı bitkisi
<i>Sesamum indicum</i> L.	Pedaliaceae	Susam
<i>Solanum tuberosum</i> L.	Solanaceae	Patates
<i>Sorghum bicolor</i> L.	Poaceae	Sorgum
<i>Triticum vulgare</i> L.	Poaceae	Buğday
<i>Vicia faba</i> L.	Fabaceae	Bakla
<i>Zea mays</i> L.	Poaceae	Mısır
Yabancı otlar		
<i>Artemisia frigida</i> L.	Asteraceae	Pelin Otu
<i>Atriplex patula</i> L.	Amaranthaceae	Karapazı

<i>Chenopodium album</i> L.	<u>Amaranthaceae</u>	Kazayağı, Sirken
<i>Chenopodium ficifolium</i> L.	<u>Amaranthaceae</u>	Kazayağı
<i>Echinochloa crus-galli</i> L.	Poaceae	Darıcan
<i>Hibiscus trionum</i> L.	<u>Malvaceae</u>	Yabani Bamya
<i>Medicago falcata</i> L.	Fabaceae	Kart Yonca
<i>Polygonum aviculare</i> L.	<u>Polygonaceae</u>	Çoban Değneği

Mücadelesi

Kültürel önlemler çok önemlidir. Sonbaharda tarlalar derin sürülmelidir. Böylece pupa kokonlarının bir kısmı derine düşmekte ve kelebek toprak yüzüne çıkamamaktadır. Bir kısım kokonlar ise toprak yüzünde kalarak kuşlara yem olmakta veya kış soğuklarından etkilenmektedir. İlkbaharda yabancı ot mücadelesi yapılmalıdır. Böylece yabancı otlara bırakılmış yumurtalar ve larvalar yok edilmiş olur. Kültür bitkilerinde de yabancı ot mücadelesinin sürdürülmesi aynı faydayı sağlayacaktır. Yonca, üçgül gibi yem bitkilerinin erken biçilmesi de popülasyonun kırılması bakımından önemli bir yöntemdir.

Kimyasal mücadelesinde; Zararlının larva gelişme döneminde insektisit uygulamaları yapılır. Mücadele en geç üçüncü dönem larvalara karşı yapılmalıdır. Dördüncü ve beşinci dönemlerde başarı zordur. Bir bitkide (şekerpancarı ve ayçiçeği) 3-5 adet larva veya metrekarede 10-20 adet larva saptandığında mücadeleye başlanmalıdır [22], [26].

Biyolojik mücadelesinde; çok sayıda doğal düşmanı tespit edilmiştir (Tablo 3). Mücadelesinde Lepidocide ve Bitoxibacillin gibi biyolojik preparatların uygulanması mevcuttur [15].

Tablo 3. Çayır tırtılı (*Loxostege sticticalis* L.)'nin doğal düşmanları [15].

Doğal Düşman	Takım	Familya	Tipi	Biyolojik Dönemi
<i>Machimus annulipes</i> (Brulle)	Diptera	Asilidae	Predatör	Ergin
<i>Bacillus thuringiensis</i>	Bacillales	Bacillaceae	Patojen	Larva
<i>Bacillus thuringiensis galleriae</i>	Bacillales	Bacillaceae	Patojen	Larva
<i>Bacillus thuringiensis kenyae</i>	Bacillales	Bacillaceae	Patojen	Larva
<i>Bacillus thuringiensis kurstaki</i>	Bacillales	Bacillaceae	Patojen	Larva
<i>Bacillus thuringiensis subsp. dendrolimus</i>	Bacillales	Bacillaceae	Patojen	Larva
<i>Bacillus thuringiensis thuringiensis</i>	Bacillales	Bacillaceae	Patojen	Larva
<i>Agrypon flexorium</i> (Thunberg)	Hymenoptera	Ichneomonidae	Parasitoid	Larva
<i>Aleiodes bicolor</i> (Spinole)	Hymenoptera	Braconidae	Parasitoid	Larva
<i>Apanteles ater</i>	Hymenoptera	Braconidae	Parasitoid	Larva
<i>Ascogaster quadridentatus</i> Wesmael	Hymenoptera	Braconidae	Parasitoid	Larva

<i>Blondelia nigripes</i> (Fallén)	Diptera	Tachinidae	Parasitoid	Larva
<i>Campoplex geniculatus</i> Grav.	Hymenoptera	Ichneomonidae	Parasitoid	Larva
<i>Campoplex patsuiкетовum</i> (Viereck)	Hymenoptera	Ichneomonidae	Parasitoid	Pupa
<i>Campoplex sulcatellus</i> (Viereck)	Hymenoptera	Ichneomonidae	Parasitoid	Pupa
<i>Charops bicolor</i> (Szepligeti)	Hymenoptera	Ichneomonidae	Parasitoid	Larva
<i>Chelonus annulipes</i> Wesmael	Hymenoptera	Braconidae	Parasitoid	Larva
<i>Clemelis pullata</i> Meigen	Diptera	Tachinidae	Parasitoid	Larva
<i>Cotesia congregata</i> (Say.)	Hymenoptera	Braconidae	Parasitoid	Larva
<i>Eumea linearicornis</i> (Zetterstedt)	Diptera	Tachinidae	Parasitoid	Larva
<i>Euphorocera claripennis</i> (Macquart)	Diptera	Tachinidae	Parasitoid	Larva
<i>Exorista civilis</i> (Rondani)	Diptera	Tachinidae	Parasitoid	Larva
<i>Exorista rustica</i> (Fallén)	Diptera	Tachinidae	Parasitoid	Larva
<i>Lespesia ciliata</i> (Macquart)	Diptera	Tachinidae	Parasitoid	Larva
<i>Lydella grisescens</i> (Robineau-Desvoidy)	Diptera	Tachinidae	Parasitoid	Larva
<i>Lydella thompsoni</i> Herting	Diptera	Tachinidae	Parasitoid	Larva
<i>Macrocentrus linearis</i> (Nees)	Hymenoptera	Braconidae	Parasitoid	Larva
<i>Meteorus campestris</i> (Viereck)	Hymenoptera	Braconidae	Parasitoid	Larva
<i>Meteorus chrysophthalmus</i> (Nees)	Hymenoptera	Braconidae	Parasitoid	Larva
<i>Meteorus rubens</i> (Nees)	Hymenoptera	Braconidae	Parasitoid	Larva
<i>Nemorilla floralis</i> (Fallén)	Diptera	Tachinidae	Parasitoid	Larva
<i>Nemorilla maculosa</i> (Meigen)	Diptera	Tachinidae	Parasitoid	Larva
<i>Neopristomerus appalachianus</i> (Viereck)	Hymenoptera	Ichneomonidae	Parasitoid	Pupa
<i>Pales pavidus</i> (Meigen)	Diptera	Tachinidae	Parasitoid	Larva
<i>Palesisa maculosa</i> (Villeneuve)	Diptera	Tachinidae	Parasitoid	Larva
<i>Phytodietus pulcherrimus</i> (Cress)	Hymenoptera	Ichneomonidae	Parasitoid	Larva
<i>Phytodietus rufipes</i>	Hymenoptera	Ichneomonidae	Parasitoid	Larva
<i>Pimpla luctuosus</i> Smith	Hymenoptera	Ichneomonidae	Parasitoid	Larva
<i>Platymya mitis</i> (Meigen)	Diptera	Tachinidae	Parasitoid	Larva
<i>Thelymyia saltuum</i> (Meigen)	Diptera	Tachinidae	Parasitoid	Larva
<i>Trichogramma dendrolimi</i>	Hymenoptera	Trichogrammatidae	Parasitoid	Yumurta
<i>Trichogramma euproctidis</i>	Hymenoptera	Trichogrammatidae	Parasitoid	Yumurta
<i>Trichogramma evanescens</i>	Hymenoptera	Trichogrammatidae	Parasitoid	Yumurta
<i>Trichogramma principium</i>	Hymenoptera	Trichogrammatidae	Parasitoid	Yumurta
<i>Vipio vulgaris</i> Latreille	Hymenoptera	Braconidae	Parasitoid	Larva
<i>Zenillia libatrix</i> (Panzer)	Diptera	Tachinidae	Parasitoid	Larva

IV. SONUC

Düzce ilinde ilk kez kayıt edilen Çayır tırtılı, *Loxostege sticticalis* L. (Lepidoptera: Crambidae)'nin iklim değişikliği ve kışlama alanlarındaki habitat koşullarının bozulması nedeni ile birinci nesil kelebeklerin göç ettiği tespit edilmiştir. Zararlıının beslenme ve çoğalması için uygun ortama sahip olan bu yörede yayılış gösterebileceği ve kültür bitkilerine geçerek zarar verebileceği ihtimali nedeni ile birinci nesil kelebek salgın mekanizmasının belirlenmesi ve yayılışının sınırlandırılması ve eradikasyonu çok önemlidir.

V. KAYNAKLAR

- [1] Z. Y. Jia. "Study on bionomy and control tactics of *Loxostege sticticalis* in Helongjiang province," *Helongjiang Agricultural Science*, vol. 2, pp. 17-21, 1983.
- [2] E. Ünal, "Marmara Bölgesinde ayçiçeklerinde zarar yapan Çayır Tırtılı (*Loxostege sticticalis* L.)'nin tanınmasında, biyo-ekolojisi ve savaşım yöntemleri üzerinde araştırmalar," A107.017 No.lu Proje Bölge Zirai Mücadele Araştırma Enstitüsü Çalışma Raporu, Türkiye, Rap. A107.107, 1979.
- [3] Y. J. Sun and R. L. Chen, "Studies on migration, occurrence by region and life history of meadow moth (*Loxostege sticticalis* L.) in China," *Acta Agriculturae Boreali Sinica*, vol. 10, pp. 86-91, 1995.
- [4] S. Nash and L. Hill, (2003, January 25). *Immigration of Lepidoptera* [Online]. Available: <http://www.migrantmoth.com>.
- [5] D.N. Govorov and A.V. Zhivykh, "Reliable Prognosis Is the Basis of Effective Plant Protection," *Zashchita Karantin Rastenii*, vol. 8, pp. 7-9, 2009.
- [6] A.N. Frolov, L. Luo and M. Yu. "On the Problem of Periodic Outbreaks of the Beet Webworm (*Pyrausta sticticalis* L.)," *The Topical Problems of Entomology: Proceedings of the 2nd Int. Internet Conference*, Stavropol, Rusya, 2009, pp. 242-248.
- [7] N.V. Mashchenko, "Harmfulness of the Beet Webworm in Soya Plantations," *Zashchita Rast.*, vol. 8, pp. 34-36, 2009.
- [8] I.Y. Tayurskaya and S.V. Dashevsky, "Khabarovsk Territory: Monitoring is not Enough," *Zashchita Karantin Rast.*, vol. 1, pp. 16-17, 2009.
- [9] LZ. Luo, SZ. Huang, XF. Jiang and L. Zhang, "Characteristics and causes for the outbreaks of beet webworm, *Loxostege sticticalis* in northern China during 2008," *Plant Protection*, vol. 35, pp. 27-33, 2009.
- [10] R.L. Chen, X.Z. Bao, and S.Y. Wang, "An Observation on the Migration of Meadow Moth by Radar," *Acta Phytophyl.*, vol. 1, no.2, pp.171-174, 1992.
- [11] L. Luo, G. Li and Y. Cao, "The Third Outbreak Period of Meadow Moth Has Come," *Plant Protect.* vol.22, no. 5, pp. 50-51, 1996.

- [12] S. Huang, X. Jiang and L. Luo, "Effects of photoperiod and temperature on diapause induction in the beet webworm *Loxostege sticticalis* Linnaeus (Lepidoptera: Pyralidae)" *Acta Entomologica Sinica*, vol. 52, no. 3, pp. 274-280, 2009.
- [13] G. Matov and B. Chimidsérén, "The meadow moth [*Loxostege sticticalis* (L.)] in the Mongolian People's Republic," *Zashchita Rastenibreve*, vol. 1, pp. 53, 1984.
- [14] X. Chen, Y. Jiang, A. Kang and B. Zhai, "Drying soil in North China drove the outbreak range expansion of meadow moth by facilitating longdistance migration" *Scientific Reports*, vol. 6, pp. 30370, 2016.
- [15] CABÍ, (2021 November 17) *Invasive Species Compendim. Detailed coverage of invasive species threatening livelihoods and the environment worldwide, Datasheet Loxostege sticticalis (beet webworm* [Online]. Available: <https://www.cabi.org/isc/datasheet/31400>.
- [16] G.F. Mathew, "List of Lepidoptera observed in the neighbourhood of Gallipoli Turkey, in 1878," *The Entomologist's monthly magazine*, vol. 18, no. 10, pp. 29-32, 1881.
- [17] P.P. Graves, "The Lepidoptera of Constantinople," *Entomologist*, vol. 63, pp. 291-294, 1925.
- [18] H. Rebel, "Vierter Beitrag zur Lepidopteren Fauna Inner Anatoliens Von Fritz Wagner," *Internationale Entomologische Zeitschrift*, vol. 25, pp. 178-183, 1931.
- [19] G. Lattin "Türkische Lepidopteren" II. *İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Mecmuası*, vol. 16 no. 1, pp. 63-70, 1951.
- [20] H. Tekten Mavuş, "Trakya Bölgesi Pyraloidea (Lepidoptera: Pyralidae, Crambidae) türlerinin taksonomik ve faunistik yönden araştırılması," Doktora tezi, Biyoloji, Trakya Üniversitesi, Edirne, Türkiye, 2021.
- [21] A.Ö. Koçak and S. Seven, "Faunistische Notizen über Türkisch-Thrazien Lepidopteren. Centre for Entomological Studies," *Miscellaneous Papers*, vol.10, pp. 4-12, 1991.
- [22] Anonim, *Endüstri ve Süs Bitkileri Hastalıkları Zirai Mücadele Teknik Talimatları*, 1. Baskı, Ankara, Türkiye: Tarımsal Araştırmalar Genel Müdürlüğü, Bitki Sağlığı Araştırmaları Daire Başkanlığı, 2008, ss. 270.
- [23] T.L. Kuznetsova and M.A. Chumakov, "*Loxostege sticticalis* L. (= *Pyrausta sticticalis* L.)-Beet Webworm," *Interactive Agricultural Ecological Atlas of Russia and Neighboring Countries: Economic Plants and Their Diseases, Pests and Weeds*, 2008.
- [24] V.O. Khomyakova and E.P. Bykova, "The Ecological Premises of Detailed Prediction of Development and Distribution of the Beet Webworm (*Loxostege sticticalis* L.) in the North Caucasus," in *Eco-Physiological Premises of the Modern System of the Beet Webworm Control*, 1980, pp. 12-27.
- [25] V.T. Alekhin, "The Beet Webworm," *Zashchita Karantin Rastanii*, vol. 6, pp. 50-71, 2002.
- [26] Z.D. Yue, "The primary analysis of the source of *Loxostege sticticalis* and environmental factors for outbreak in Jilin province," *Jilin Agricultural Science*, vol. 3, pp. 78-81, 1983.
- [27] E. Atay, "Adana, Mersin ve Osmaniye İllerinde Bulunan Pyraloidea (Lepidoptera) faunası üzerine taksonomik-sistematik çalışmalar," Doktor tezi, Biyoloji, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye, 2005.

- [28] L. Osthelder, "Lepidopteren-Fauna von Marasch in türkisch Nordsyrien. Fortsetzung, Pyralidae" *Mitteilungen der Münchner Entomologischen Gesellschaft*, vol. 24, pp. 73-104, 1935.
- [29] O. Staudinger, "Lepidopteren-Fauna Kleinasien's" *Horea societatis Entomologicae Rossicae*, vol.15, pp. 159-435, 1879.
- [30] H. Rebel, "Lepidopteren aus der Umgebung Ankaras. II. Teil." *Annalen des Naturhistorischen Museums in Wien*, vol. 47, pp. 43-58, 1934.
- [31] S. Seven, "Preliminary work on the moth fauna (Lepidoptera: Heterocera) of Kazdağı National Park - II (Turkey)" *Phegea*, vol. 35, pp. 85-91, 2007.
- [32] J.J. Mann, "Verzeichniss der im Jahre 1851 bei Brussa in Kleinasien gesammelten Schmetterlinge" *Wiener Entomologische Monatschrift*, vol. 6, pp. 373-409, 1862.
- [33] A.Ö. Koçak and M. Kemal, "Synonymical and distributional list of the species of Kahramanmaraş Province (South Turkey) (Lepidoptera)" *Centre for Entomological Studies, Priamus Supplement*, vol. 11, no. 7, pp. 133-171, 2007.
- [34] B. Zukowsky, "Reisebericht über entomologische Aufsammlungen im nordöstlichen Anatolien (westliches Armenien) 1934 (Lep)" *Entomologische Rundschau mit societates entomologica*, vol. 55, pp. 1-31, 1937.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

HungerHash: A Distributed Network for Child-Hunger Relief Based on Hedera Hashgraph

 Naser JAM ^a,  Kübra KALKAN ^{a,*}

^a *Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Özyeğin Üniversitesi, İstanbul, TÜRKİYE*

* *Sorumlu yazarın e-posta adresi: kubra.kalkan@ozyegin.edu.tr*

DOI: 10.29130/dubited.933171

ABSTRACT

This paper proposes a hunger relief network based on crypto-currency and a hybrid mix of centralized and decentralized databases which is totally formed by the volunteers and donors and is out of control of centralized organizations. The centralized part of the database maintains non-sensitive information with less need to security features, mainly providing motivative information for donors and giving feedback to know that how their gifts were spent. The decentralized part of the design is based on a third-generation Distributed Ledger Technology which contains sensitive information of payments and receipts and flow of supply chain, which is designed to be fast, secure and fault tolerant.

Keywords: *Child-hunger, Distributed Ledger, Blockchain, Hashgraph*

HungerHash: Hedera Hashgraph'a Dayalı Çocuk Açlığını Gidermek için Dağıtılmış Bir Ağ Mekanizması

ÖZ

Bu makale, kripto para birimine dayalı bir açlık yardım ağı sistemi oluşturmayı öne sürmektedir. Bu sistem tamamen gönüllüler ve bağışçılar tarafından oluşturulan ve merkezi kuruluşların kontrolü dışında olan ve merkezi olmayan veri tabanlarının karma bir karışımını önermektedir. Veri tabanının merkezileştirilmiş kısmı, hassas olmayan bilgileri güvenlik özelliklerine daha az ihtiyaç duyarak tutar, esas olarak bağışçılar için motive edici bilgiler sağlar ve bağışların nasıl harcandığını bilmek için geri bildirimde bulunur. Tasarımın merkezi olmayan kısmı, hızlı, güvenli ve hataya dayanıklı olacak şekilde tasarlanmış, ödemeler ve makbuzlar ve tedarik zinciri akışına ilişkin hassas bilgileri içeren üçüncü nesil Dağıtılmış Defter Teknolojisine dayanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: *Çocuk Açlığı, Dağıtık Defter Teknolojisi, Blok zincir, Hash*

I. INTRODUCTION

A child under 15 dies every five seconds around the world, mostly of preventable causes. In the same time, globally about 41 million children under five years old were overweight or obese [1]. According to reports, about 155 million children under five years old were chronically undernourished [2]. Eradicating hunger and malnutrition are one of the great challenges of our time. Almost %50 of child mortality in Africa stem from hunger [3]. World Food Program (WFP) itself used to claim that a child died of hunger every six seconds. According to reports approximately 3.1 million children die from undernutrition each year and number of primary school children that attend classes hungry in the developing countries is around 66 million [4]. It is apparent that the indirect effect of this hunger is that it impacts children ability to learn. Hunger and undernutrition contribute to more than half of global child deaths and people in conflict-affected regions are up to three times more undernourished than people living in more stable developing countries [5].

In 2020 conditions became worst due to pandemic outbreak. According to 2019 statistics enough food is produced in the world to feed everyone, but because of the conflicts and mismanagement of the governments, around 821 million people are sleeping with an empty stomach each night. The consequences of lack of food not only violates health, but also slows progress in many other areas of development like education and employment. Global community adopted 17 goals in 2015 for sustainable development to improve people's lives by 2030. The second goal in this program is zero hunger. This program is established to improve food security and nutrition, and to promote sustainable agriculture to end hunger [6].

With no practical hope to governments in today's harder economic conditions, citizens, civil society, NGOs, and private organizations must collaborate to make innovations and create better solutions with less bureaucratic complexities, more transparency and higher speed and security. Distributed Ledger Technologies are now getting synergy to become one of the pillars of the modern society, including social, security, juristic, economic and many others. Cryptocurrency is its most dominant application, but the opportunities to use benefits of Distributed Ledger Technologies are much wider and is not limited to financial applications. There are also other architectures of Distributed Ledger technologies besides blockchain. In this paper, we analyze the deficiencies of the current solutions and propose a trusted decentralized design to solve the current situation regarding new emerging technologies based on new generation of Distributed Ledger Technology (DLT).

II. METHODS

The first question that should be answered in this research is why activities of big organizations like World Food Program (WFP) and OXFAM is not sufficient for hunger relief? To enter the discussion, it is necessary to first look at the dysfunctionalities of common methods.

There are many deficiencies that causes people and donors having not enough attention or trust on centralized and gigantic organizations including but not limited to the following:

Overhead:

About 64% of the donations go to the recipients and remaining is an overhead spent for fundraising and organizational costs. For every \$1 you give, 64 cents will be spent on programs for hungry people, 28 cents will be spent to raise another \$1 and 8 cents are spent to process your donations and run the organization and programs [7].

Corrupt governments:

Every year a considerable amount of humanitarian aids is lost because of corruption. The statistics about corruption are hard to verify, but by evaluating the outcomes, it is estimated that between 10 to 70 percent of the \$161 billion global aid funds are stolen due to corruption [8]. Some independent research

show that in average %30 of the aids donated by OECD countries each year simply disappears through global corruption [9].

Limited access to Insecure areas and logistic difficulties:

Almost half of the necessary materials supplied by WFP, are in the country or region where the crisis is located [10]. Unfortunately, most of the hunger emergencies in the world occurs in the conflict regions. Most chronically food-insecure people live in regions affected by conflict [4] Lack of financial infrastructure and physical access in high-risk areas limits effectiveness of formal centralized organizations to reach the people in urgent needs. In addition, last mile relief aid distribution by centralized organizations has many difficulties and inefficiencies due to ad-hoc nature of the work [11]. It had been studies that siloed management of relief aid can delay urgent responses because permission must be granted by donors and programs to relocate assets and fulfill emergency needs [12, 13].

Unilaterality:

For most of the donation paths prepared by big organizations, there is no feedback for the donors to know with confidence that how their donation was spent. Sending feedback will provide more motivation and trust for the donors to continue and increase their cooperation and sympathy.

III. RELATED WORKS

As a result of pandemic outbreak there is a dramatic shift towards a digital world, decentralized solutions that address critical needs of societies are getting more important than ever. To overcome dysfunctionalities of the centralized methods, several pilot projects started in recent years to evaluate possibility of using distributed approaches in humanitarian activities. Among all these activities, in most of the startup projects and pilots we can see inclination towards blockchain technology. The UNICEF Innovation Fund is pays \$100K investment packages to provide early-stage financing for technology start-ups that have the potential to benefit humanity [14]. The following projects are some implemented cases that are close to our approach, it should be noted that although they use Distributed Ledger Technologies, but each project has its own weakness that causes bottlenecks or weak links in generalizing their application in a global context.

Building Blocks (BB)

This pilot project is running by the WFP as an example of humanitarian blockchain in action. The main goal of this project is facilitation of cash distribution over the globe [15]. With current systems, distributing cash depends on local financial institutions but in practice they observed that financial service providers are either unreliable or insufficient. To overcome these problems, UN started “Building Blocks” project. This project serves both as a coordination body among organizations providing aid as well as a distribution mechanism for various types of aid like food and cash. WFP offers Building Blocks service free of charge to humanitarian organizations which become equal operators of the network upon joining. The technical architecture of the project can also accommodate other applications like digital identities and supply chain management. A pilot of the BB was implemented in two refugee camps. In this pilot, the beneficiary account is maintained on the blockchain and cash value from WFP is stored in this account. Using this cash, about 100,000 refugees in the camps can purchase their fundamental needs.

The main weakness of this project will be essentially its dependency on the centralized financial service providers. In this pilot, the cash received by beneficiaries or spend on goods and services is paid to the buyers or to the retailers through a financial service provider. By this way the bottleneck of the financial process is still dependent on the central organizations.

Women’s cash for work

UNWomen and the WFP, are utilizing innovations to improve women's economic power through blockchain technology. Using this technology, UN provides women secure access to their funds and

savings through blockchain assistance. It is a member of “Building Blocks” project partnership enabling Syrian women participating in the UN’s Program to access their salaries and withdraw cash at a supermarket through an iris-scanning system in a refugee camp [16]. It is reported that the system’s security is increased since WFP and UNWomen both validate other side’s transactions via their own blockchain nodes.

This approach utilizes distributed security facilities of the blockchain technology, but dependency of the whole process to the iris scan system provides a weak link that limits the coverage of the project to the confined areas like refugee camps.

Unblocked Cash

Australian Blockchain fintech SEMPO has secured €1 million in funding from the European Commission to fuel digital aid projects in partnership with Oxfam [17]. The idea of the “Unblocked Cash” project is to provide a decentralized model to connect people and stores to the platform, allowing for digital cash purchases at times of crisis. The start-up follows a decentralized approach for providing aid to people, particularly those who don’t have access to a bank account but do have a smartphone. SEMPO uses a suite of cryptocurrencies, with one acting as the ‘global reserve’. It seems that SEMPO use blockchain technology for a digital wallet system that uses mobile application to rapidly transfer money just like a credit card. They claim that they built an open-sourced blockchain-enabled system to enable everyone to transparently deliver relief funds to beneficiaries in hours, rather than days or weeks. In the “unblocked Cash” project all transactions are recorded on the Ethereum Blockchain, this creates an immutable and third-party auditable record for donors, but dependency on smartphone is one of the weaknesses of this project that limits its usage to wealthy-enough people that can afford a smart phone. Another weakness of the project is the lack of evaluation and feedback over the donations. Unilaterality in donations process is one of the main weaknesses that decrease trust of donors.

Start Network and Disberse

To develop blockchain in humanitarian financing, Disberse company has entered into a partnership with the “Start Network” [18]. In 2016, “Start Network” received a €50,000 grant from the government of Estonia, that enabled it to start a pilot project using blockchain for humanitarian financing. Using this fund, “Start Network” made a partnership with Disberse start-up to push forward plans to test blockchain in the delivery of humanitarian finance. Disberse system uses Distributed Ledger Technology and smart contracts based on Ethereum Blockchain to automate transactions. In fact, they have built a DLT-based platform as a financial service [19].

The outcome of this partnership is a distribution platform for aid funding to track and limit the money losses. The weakness of this project lays on this fact that the money distributed on the platform is not itself cryptocurrency, but e-money issued by Disberse for which transactions were recorded on the Ethereum. This approach produces a single point of failure on e-money system with all shortcomings of centralized approaches especially availability of banking infrastructure.

Russian Federation’s Project

This project titled “Development of a platform for hosting and tracking donations of funds for charitable purposes using distributed registry technologies” as described in the paper [20] is a platform that is based on blockchain technology for tracking donations. The main concern of the project is tracking of charitable foundations. They say that according to Rosstat research, in 2017 there were more than 9600 charitable foundations and about 1700 charitable organizations (movements, institutions) in Russia. Donors have every reason to fear that charitable funds will not reach people who really need them. According to this survey in 2017, 68% of citizens are willing to donate more if there is evidence of where and what they are going. Therefore, in this project Russia government tries to evaluate a social platform based on blockchain technology that can help non-profit organizations, foundations, volunteers, and social entrepreneurs in their work and make donation processes transparent and understandable for all parties (donors and charitable funds).The project is based on Ethereum’s smart contracts for tracking of donations and uses charity organizations websites and their own web site for providing reports for the donors. In this project, the developers use ready-made tools and blockchain

platforms, and do not create a blockchain from scratch. The weak link of this project may be laid on this fact that the front-end of the process can be the charity organization’s web page which can be easily exploited by untrusted organizations.

UK’s Ox-Chain Project

This project titled “Towards secure and trustworthy circular economies through distributed ledger technologies” proposes a conceptual architecture design [21] that uses Distributed Ledger Technologies to automate the process of donation based on a conditional and data-driven model. In the blockchain domain, this architecture is very similar to Russian federation’s project which uses smart contracts on permissionless Ethereum environment. Again, there is some weak spots in this design that is already mentioned in the paper. For example, Ethereum does not offer scheduling functionalities to invoke functions on a smart contract based on date and time or block number and the proposed architecture supports time-dependent functionalities using an off-chain scheduling module that regularly pushes the current date and time to the blockchain.

Menoufia University of Egypt

This project [22] uses the same concept of the Russian federation’s project and focuses on implementation of tracking on blockchain but again this design doesn’t eliminate need for charity organization that are needed to be trustable.

Some other design structures are proposed by researchers from Turkey and Europe [23] also consider the use of DLT for charity and energy donation. These concepts are based on robust blockchain technology for charity tracking, but their weak point is that at least a minimum Telecom and Electricity infrastructures is needed in the region of the beneficiaries to transfer digital donations to the target recipients. Other projects mainly from China also started their pilots from 2017 in which some of them are initiated by famous companies like Alibaba (Alibaba 2018) and Binance (Binance 2018) and some from the academia [24]. A review of the design and services provided by the mentioned projects shows that they are mainly focused on Trusted exchange instead of total process of donation. Similar projects like Unitedway, Givetrack and Givecrypto recently started in the United States by centralized organizations that are inclined towards using cryptocurrency but as they are mainly initiated by old-styled charity sector, they follow the same old-fashion donation process which has weak control dynamics. For instance, they only focus on using digital currency with the same old centralized procedures without any improvement on speed, donation loss, feedback reports or energy consumption. By these samples, we show the current state of the technology in humanitarian activities facing child hunger and some similar active projects that try to secure donations using blockchain technology. All the mentioned works are compared in Table I. To overcome the deficiencies of big, centralized organizations and flaws of blockchain-based technologies which makes them hard to penetrate in practical large-scale humanitarian applications we proposed an agile decentralized design based on emerging new Distributed Ledger Technologies available from 2019: the Hedera Hashgraph.

Table 1. Comparison of the current studies on DLT-based charity

Project	Project Base/ Application Area	Underlying Blockchain Technology	Scope of performance	Speed/ Energy Efficiency	Limitations/ downsides
-Building Blocks (BB) -Women’s cash for work	UN initiated/ Refugee camps	Ethereum	Open-loop donation exchange, no track	Low	Dependency on the centralized financial service providers and special authentication technologies/hardware
Russian Federation’s Project	Russia/ Russian federation	Ethereum	Donation Tracking	Low	Open loop dependance on charity organizations

-Unblocked Cash -Start Network and Disperse -Ox-Chain Project	UK based/ Global	Ethereum	Trusted Exchange And donation control dynamics	Low	-lack of evaluation and feedback over the donations -Trust on NGOs -Off-chain scheduling
Menoufia University	Egypt/ Africa	Ethereum	Closed-loop donation transfer and exchange	Low	Trust on NGOs
Cali & Çakir's Design	Energy Poverty/Global	Ethereum	Trusted Energy donation	Low	Need for infrastructures and dependency on local aggregator
China based Alibaba, Binance and Guilin university Project [23]	China/ Global	Multiple	Mainly focused on Trusted Exchange	Depends on used blockchain tech.	Weak control dynamics
Unitedway, Givetrack, Givecrypto	US based/ Global	Bitcoin	Open-loop donation exchange, no track	Very low	Weak control dynamics
Proposed work: HungerHash	Turkey based/ Global	Hashgraph	Closed-loop Tracking, Delivery & Report	High	Based on newly developed technology, not tested by the public

IV. HUNGERHASH

This paper observes one of the newest technologies as a very strong alternative to Blockchains. The Hedera Hashgraph is promising to outperform Blockchains in many specifications [25]. Before discussing about the architecture, we need to mention that unlike most of the Blockchain humanitarian projects, in the HungerHash concept we use the Hedera HBAR, a real digital currency using Hashgraph technology that is claimed to be the third generation of digital currencies which is much cheaper and efficient than Bitcoin with no energy waste.

To minimize the cost and delays of the network the HungerHash system uses a hybrid database that consists of two parts. The first part consists of cloud-based software and databases that contains less sensitive general information about the main players of the donation process and their activities and the link of some promotional data that provides feedback of donations to donors. The second and main part of the system is a distributed database which contains sensitive data of payments, coupons, IDs, location/time, and supply chain tracks that needs more security and independence.

The payments of the HungerHash are based on the concept of micropayments by digital currency. The strongest reason that we use this kind of payment is since in most of the urgent cases, we have lack of banking infrastructures for paper-based currencies as most of the geographical regions with urgent hunger are in conflict. Regarding these facts, this methodology prevents frauds and terrorists to gain access to the donations. Micropayment with digital currency also eliminates the intervention of corrupt governments into the donation process and makes the process free from any political obtrusions [26]. By this way we can manufacture strong trust in a distributed hybrid network to perform the functions of the following factors:

- 1-Reliable storage of sensitive information
- 2-Fast, Low-cost, and low-energy use of cryptocurrency
- 3-Trackable feedback of donation expend

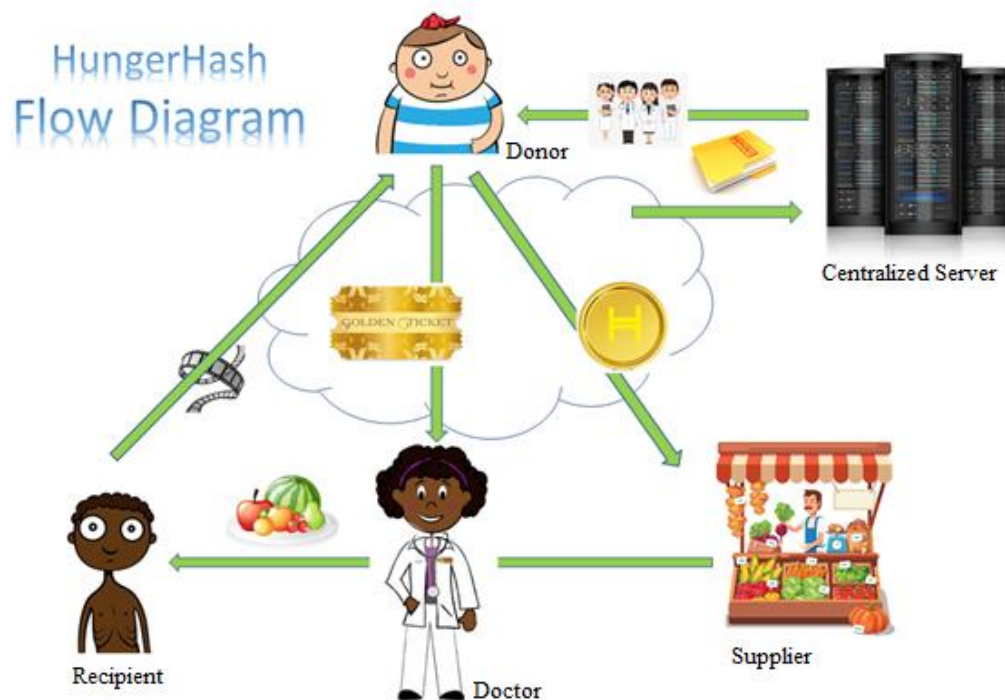


Figure 1. HungerHash diagram showing the information flow and digital currency between main elements

A. OPERATIONS FLOW DIAGRAM

Figure 1 shows the main elements of HungerHash. Each operation cycle in this flowgraph is initiated by a donor. All connections and message transfers are based on the Internet online or offline. The loop operation starts by a donor which sends digital currency and Tickets. The process also ends to donor node by receiving a multimedia donation report. The workflow of the HungerHash has the following main elements:

1-Donors

Are real or legal persons which register in the network with a unique identity which send their donations to the target **recipients** through **doctors** and **suppliers** by using HBAR digital currency. The amount of each donation cannot exceed a predefined maximum value.

2-Doctors

Are volunteer registered doctors that are living in geographic regions highly affected by hunger. Each **doctor** must have a smart phone with internet connection and a personal social network page in which he/she uploads the multimedia contents about the hunger in the region and his/her activities for hunger-relief in that region. Each **doctor** must cover at least one **recipient** and overlap of the coverage is also possible. It means that a **recipient** can be covered with more than one **doctor**.

3-Suppliers

Are sellers of food and nutrition. They should be connected to one or more **doctors** and should accept the HBAR digital currency. Each **supplier** must have a smart phone with internet connection. The **suppliers** are not supposed to feed the **recipients** directly by their own decision and each feed needs a digital Ticket from a **doctor**.

4- Recipients

Are real persons under age 15 with identity and contact info that is under coverage of a **doctor**. There is no need for a **recipient** to have smart phone or internet connection. The maximum amount of donations that a **recipient** can receive is a fixed value that is defined for each month and each year for each specific geographic region as a default value by the HungerHash network.

In the first glance it seems that the process of donations in HungerHash can be simplified by using direct transfer of money from **donors** to **recipients**. But after several reviews and discussions with experienced experts we found this solution as the most reliable one because inclusion of suppliers and doctors and digital currency in the chain provides very strong multi-factor security and reliability which prevents any speculation that may be occurred by the parents, or any other brokers with abuse intents. In addition, sending the HBARS to **suppliers** instead of **doctors** provides additional level of security and trust that prevents **doctors** to become monopolies without any proctorship and making single points of failure in the network. In addition to digital currency, the ticket mechanism also provides another trust level which prevents Suppliers to become unattended.

B. DONATION PROCESS

Each donation process consists of 4 steps that starts from registration and ends with delivery. However, it has been tried for the process to be as simple as possible, but also the utmost care was taken into account to make the network secure against any abuse or monopolism.

Step1-Registration:

The process starts with a simple registration for **donors**. After the **donor's** decision for donation, he is forwarded to a donation page. In the first section of the donation page is a branch in which if he has HBAR currency he is forwarded to the next step and if he has no HBAR, he is forwarded to a page in which he/she can buy HBAR.

Step2-Orientation:

In the next step the process continues with supplying the information of volunteer **doctors** to the **donors**, this information is kept in the database of the cloud server. A potential **donor** can select a specific geographical region and see a sorted list of volunteer **doctors**. This database contains the following information for each **doctor**:

- Name, contact info and documents and affiliations of **doctors**
- Name, address and contact info of **recipients** under coverage of each **doctor**
- A link to the **doctor's** personal social network page that contains multimedia contents of the potential **recipients** and previous donations and conditions of recipients before and after donation
- Contact info of **Suppliers**
- Statistics of activity of the volunteer **doctor** and his **suppliers**

Step3- Donation:

In this step the **donor** decides to select a specific **doctor** or a group of **doctors** and optionally selects a **recipient** or groups of **recipients**. Then he/she sends a ticket which presents a portion of **donor's** HBAR asset to doctor. This ticket contains two metadata: location, time and amount of aid and the target **recipient** in which here the first one is mandatory and the second one is optional.

Step4- Delivery:

After reception of the ticket by a **doctor** he/she calls the relevant **supplier** to supply the food and nutrition to the recipient(s) which is selected by **donor** or **doctor**. The priority of selection of **recipient** is arranged in a way that the **donors** have higher priority than **doctors** and if the **donor** doesn't select a specific **recipient**, then the **doctor** will make the decision according to his knowledge about the most urgent **recipients**.

To support the logistic and transfer cost of the foods and nutrition from **supplier** to the **recipient** the supplier can include the cost of dispatch in the calculations of the goods that is paid by **donor's** HBAR.

After delivery, a photograph or video of delivery is sent to the *doctor* as a *recipients* confirm which can be uploaded to his/her social media page to provide a feedback and trust for the *donors*. Including this kind of receipt in the network is a strong inducement that increases the rank and trust of the *doctors* in the network. All these steps are summarised in flow diagram in Figure 2.

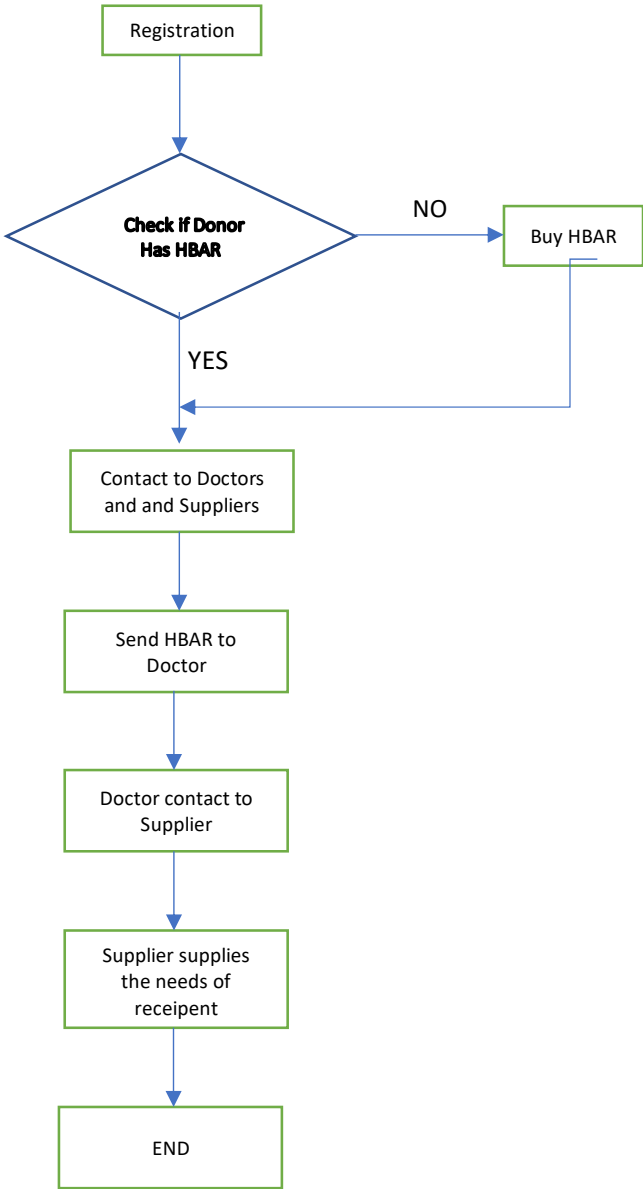


Figure 2. HungerHash’s donation Flow diagram

C. UNDERLYING TECHNOLOGY AND ARCHITECTURE

The structure of the system is mainly based on the Hashgraph Distributed Ledger Technology. In fact, we can say that Hashgraph is an alternative to blockchain technology that is swiftly entering the fields of humanitarian and development aid [27]. While it is necessary to pay attention that Blockchain is a first-generation technology with severe constraints in terms of speed, fairness, cost, and security. We displayed a brief comparison between first, second and 3rd generation distributed ledger technologies in Table 2.

C.1. Protocol

Based on a virtual voting algorithm Hashgraph is an asynchronous consensus mechanism combined with the gossip protocol. It achieves consensus quickly, fairly, efficiently, and securely. The main innovation of this technology that reduces time of transactions and electrical power requirements is based on this fact that there is no need to use miners for transaction validation. Instead Hashgraph uses directed acyclic graphs to time-sequence transactions without bundling them into blocks . By this way it provides the benefits of Blockchain without its limitations. In addition, Hashgraph uses “gossip about gossip” a combination of the gossip protocol with a voting algorithm to reach consensus quickly and securely without proof of work. Each node shares new information that other nodes don’t know using the gossip part of the protocol, and the gossip about gossip includes nodes that new information originated.

The Hashgraph algorithm is inexpensive efficient, fast, timestamped, fair, Byzantine fault tolerant, ACID compliant, and DoS resistant [28]. The proof-of-stack mechanism of the system shows Byzantine convergence when $2n/3$ of the members are honest [29].

Table 2. Distributed Ledger technology comparison shows benefits of 3rd generation technology [30]

Generation	1	2	3
Sample Digital Currency	Bitcoin BTC	Ethereum ETH	Hedera HBAR
Transaction Per second	3+ TPS	12+ TPS	10,000+ TPS
Average Fee	0.20 USD	0.13 USD	0.0001 USD
Transaction Confirmation	10-60 Minutes	10-20 Seconds	3-5 Seconds

C.2. Transaction speed

A fundamental bottleneck in the first-generation technology has been the performance; in the first generation, the applications that can run on a database can just do 5 transactions per seconds. The Hashgraph network can achieve consensus on transaction order and timestamps for instances distributed across the world, with speeds larger than 100,000s of transactions per second. By the way it has surpassed transaction speeds of current centralized e-money networks like VISA. The speed of Hashgraph is around 250,000 TPS. Comparing with VISA which has around 24000 TPS capacity [31], the Hashgraph is more than 10 times faster than VISA.

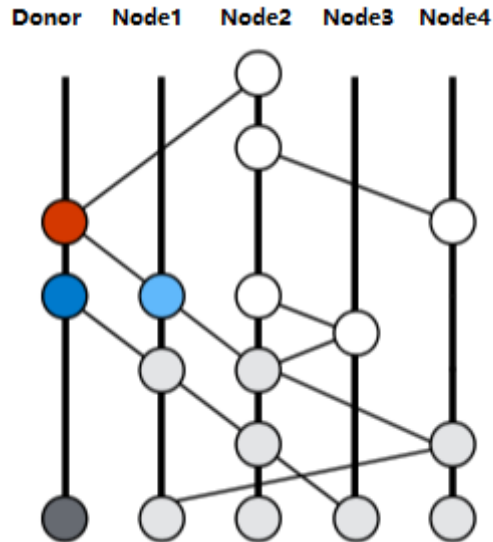


Figure 3. The Hashgraph Data structure [32]

C.3 Data structure

Hashgraph only include the bare minimum of two hashes, the hash of the last message created by a node, and the hash of the last node talked to last. The graph will be formed by flow of the algorithm that is able to connect everything. When the new messages include the hash of previous messages into one, the entire history and the order of the nodes talked to other nodes in the network is available.

Figure 3 shows an example to clarify the data structure of the Hashgraph. In this case the **Donor** creates an event (Red) saving the occurrence of Node1 performing a gossip sync to her and sending her all information he has. This event has a hash of two parent events (Blue): the self-parent (dark Blue) by Node1 which is the same creator, and the other parent (light Blue) by Node1. In addition, it contains a payload of new transactions that Donor wants to create at that time, and a digital signature by Donor. The other predecessor events (Gray) are not saved in the red event, and they are defined by all hashes. The other self- predecessors (dark Gray) are those accessible by sequences of self-parent links, and the others (light Gray) are not.

One of the strong aspects of this approach is that a participant is the equivalent of a miner in blockchain, and each member can create new transactions, and put them inside new events.

C.4. Reliability

Hashgraph has a Governing Council. The Governing Council will host the initial network nodes. They will fund a global governance backbone for supervision. This Council will consist of 39 organizations from 18 different business sectors and all geographies including Europe, Japan, India, Australia, US, and South America. They will collectively represent the entire market of potential use cases with a term-limited memberships that means that they cannot remain members for unlimited time. In the whole network, each member will run a node and each node will start off with 10,000 TPS [33]. At present time, the current Council members include Google, Boeing, IBM, Tata Communications, DLA Piper (Global Law Firm in 40+ Countries), FIS Global (US), Nomura Holdings (Japan), Deutsche Telekom (Germany), Magazine Luiza, Swisscom Blockchain AG (Switzerland).

C.5. Services

The network provides the following services for the application level of HungerHash network through an open SDK:

Cryptocurrency – Enables Fast, low fee payments. The fast speed and low network fees make microtransactions a possibility. HungerHash will use this facility that will circulate like the blood in body.

Smart Contracts – Tokenize and exchange assets. The Hedera ledger can run smart contracts written in Solidity. This makes it easier to manage sensitive long-term contracts with grand members like country-wide *suppliers* in HungerHash.

File Storage – Sign and verify files. An example of this would be for user identification like a driver’s license. We will use this facility to store identity of *doctors* and *suppliers*. Governing body of the HungerHash can sign the IDs and others can verify if it’s correct.

Consensus Service – Build directly on Hashgraph. This allows *donor* organizations to create a private network, like an ERP, while using Hedera’s system and relying on its integrity.

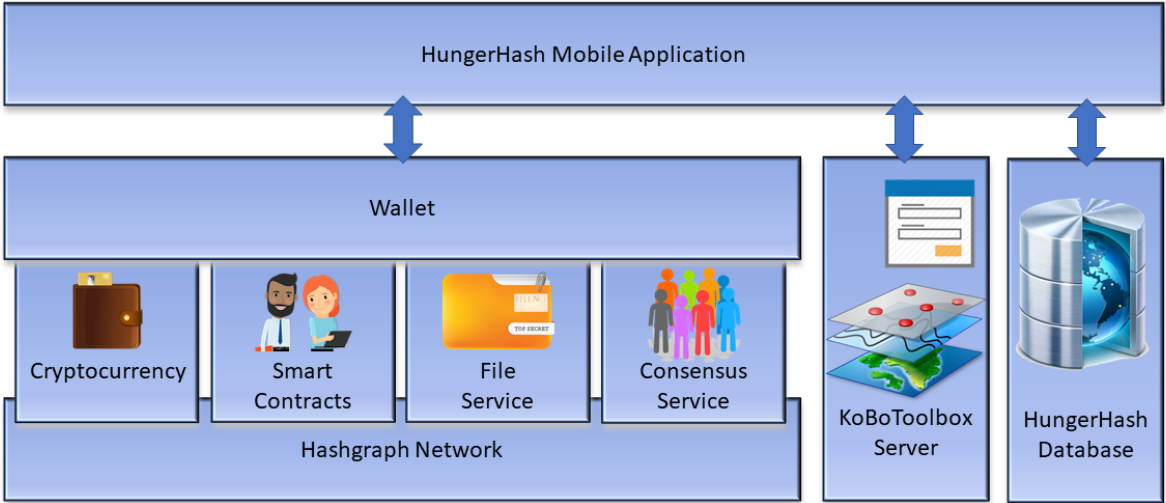


Figure 4. HungerHash application and network architecture

Figure 4 shows the HungerHash’s network architecture. The HungerHash mobile application will be a portable Java application to be developed and maintained by the developer community of the HungerHash which will be formed by volunteers. *Donors, doctors,* and *suppliers* can download and use this free application from HungerHash’s central server or Google play store. This application runs on top of Hashgraph network and in the first stage uses its cryptocurrency and file services. A very small portion of donations is directly spent for distributed network transactions and hence there is no need for any centralized payment for Hashgraph services by the central organization. The cryptocurrency service is used for transfer of HBARS from *donors* to *suppliers* and distributed file system is used to maintain tickets, *doctors, donors, suppliers* and *recipients*’ identifiers and transaction records.

A cloud-based service named KoBoToolbox will be used in HungerHash to provide necessary forms and reports for users. KoBoToolbox is an open-source suite of tools for data collection and analysis in humanitarian emergencies and other challenging environments developed by the Harvard Humanitarian Initiative. The analysis section of the KoBoToolbox provides Access to data through an API and will help HungerHash application to create summary reports with tables and graphs, it can visualize collected data on a map, disaggregate data in maps and reports, and export collected data to CSV and Excel formats.

A centralized database is also available in the network, mainly containing project web site, archive, developer info, and promotional data for potential donors.

V. DISCUSSION

As shown in comparison Table 1, our design not only benefits from many advantages of new DLT technologies like speed and energy efficiency but also focuses on every aspect of the donation process from start to end. This process works in a closed-loop control form that provides secure feedback which informs donors about the outcomes of their donations.

By the overall reviews and comparisons, we found that our design not only can be a great supplement to the less efficient massive, centralized approaches that are working around the globe right now, but also can outperform most of the current projects and pilots that are trying to use benefits of Distributed Ledger Technologies by blockchains and are just focusing on one of the aspects of the whole donation process. Our reviews show that most of the newly proposed or developed distributed designs are a kind of donation track network or a currency exchange platform that serves to the NGOs without covering all layers of donation process. On the other hand, if we focus on different layers of HungerHash design, despite all the benefits that was mentioned there may be some doubts about veridancy and infancy of its underlying technology which is not yet well tested by the public in a large scale. This may be the main reason that most of the similar projects and design are based on the Ethereum blockchains. As a reasonable solution for this potential infirmity, we designed the DLT-based section of the project in a modular approach. It means that each of the four DLT-based blocks in the application and network architecture are independent of DLT infrastructure are not necessarily tied to the Hashgraph network. In fact, in this design, we can have a hybrid DLT backbone. For example, the cryptocurrency block can be connected to an Ethereum network and file service, consensus service and smart contracts can operate over Hashgraph backbone. By such a modularity and flexibility, the overall design will not only benefit from energy efficiency and speed of new DLT technologies but also can benefit from popularity and robustness of older DLT backbones with higher technology readiness level.

VI. CONCLUSION

We can conclude by looking at the past and considering current economic crisis, that to have a world free of hunger, there can be no hope for programs of governments around the world. In this paper we sadly shown that with %36 overhead and %30 estimated corruption factor we have globally a loss factor of 0.45 for humanitarian aids for hunger. It means that with current organizations generally less than %45 of the global aids is estimated to reach to the real deserving recipients.

To overcome deficiencies and improve trackability of aids we proposed HungerHash as a global high-tech. distributed network for child-hunger relief, which is promising to be much more agile, efficient, and trustworthy than the current centralized and even most of the recent decentralized approaches. We showed that a hybrid mix of centralized and decentralized databases will provide a scalable, flexible yet secure technology which provides independence from formal and governmental restrictions and dictatorships with minimal supervision requirements. We showed that by using a third-generation Distributed Ledger Technology like Hashgraph, the transparency, security requirements, fault tolerance and high speed and incorruptibility of transactions and supply chain tracking can be achieved with a minimal cost that is much less than the current centralized organizations or emerging concepts based on Blockchain that is a high energy-consuming technology.

As a conclusion, the HungerHash is a self-organizing network that does not dictate the donation recipients to have a smartphone or any communication device or a bank account. The recipients are not needed to have electricity or internet access as well. As it can be easily seen in our approach, The Distributed Ledger Technology is not used as a decoratively secure database for normal currency transfer operations. In the HungerHash, donations are purely based on digital currency using HBAR that is claimed to be the third generation of digital currencies which is much cheaper and efficient than Bitcoin with no need to mining and huge energy consumption.

VI. REFERENCES

- [1] C. Heinrich, “A child under 15 dies every five seconds around the world,” *UNICEF Press release*, 2018.
- [2] The double burden of malnutrition, Policy brief, World Health Organization, Geneva, 2017.
- [3] S. Kamali Dehghan, “Nearly half of all child deaths in Africa stem from hunger,” *The Guardian, Global development*, 2019.
- [4] In Brief to The State of Food Security and Nutrition in the World 2020: Transforming food systems for affordable healthy diets, FAO, IFAD, UNICEF, WFP & WHO, Rome, 2020.
- [5] Global report on food crises, WFP, UN World Food Programme Report, April 2020.
- [6] P. Messerli, E. Murniningtyas, “The Future is Now – Science for Achieving Sustainable Development. United Nations,” *Global Sustainable Development Report*, 2019.
- [7] We depend on donations and use them carefully, WFP, UN World Food Programme, 2020.
- [8] C. Kenny, “How much aid is really lost to corruption?,” *Center for global development*, 2019.
- [9] C. Gorey, “Irish start-up Aid:Tech using blockchain to distribute aid in refugee camps,” *SiliconRepublic, Startups*, 2016.
- [10] B. Sir, E. Çalışkan, “Multi Criteria Decision Making for the Selection of a New Hub Facility Location in Humanitarian Supply Chains.” *International Journal of Engineering Research and Development*, 12(2), 2020, pp. 520-528.
- [11] B. Balcik, B. Beamon, K. Smilowitz., “Last mile distribution in humanitarian relief,” *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 12(2), 2008, pp. 51-63.
- [12] A. J. Pedraza-Martinez, L. N. Wassenhove., “Empirically grounded research in humanitarian operations management: The way forward,” *Journal of Operations Management*, 45(1), 2016, pp. 1-10.
- [13] M. Besiou, A. J. Pedraza-Martinez, L. N. Van Wassenhove, “Vehicle supply chains in humanitarian operations: Decentralization, operational mix, and earmarked funding,” *Production and Operations Management*, 23(11), 2014, pp. 1950-1965.
- [14] A. Poorterman, “Blockchain experiment in humanitarian aid,” *Start Network news*, 2017.
- [15] V. Matak, “How Blockchain is helping WFP’s fight against coronavirus in Bangladesh,” *WFP Insight*, 2020.
- [16] Using technology to assist vulnerable Syrian refugees during COVID-19 lockdown, *UNwomen, UN Women news*, 2020.
- [17] T. Cole, “Sempo and Oxfam win €1m from European Commission to scale Unblocked Cash,” *Sempo blog*, 2020.
- [18] S. Alhattab, “Cryptocurrency Fund announces its largest investment of startups in developing and emerging economies,” *UNICEF Press Release*, 2020.
- [19] A. Poorterman, “Blockchain Pilot II summary of learnings,” *Start Network Report*, 2018.

- [20] H. Saleh, S. Avdoshin, A. Dzhonov, "Platform for tracking donations of charitable foundations based on blockchain technology," *IEEE 2019 Actual Problems of Systems and Software Engineering (APSSE)*, 2019, pp. 182-187.
- [21] L. Trotter, M. Harding, P. Shaw, N. Davies, C. Elsdén, C. Speed, J. Hallwright, "Smart Donations: Event-Driven Conditional Donations Using Smart Contracts On The Blockchain," *32nd IEEE Australian Conference on Human-Computer Interaction*, 2020, pp. 546-557.
- [22] E. Shaheen, M. Hamed, W. Zaghoul, E. Al Mostafa, A. El Sharkawy, A. Mahmoud, G. Attiya, "A Track Donation System Using Blockchain," *International Conference on Electronic Engineering (ICEEM)*, 2021, pp. 1-7.
- [23] U. Cali, & O. Çakir, "Novel Donation Sharing Mechanisms Under Smart Energy Cyber-Physical-Social System and DLT to Contend the Energy Poverty Problem," *IEEE Access*, 9, 2021, pp. 127037-127053.
- [24] Z. Li, W. Zhang, H. Qin, H. Zhou, "Charitable Donation System Based on Blockchain Technology," In *Proceedings of the 2021 International Conference on Control and Intelligent Robotics*, 2021, pp. 92-96.
- [25] L. Baird, M. Harmon, P. Madsen, "Hedera: A Public Hashgraph Network & Governing Council," Hedera white paper, 2019.
- [26] M. Harmon, "Dictatorships, Democracy, and Blockchain," Swirlds report, 2020.
- [27] A. Zwitter, M. Boisse-Despiaux, "Blockchain for humanitarian action and development aid," *International Journal of Humanitarian Action* 3, 16, 2018.
- [28] L. Baird, "The Swirld's Hashgraph consensus algorithm, fair, fast, byzantine fault tolerant," Swirlds tech report, May 2016.
- [29] L. Baird, "Hashgraph consensus: detailed examples," Swirlds tech report, Dec.2016.
- [30] The 3rd generation public ledger, Hedera white paper, 2020.
- [31] The technology behind Visa, VisaNet, VisaNet Report, 2013.
- [32] L. Baird, Overview of Swirlds Hashgraph, Swirlds tech report, 2016.
- [33] Hedera Hashgraph Review, Hedera, Cryptosmart, whitepaper, 2019.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Farklı Basınç Oranlarında Ham Pelet Haline Dönüştürülen Al-15Cu Alaşımının Mikro Yapı ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi

Mustafa DOĞAN^{a,*}, Uğur AVCI^b

^aMalzeme Bilimi ve Mühendisliği ABD, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş, TÜRKİYE

^aMalzeme Bilimi ve Mühendisliği ABD, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: mustafa4064@hotmail.com

DOI: 10.29130/dubited.985076

Öz

Bu çalışmada, toz metalürjisi tekniğinin en önemli aşamalarından biri olan ham pelet üretiminde uygulanan sıkıştırma basıncının, üretilen malzemenin mikro yapı ve mekanik özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu bağlamda, %99 saflığa sahip ortalama 44 µm boyutlarındaki Al ve Cu tozları kullanılarak, hafif olmasının yanı sıra dayanım bakımından etkili olan Al-15Cu alaşımı üretilmiştir. Mekanik olarak karıştırılan alaşım tozları, özel olarak tasarlanmış kalıp içerisine yerleştirilerek tek eksenli kuvvet uygulaması ile 350, 470 ve 600 MPa basınç altında ayrı ayrı sıkıştırılmıştır. Sıkıştırma işlemi sonrasında ham pelet haline gelen üç farklı numune, tavlama fırınında 550 °C sıcaklıkta 45 dakika bekletilerek geleneksel sinterleme işlemine tabi tutulmuştur. Üretimi tamamlanan numunelerin mikro yapı, yoğunluk, mikro sertlik ve basma dayanımı özellikleri belirlenerek kendi aralarında kıyaslanmaları sağlanmıştır. Yapılan değerlendirmeler sonucunda, sıkıştırma basıncının artırılması ile numunelerin gözenek oranlarının azaldığı ve buna bağlı olarak deneysel yoğunluklarının arttığı tespit edilmiştir. Buna ek olarak artan basınç oranının numunelerin mikro yapı özellikleri üzerinde değişime neden olduğu ve bu değişimin mikro sertlik (80→148 HV) ve basma dayanım değerlerinde (221→508 MPa) iyileşmeye neden olduğu belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar neticesinde uygun basınç oranı ile ham pelet haline dönüştürülen numunelerin, geleneksel olarak sinterlenmesi günümüz teknolojisinde kullanıma uygun malzemelerin üretiminin gerçekleştirilebileceği ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Toz Metalürjisi Yöntemi, Ham pelet, Al-Cu Alaşımları

Investigation of Microstructure and Mechanical Properties of Al-15Cu Alloy Converted to Green Compact with Different Pressure Ratios

ABSTRACT

In this study, the effects of the compression pressure applied in the production of green compact, which is one of the most important stages of the powder metallurgy technique, on the microstructure and mechanical properties of the produced material were investigated. In this context, Al-15Cu alloy, which is effective in terms of strength as well as being light, was produced by using Al and Cu powders with an average size of 44 µm with 99% purity. Mechanically mixed alloy powders were placed in a specially designed mold and compressed separately under 350, 470 and 600 MPa pressures with uniaxial force application. Three different samples, which became green compact after compaction, were subjected to conventional sintering process by keeping them in the annealing furnace at 550 °C for 45 minutes. The microstructure, density, microhardness and compressive strength properties of the manufactured samples were determined and compared among themselves. As a result of the evaluations, it was determined that the porosity ratios of the samples decreased and the experimental densities increased

1423

accordingly with the increase of the compression pressure. In addition, it was determined that the change in the microstructure properties of the samples with increasing pressure ratio caused an improvement in the microhardness (80→148HV) and compressive strength (221→508MPa) values. As a result of the results obtained, it was concluded that the conventional sintering of the samples, which were converted into green compact with the appropriate pressure ratio, could produce materials suitable for use in today's technology.

Keywords: Powder Metallurgy Technique, Green Compact, Al-Cu Alloys

I. GİRİŞ

Günümüzde toz metalürjisi (T/M) yöntemi, tasarım ve imalat özellikleri bakımından üretimi zor olan parçaların minimum tolerans değeri ile daha ekonomik halde üretilmesi işleminde kullanılan bir tekniktir. T/M yöntemi, imalatı planlanan malzemenin toz formuna getirilerek istenilen şekle dönüştürülmesine dayanan bir yöntemdir. Bu yöntem toz üretimi, üretilen tozların karıştırılması, tozların sıkıştırılması, belirlenen sıcaklık ve sürede sinterlenmesi ve çok az düzeyde çapak alma aşamalarından oluşan bir yöntemdir. Uygulama sırasında üretimi planlanan metalik alaşım tozlarının homojen olarak dağılımı sağlanarak, sinterlemenin etkisi ile daha rijit ve daha az gözenekli bir ürün elde edilmektedir [1], [2]. Çalışma koşullarına göre T/M yöntemi ile üretilen malzemelerin mukavemet, sertlik ve aşınma dayanımı gibi mekanik özelliklerinin yanı sıra, gözeneklilik ve yüzey hassasiyeti gibi fiziksel özelliklerinin istenilen düzeyde belirlenebilmesi, bu yöntemi esnek duruma getirmektedir [3].

Alüminyum ve alaşım tozlarının, düşük basınç ile şekillenebilirliğe, yüksek mukavemet-ağırlık oranlarına, yüksek elektrik ve ısı iletkenliklerinin yanı sıra iyi korozyon direncine sahip olmaları sayesinde, T/M yöntemi ile üretimlerde kullanımı oldukça yaygındır [4-7]. Özellikle hafif olması nedeniyle bir aracın ağırlığının 100 kg'a kadar hafifletilmesi mümkün olup, her 100km'de 0,3 - 0,4 litre arası yakıt tasarrufu sağlayabilmektedir [8]. Bu özelliklerinden dolayı Al otomotiv, uçak ve uzay endüstrisi başta olmak üzere birçok yapıda yaygın olarak kullanılmaktadır. Fakat saf Al malzemenin yeterli mekanik özelliklere sahip olmaması birçok elementle alaşım haline getirilmesine neden olmuştur. Alüminyum içerisine değişen oranlarda Cu, Si, Mg, Nb, Ti gibi elementlerin ilave edilmesi ile elde edilen alaşımların mekanik özelliklerinde gelişmeler görüldüğü tespit edilmiştir [9], [10].

Cu esaslı malzemelerin yoğunluklarına göre dayanımlarının düşük olduğu bilinmektedir. Ancak alaşımlandırdıktan sonra yaşlandırma ile sertleştirilme kabiliyetinden dolayı, Al için birincil alaşım elementi olarak tercih edilmektedir. Ayrıca yüksek elektrik ve ısı iletkenliğine sahip olan Cu elementinin, Al alaşımları üzerinde, dayanım ve fiziksel özellikler bakımından çok büyük etkiye sahip olduğu bilinmektedir. Bu yüzden T/M yöntemi üzerinde yapılan çalışmalarda yaygın olarak Al-Cu alaşımları kullanılmıştır [11]. Bu çalışmada yüksek mukavemet ve fiziksel özelliklerin ön planda olması istenildiğinden Al-Cu alaşımı üzerinde durulacaktır.

Al-Cu alaşımlarının T/M yöntemi ile üretimi üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde, Al içerisine %5 Cu ilavesine kadar alaşımın hem sertlik hem de aşınma direncinin çözümlü sertleşmesi nedeniyle önemli ölçüde arttığı belirtilmiştir [12]. Bunun yanı sıra Al-Cu alaşımlarında Cu içeriğinin %5'den fazla olması durumunda meydana gelen değişimleri inceleyen çalışmalarda bulunmaktadır. Geleneksel döküm yöntemi kullanılarak Cu içeriğinin artması ile Al-Cu alaşımlarında meydana gelen değişimleri inceleyen çalışmada, artan Cu içeriği ile alaşımların sertliğinin arttığı gözlemlenmiştir. Sözü edilen çalışmada Al-15Cu, Al-33Cu ve Al-40Cu alaşımlarının mikro sertlik değerleri sırası ile 89, 193 ve 234 HV olarak belirlenmiştir [13]. T/M yöntemi kullanılarak 550°C sıcaklıkta 3 saat sinterleme yapılarak üretilen Al/Al-5-10-15Cu fonksiyonel dereceli malzeme üretimi üzerine yapılan çalışmada ise Cu içeriğinin artması ile Al₂Cu bileşiğinin oluşumunun arttığı belirlenmiştir [14].

Bilindiği gibi dayanım, süneklik ve iletkenlik gibi özellikler yoğunluğa yani gözeneklilik ve gözenek yapısına bağlıdır [15]. Bu nedenle T/M yöntemi ile üretilen numunelerin karakteristik özelliklerini etkileyen en önemli unsur sinterleme sonrası yoğunluk değerleridir. Yoğunluk değeri üzerinde yapılan çalışmada, Al ve Cu tozlarından üretilmiş olan (AA2014), elemental alaşım numunelerin sinterleme

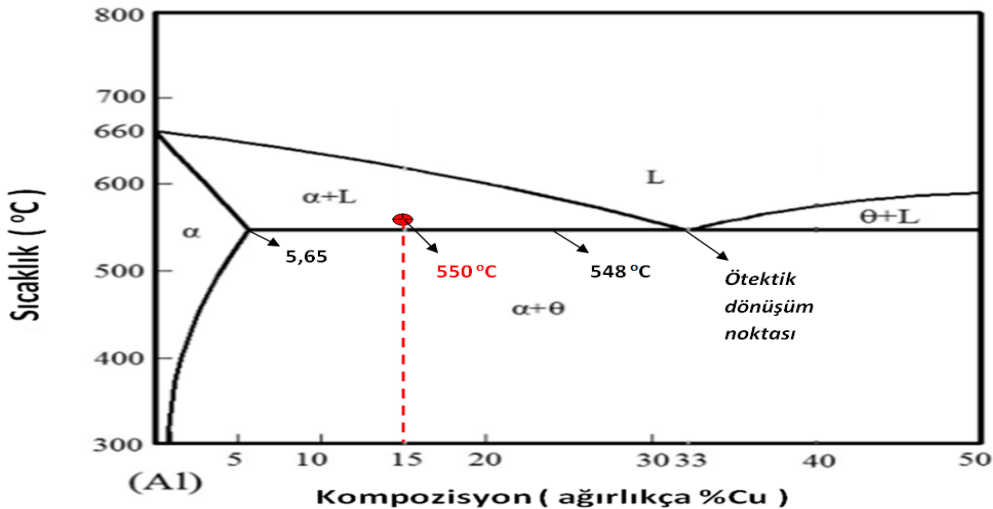
(600°C, 610°C, 620°C) sonrasında yoğunluklarının %3 ile %5 arasında arttığı gözlemlenmiştir [16]. Başka bir çalışmada ise Al-4Cu alaşım tozlarından üretilen malzemelerin sinterleme süresinin sertlik (HB) değerlerini etkilemediği, fakat eğme dayanımlarını değiştirdiği gözlemlenmiştir [17]. Bunun yanı sıra Al-4,5Cu-0,5Mg-0,7Si kullanarak elde edilen alaşım ile yapılan çalışmada, yoğunluk değerleri dikkate alınarak en uygun üretim parametrelerinin 400 MPa sıkıştırma basıncı ve 600°C sinterleme sıcaklığı ve 40 dk sinterleme süresi olduğu tespit edilmiştir [18].

Yoğunluğu etkileyen diğer bir unsur da sinterleme öncesi tozların sıkıştırılması işlemidir. Bu işlem için uygun sıkıştırma basıncı belirlenerek tozların kalıp içerisine düzgün bir şekilde paketlenmesi sağlanmaktadır. Bu konuda yapılan çalışmada Al-4,5Cu alaşım tozlarından üretilen numuneler 200, 280 ve 350 MPa basınç altında sıkıştırdıktan sonra geleneksel sinterleme işlemine tabi tutulmuş ve basınç değerlerinin artmasıyla gözenek değerlerinin düştüğü kanıtlanmıştır [6]. Benzer bir çalışmada 400 MPa basınç altında preslenerek ham pelet hale getirilen Al-5Cu alaşımının, 590°C'de 1,5 saat nitrojen ortamında sinterlenmesi sonucu 50 HV sertlik değerine ulaşıldığı belirtilmiştir [8].

Yukarıda belirtilen özellikler göz önünde bulundurulduğunda, Al-Cu alaşımının farklı oranlarda sıkıştırılması ile elde edilen malzemelerin mikro yapı, mikro sertlik, yoğunluk ve basma dayanım değerlerinin araştırılması ve yapılan değerlendirmeler sayesinde T/M yöntemi kullanılarak daha verimli malzemelerin üretilmesine katkıda bulunulması amaçlanmaktadır.

II. MATERYAL VE METOT

Bu çalışma, genel olarak ham pelet oluşturmak için uygulanan sıkıştırma basıncı oranının, T/M yöntemi ile üretilen Al-Cu alaşımının mikro yapı ve mekanik özelliklerindeki değişimi üzerine hazırlanmıştır. Bu nedenle, araştırmanın net bir şekilde yürütülebilmesi ve herhangi bir belirsizliğe yol açmaması için Al-Cu alaşımının Cu içeriği ve sinterleme sıcaklığı sabit bir değer olarak alınmıştır. Bu değerler belirlenirken Şekil 1'de gösterilen Al-Cu ikili faz diyagramından faydalanılmıştır. Diyagram incelendiğinde $\alpha \rightarrow (\text{Al}'\text{ce zengin faz})$ bölgesinin ağırlıkça maksimum %5,65 bakır içeriğini bünyesinde çözüldüğünü, Cu içeriğinin artması ile farklı sıcaklıklarda farklı faz oluşumlarının meydana geldiği görülmektedir. Kritik dönüşüm çizgisi olarak adlandırabileceğimiz 548 °C sıcaklıkta bulunan yatay çizgi takip edildiğinde, %33 bakır içeriğinde ötektik dönüşüm noktası ile karşılaşıldığı ve burada soğuma sırasında sıvı bölgeden iki ayrı katının oluştuğu bölgeye ($\alpha + \theta$) geçildiği gözlemlenmektedir. Bu noktanın sağ tarafında (ötektik üstü bölge) kritik dönüşüm çizgisinin üstünde kalan alan ($\theta (\text{Al}_2\text{Cu}) + \text{L}$) incelendiğinde, Cu elementinin belirli miktarda katı olarak bulunduğu faz görülmektedir. Sol tarafında (ötektik altı bölge) kritik dönüşüm çizgisinin üstünde kalan alanda ($\alpha + \text{L}$) ise Al elementinin belirli miktarda katı olarak bulunduğu faz görülmektedir.



Şekil 1. Al-Cu ikili denge diyagramı [19]

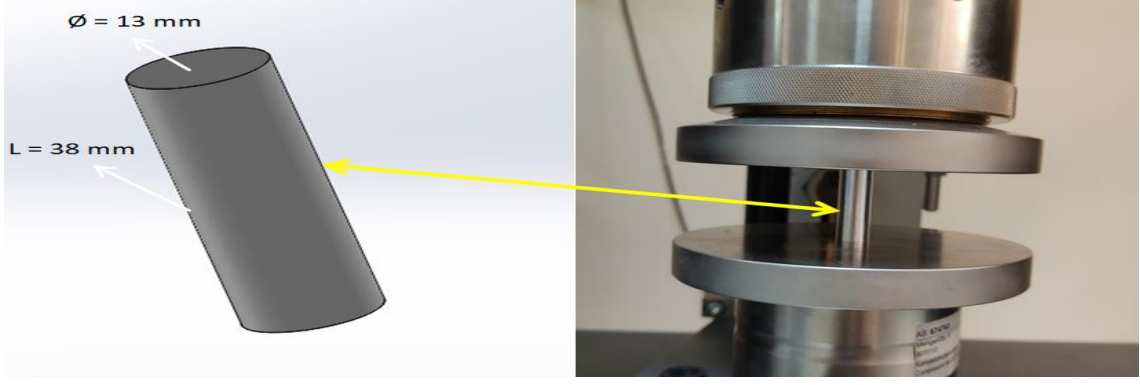
Yapılan çalışmada, sinterleme işlemi sırasında mümkün olduğu kadar numunelerin sıvı faza geçiş yapmaması ve bu doğrultuda genleşmeye maruz kalmamaları istenmiştir. Geleneksel sinterleme sırasında sıvı faz oluşumunun baskınlığı durumunda alaşımın gözeneklilik oranı artar ve buna bağlı olarak yoğunluk değerleri düşer. Aynı zamanda mekanik özelliklerinde büyük bir kayıp meydana gelir. Bu nedenle T/M yönteminde Al-Cu alaşımlarının ham pelet oluşumunda sıkıştırma basıncının etkisi araştırılırken herhangi bir değişkenliğe yol açmaması için Al elementinin yüksek oranda katı olarak bulunması öngörülmüştür. Bu kapsamda Al-Cu alaşım oranının kritik dönüşüm çizgisinin hemen üstünde ve ötektik altı bölgenin merkezinde bulunması planlanmıştır. Bu plan doğrultusunda araştırmada, Al içerisine ağırlıkça %15 Cu ilavesi yapıp 550 °C/45dk geleneksel sinterleme işlemi uygulanarak Al-15Cu alaşımının üretilmesinin ve farklı sıkıştırma oranlarının bu alaşım üzerinde uygulanmasının doğru bir seçim olacağı kanaatine varılmıştır.

Al-Cu alaşım oranının ve sinterleme parametrelerinin belirlenmesi süreci sonrasında, ticari olarak elde edilen 44 µm boyutlarında ve % 99 saflıktaki Al ve Cu tozları mekanik olarak karıştırılmıştır. Bilyeli karıştırıcı vasıtasıyla kendi içerisinde homojen olarak dağılan toz partikülleri 300°C sıcaklıkta ön ısıtma işlemine tabi tutulmuştur. Bu işlemle birlikte partiküller üzerinde bulunan oksit tabakasının kısmen kırılması ve nem içeriklerinin giderilmesi planlanmıştır. Ön ısıtma işlemi sonrasında elde edilen alaşım tozları, özel olarak tasarlanmış ve iç yüzeyleri çinko stearat ile yağlanmış olan kalıp içerisine sistemli bir şekilde istiflendirilmiştir. İstifleme işlemi sonrasında üst zımba kalıba yerleştirilerek şekil 2’de gösterildiği gibi 2000 kN kapasiteli UTEST marka basma cihazı vasıtasıyla sıkıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Al-15Cu alaşım tozlarının sıkıştırılması işleminde, ayrı ayrı 350, 470 ve 600 MPa basınç uygulaması yapılarak üç farklı ham pelet numune elde edilmiştir. Elde edilen numuneler önceden belirlenmiş olan parametreler kullanılarak sinterlenerek havada soğutulmuştur. Üretim aşamalarının tamamlanması ile yaklaşık 80 mm uzunluğunda ve 20 mm çapında numuneler elde edilmiştir.



Şekil 2. Al-15Cu alaşım tozlarının sıkıştırılma işlemi

Uygulanan her aşamada alınan numuneler, zımparalama ve parlatma işlemi sonrasında uygun görüldüğü yerde Keller kimyasalında (1 ml HF, 1,5 ml HCl, 2,5ml HNO₃, 95 ml H₂O) ve Weck kimyasalında (100ml su, 4gr KMnO₄, 1gr NaOH) dağlanmıştır. Dağlama işlemi sonrasında, numunelerin mikro yapısı Nikon marka optik mikroskop kullanılarak incelenmiş, sertlikleri ise Wellmess WM-MCV-1A cihazında 100gf yük altında en az 6 kez tekrarlanan ölçümlerin ortalaması alınarak belirlenmiştir. Bunun yanı sıra malzemelerin deneysel yoğunluk değerleri Arşimet yöntemi kullanılarak hesaplanmış ve teorik yoğunluk değerleri ile karşılaştırılmıştır. Son olarak Şekil 3’de gösterildiği gibi ASTM E 9 standartlarında hazırlanan numunelere, Zwick Z100 marka basma cihazında basma testi uygulanarak deneysel çalışmalar tamamlanmıştır.

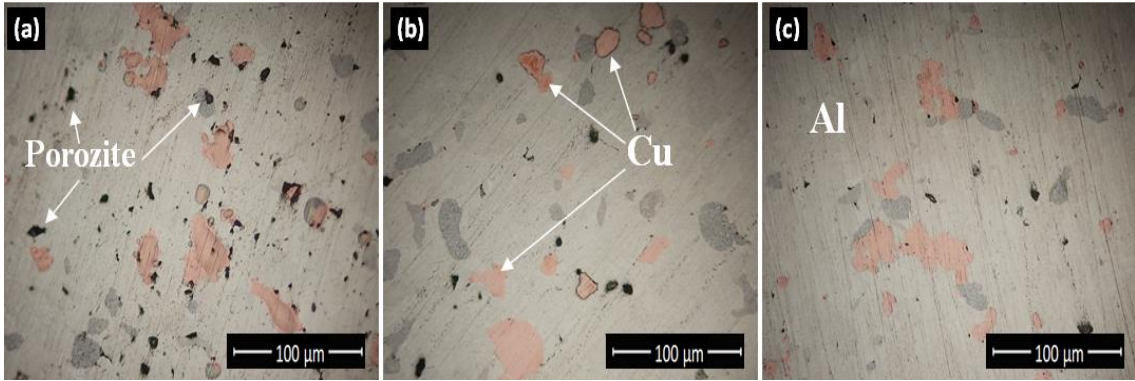


Şekil 3. Elde edilen numunelerin basma deneyi görüntüleri

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

A. MİKRO YAPI VE FİZİKSEL ÖZELLİKLER

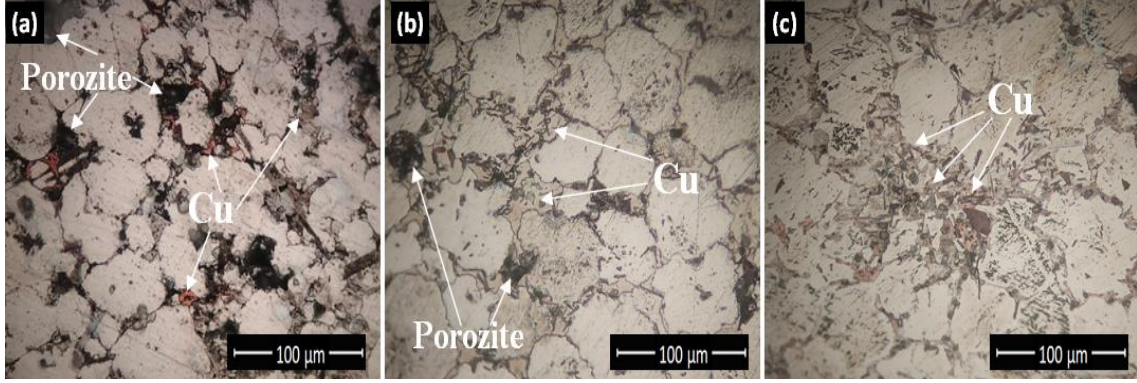
Şekil 4a-c’de Al-15Cu alaşım tozlarının 350, 470 ve 600 MPa basınç altında sıkıştırılmasıyla elde edilen ham pelet numunelerin mikro yapı görüntüleri sergilenmektedir. Alınan görüntüler incelendiğinde, ortalama 44µm boyutuna sahip muhtemel Cu tozlarının Al içerisine dağıldığı ve uygulanan basıncın artmasıyla toz partiküllerinin birbirine yaklaştığı, hatta yakın konumda bulunan tozların birleştiği belirlenmiştir. Şekil 4a’da 350 MPa basınç altında sıkıştırılan numune görüntüsü ele alındığında, oklarla gösterilen gözeneklerin Cu partiküllerinin etrafında ve Al içerisinde olduğu gözlemlenmiştir. Sıkıştırma işleminin 470 MPa basınç altında gerçekleştirildiği şekil 4b’deki mikro yapı görüntüsünde, Cu partiküllerinin daha çok elipsel bir şekil aldığı ve azalan gözeneklerin kısmen Cu partiküllerinin etrafını sardığı belirlenmiştir. Bunun yanı sıra gözeneklerin Al içerisinde bir miktar irileştiği tespit edilmiştir. 600 MPa basınç altında sıkıştırılan numunede ise Cu partiküllerinin deforme olarak birbirlerine yaklaştığı ve gözeneklerin Al ve Cu partikülleri arasında çok az sayıda bulunduğu gözlemlenmiştir.



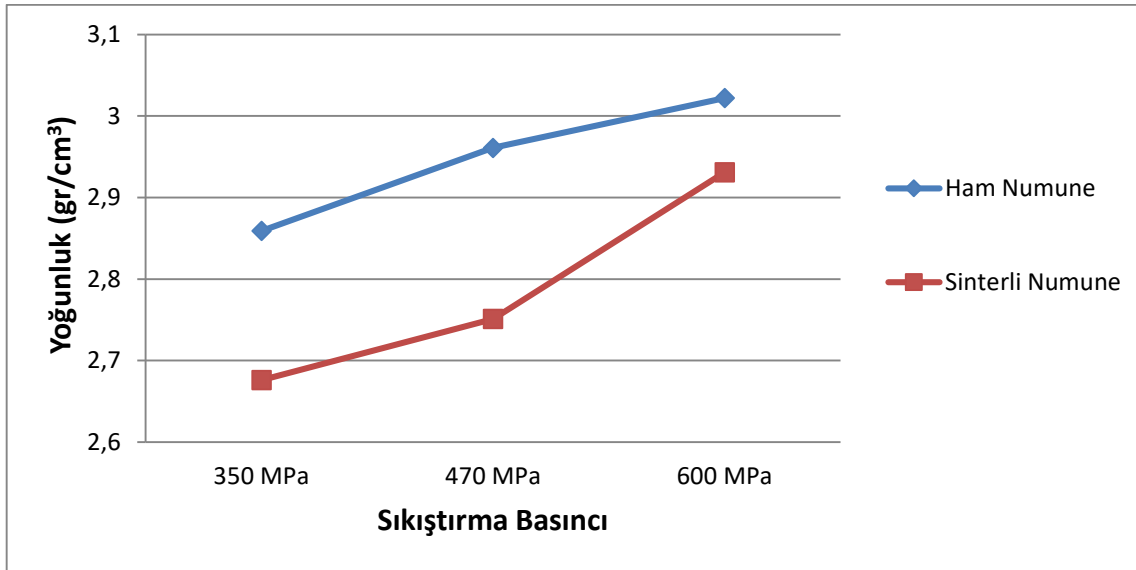
Şekil 4. Farklı basınç oranlarında sıkıştırılan ham pelet numunelerin mikro yapı görüntüleri, a) 350 MPa, b) 470 MPa, c) 600 MPa

Ham pelet hale getirilen numunelerin 550 °C/45 dk. sinterlenme işlemi sonrasında elde edilen mikro yapı görüntüleri Şekil 5a-c’de sergilenmektedir. Şekil 5a’da Cu tozlarının sinterleme işleminde uygulanan sıcaklığın etkisiyle parçalanarak Al tane sınırlarına yerleştiği gözlemlenirken, gözeneklerin varlığının devam ettiği bariz bir şekilde belirlenmiştir. Şekil 5b’de sergilenen mikro yapı görüntüleri incelendiğinde, Cu partiküllerinin kısmi olarak ergimesi ile Al tane sınırlarına yayıldığı gözlemlenirken, Şekil 5c’deki mikro yapı görüntüsünde ise Cu partiküllerinin daha küçük parçalara ayrılarak Al tane

içlerine kadar dağıldığı belirlenmiştir. Aynı oranda alaşımlandırılan ve aynı parametrelerde sinterlenen Al-Cu alaşımında, Cu elementinin mikro yapı içerisinde farklı özelliklerde dağılım göstermesinin altında yatan en önemli neden, toz formlarının farklı basınç oranlarında sıkıştırılması olarak karşımıza çıkmaktadır. Alaşım tozlarının yüksek basınç oranlarıyla sıkıştırılarak ham pelet hale getirilmesi, sinterleme sırasında aktivasyon enerjilerini artırmaktadır [20]. Bu bağlamda Al tozlarından daha düşük deformasyon yeteneğine sahip olan Cu tozları, yüksek basınç altında sıkıştırıldıklarında, sıcaklığa karşı etkin bir enerjiye sahip olurlar. Bu enerji birikimi katı+sıvı bölgesinde bulunan bir sıcaklık değeri ile karşılaşarak, Al-Cu alaşımının kimyasal etkileşim özelliklerini büyük ölçüde iyileştirmiştir. Böylelikle Al-Cu alaşım tozlarının 600 MPa basınç altında sıkıştırılarak sinterlenmesi işlemi sonucunda, Cu'nun mikro yapıda Al içerisine daha ince taneli bir yapı halinde dağılması beklenen bir özellik olarak karşımıza çıkmaktadır.



Şekil 5. Farklı basınç oranlarında sıkıştırılan ham pelet numunelerin 550 °C/45 dk. sinterlendikten sonra elde edilen mikro yapı görüntüleri a) 350 MPa, b) 470 MPa, c) 600 MPa



Şekil 6. Farklı basınç oranlarında sıkıştırılan numunelerin yoğunluk grafiği

Sinterleme öncesi ve sonrası elde edilen mikro yapı görüntüleri incelendiğinde, sıkıştırma basıncının artması ile gözenek oluşumunun azaldığı gözlemlenmiştir. Bu gözlemin netleştirilmesi ve üretilen malzemelerin kendi aralarında kıyaslanabilmesi açısından elde edilen numunelerin her aşamasında yoğunluk değerleri tespit edilmiştir. Şekil 6'da sergilenen ham ve sinterli numunelerin deneysel yoğunluk değerleri incelendiğinde, sıkıştırma basıncının artmasıyla yoğunluk değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. Fakat sinterleme sonrası numunelerin yoğunluk değerlerinin (ρ_s), ham numunelerin yoğunluk değerlerinden (ρ_g) daha düşük olduğu belirlenmiştir. Bu durumun, sinterlemenin etkisiyle

Cu elementinin kısmen sıvı duruma geçerek numunelerin genişmesine yol açmasından kaynaklandığı tahmin edilmektedir.

Al-15Cu alaşımının farklı süreçlerde elde edilen yoğunluk değerleri Tablo 1’de verilmektedir. Al ve Cu elementinin kütle ve hacim değerlerinin bilinmesi ile elde edilen Eşitlik 1 kullanılarak yapılan hesaplamalar sonucunda bu alaşımının teorik yoğunluk değerinin (ρ_t) $3,047 \text{ gr/cm}^3$ olduğu belirlenmiştir. 600 MPa basınç altında sıkıştırılan numunenin ρ_g değerinin, ρ_t değerine çok yaklaştığı tespit edilmiştir. Ancak uygulanan sinterleme işlemi, yoğunluk değerinde bir düşüşe yol açarak %3,8 oranında gözenek oluşumuna neden olmuştur. Bu oluşum 350 ve 470 MPa sıkıştırma basıncı sonrası üretilen numunelerde sırasıyla %12,17 ve %9,71 oranında belirlenmiştir.

$$\rho_t = \frac{m_{Al} + m_{Cu}}{V_{Al} + V_{Cu}} \quad (1)$$

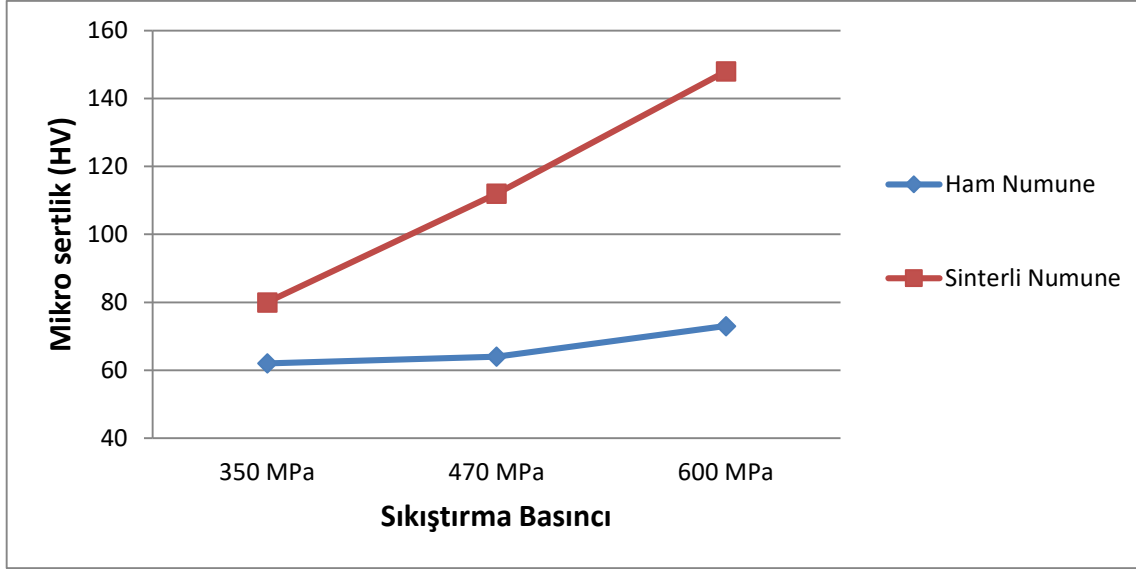
Tablo 1. Farklı basınç oranlarında sıkıştırılan numunelerin yoğunluk değerleri

Numuneler	ρ_t (gr/cm^3)	ρ_g (gr/cm^3)	ρ_s (gr/cm^3)
Al-15Cu (350 MPa)	3,047	2,859	2,676
Al-15Cu (470 MPa)	3,047	2,961	2,751
Al-15Cu (600 MPa)	3,047	3,022	2,931

B. MEKANİK ÖZELLİKLER

Mikro yapısal ve fiziksel incelemeler sonucunda elde edilen bulguların, numunelerin mekanik özellikleri ile örtüşüp örtüşmediğinin belirlenebilmesi için, üretim aşamalarında alaşımın mikro sertlik değerleri ölçülmüştür. Şekil 7’de oluşturulan mikro sertlik grafiği incelendiğinde, 350, 470 ve 600 MPa basınç altında sıkıştırılarak elde edilen ham numunelerin sinterleme işlemi sonrasında ölçülen sertlik değerleri sırasıyla 80, 112 ve 148 HV olarak belirlenmiştir. Farklı basınç oranlarıyla sıkıştırılarak elde edilen yüksek yoğunluğa sahip Al-15Cu alaşımlı ham numunelerin ortalama sertlik değeri ise 66 HV olarak belirlenmiştir. Sinterlemenin etkisiyle alaşım tozları arasında oluşan bağın ve kimyasal aktivasyonun artması sonucunda, sinterlenen numunelerin her basınç değeri için ölçülen sertlik değerleri ham numunenin sertlik değerinden fazla çıkmıştır. Tozların sıkıştırılması sonucunda oluşan ham numunelerin kohezyon etkileşimi sayesinde bir bütün oluşturdukları ve ölçülen sertlik değerlerinin büyük oranda sıkıştırma sırasında uygulanan basınca bağlı olarak değiştiği bilinen bir gerçektir. Bu nedenler doğrultusunda, Al-15Cu alaşımının T/M yöntemi ile üretim aşamalarında sinterleme sonrasındaki sertlik değeri, ham numunelerin sertlik değerinden yüksek ölçülmüştür.

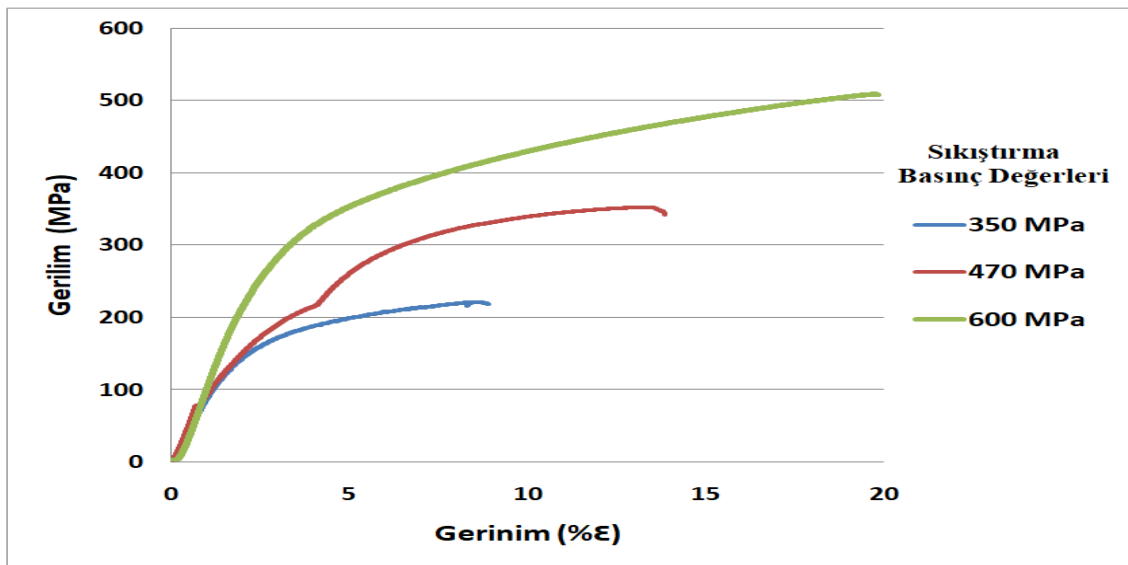
Elde edilen veriler ışığında, sıkıştırma basıncının etkisiyle sinterleme aşamasında Cu elementinin Al içerisinde ince taneler şeklinde dağılmasının bölgesel sertlik değerini artırdığı ve böylelikle sinterleme sonrası sertlik değerlerinin çarpıcı bir şekilde yükseldiği belirlenmiştir. Bu çerçevede, Cu dağılımının düzenli olduğu bölgelerden alınan sertlik değerleri incelendiğinde, ortalama sertlik değerlerinin yaklaşık %10’u kadar yüksek bir sertlik değeri ile karşılaşılmıştır.



Şekil 7. Sinterli ve ham numunelerin sıkıştırma basıncı-mikro sertlik grafiği

Farklı basınç parametreleri ile sıkıştırıldıktan sonra aynı parametrelerle sinterlenen numunelerin mikro sertlik ölçümleri değerlendirildikten sonra, bu ölçüm sonuçlarının desteklenebilmesi adına numunelere basma testi uygulanmış ve dayanım değerlerindeki değişimler araştırılmıştır. Şekil 8’de basma testi sonucunda elde edilen veriler grafik halinde sergilenmiş olup, 350, 470 ve 600 MPa basınç altında sıkıştırılan numunelerin sinterleme sonrası maksimum basma dayanımı değerleri (σ_{max}) sırasıyla 221, 352 ve 508 MPa olduğu tespit edilmiştir. 350 MPa sıkıştırma basıncı ile üretilen numune referans olarak kabul edildiğinde, artan basınç değerleri ile birlikte üretilen numunelerin σ_{max} değerleri sırasıyla %60 ve %45 oranında artmıştır. Bunun yanısıra numunelerin yüzde şekil değiştirme miktarı ($\% \epsilon$) incelendiğinde sıkıştırma basıncının artması ile şekil değiştirme miktarının arttığı gözlemlenmiştir. Herbir basınç değeri için şekil değiştirme miktarı yaklaşık olarak 350 MPa - %8,5, 470 MPa - %13,5 ve 600 MPa - %19,7 olarak belirlenmiştir.

Böylelikle, Al-15Cu alaşımının sinterlenmesi sonrası test edilen basma dayanım değerleri, önceden tespit edilen yoğunluk ve mikro sertlik değerleri ile tam olarak örtüşmekte olup, sıkıştırma oranındaki artışın basma dayanım özelliklerini de geliştirdiği ortaya konulmuştur.



Şekil 8. Farklı basınç oranlarında sıkıştırılan numunelerin gerilim-gerinim grafiği

IV. SONUC

Bu çalışma, T/M yöntemi ile üretilen Al-15Cu alaşımının ham pelet hale dönüştürülmesi işleminde kullanılan sıkıştırma basıncının, üretim sonunda malzemelerin karakteristik özelliklerindeki değişimini incelemektedir. Bu kapsamda hazırlanan Al-15Cu alaşım tozları 350, 470 ve 600 MPa basınç altında ayrı ayrı sıkıştırılıp, 550°C sıcaklıkta 45 dk sinterlendikten sonra her üretim aşamasında elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi değerlendirilmiştir.

1. Sıkıştırma işlemi sonucunda elde edilen ham pelet numunelerin yoğunluk oranları, uygulanan basınç oranının artması ile artış göstermiştir. Aynı zamanda mikro yapı incelemelerinde, sıkıştırma basıncının artmasıyla Cu partiküllerinin elipsel şekle dönüştüğü ve Al içerisinde birbirlerine yaklaştığı tespit edilmiştir.
2. Elde edilen ham numunelerin sinterlenmesi sonucunda kısmi sıvılaşıma süreci nedeniyle yoğunluklarında bir azalma gözlemlenmiş olup, buna rağmen teorik yoğunluğa en yakın değere 600 MPa sıkıştırma basıncı işlemi sonucunda ulaşıldığı belirlenmiştir. Sinterleme işlemi sonrasında elde edilen mikro yapı incelemelerinde basınç oranındaki artış ile Cu partiküllerinin kimyasal aktivitesinin arttığı ve Al tane sınırlarından tane içlerine doğru dağıldığı gözlemlenmiştir.
3. Sinterlenen Al-15Cu alaşımının mekanik özellikleri incelendiğinde, sıkıştırma basıncındaki artış ile mikro sertlik ve basma dayanımlarının arttığı gözlemlenmiştir. Uygulanan en düşük ve en yüksek sıkıştırma basınç oranlarına göre mikro sertlik değerinin yaklaşık %80 oranında, basma deneyi sonrası σ_{max} ve $\% \epsilon$ değerinin %130 oranında artmış olduğu belirlenmiştir.

TEŞEKKÜR: Bu çalışma Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından desteklenmiştir (2021/1-16 YLS).

V. KAYNAKLAR

- [1] Ö. Özgün and A. Erçetin, "Microstructural and mechanical properties of Cr - C reinforced Cu matrix composites produced through powder metallurgy method," Turkish J. Nat. Sci., vol. 6, no. 2, pp. 2–7, 2017.
- [2] S. Korucu ve G. Soy, "Alüminyum matrisli kompozitlerde tungsten karbür ve grafen takviyelerinin mekanik özelliklere etkileri üzerine bir araştırma," Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknol. Derg., c. 5, ss. 538-547 Düzce, 2017.
- [3] N. S. Köksal, F. Taştan, "Demir esaslı malzemelere Cu ve Ni ilavesi ile mekanik özelliklerin değişimi," c. 1, ss. 55–64, 2008.
- [4] A. V Sameljuk, O. D. Neikov, A. V Krajnikov, Y. V Milman, and G. E. Thompson, "Corrosion behaviour of powder metallurgical and cast Al – Zn – Mg base alloys," Corros. Sci., vol. 46, pp. 147–158, 2004.
- [5] T. Qiu, M. Wu, Z. Du, G. Chen, L. Zhang, and X. Qu, "Microstructure evolution and densification behaviour of powder metallurgy Al-Cu-Mg-Si alloy" vol. 63, no. 1, pp. 54-63, 2020.
- [6] K. N. Manjunath and G. B. Krishnappa, "Mechanical characterization of Al-Cu alloy produced using conventional sintering process," Mater. Today Proc., vol. 5, no. 1, pp. 3019–3026, 2018.




- [7] U. Avcı and A. Güleç, "Effect of different sintering temperatures on microstructure and mechanical properties for pure Al material produced by powder metallurgy," *El-Cezeri J. Sci. Eng.*, vol. 2021, no. 1, pp. 462–470, 2021.
- [8] A. Gökçe, F. Findik, and A. O. Kurt, "Microstructural examination and properties of premixed Al-Cu-Mg powder metallurgy alloy," *Mater. Charact.*, vol. 62, no. 7, pp. 730–735, 2011.
- [9] H. Wang, R. Zhang, X. Hu, C. A. Wang, and Y. Huang, "Characterization of a powder metallurgy SiC/Cu-Al composite," *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 197, no. 1–3, pp. 43–48, 2008.
- [10] K. Köprülü, N. Mutlu, A. Kurt, B. Gülenç, Y. Özçatalbaş, "Al + %4,5 Cu ön karışimli tozların alaşımlanmasına ısıl işlemlerin etkisi," *Gazi Üniversitesi Fen Bilim. Derg. Part C Tasarım ve Teknol.*, c. 6, s. 2, ss. 283–293, 2018.
- [11] G. B. Schaffer, T. B. Sercombe, and R. N. Lumley, "Liquid phase sintering of aluminum alloys," *Mater. Chem. Phys.*, vol. 67, no. 1–3, pp. 85–91, 2001.
- [12] A. M. Hassan, A. T. Mayyas, A. Alrashdan, and M. T. Hayajneh, "Wear behavior of Al-Cu and Al-Cu/SiC components produced by powder metallurgy," *J. Mater. Sci.*, vol. 43, no. 15, pp. 5368–5375, 2008.
- [13] X. Liu, P. Ma, Y. D. Jia, Z. J. Wei, C. j. Suo, P. C. Ji, X. R. Shi, Z. S. Yu, K.G. Prashanth, "Solidification of Al-xCu alloy under high pressure," *Journal of Materials Research and Technology.*, vol. 9, no. 3, pp. 2983–2991, 2020.
- [14] K. Rajasekhar, V. S. Babu, M. J. Davidson, "Interfacial microstructure and properties of Al-Cu functionally graded materials fabricated by powder metallurgy method," *Material Today: Proceedings*, vol. 46, no. 1, pp. 9212-9216, 2021.
- [15] M. A. Erden, S. Barlak, B. Adalı ve Ö. Çelikkıran, "Toz metalurjisi ile üretilen Nb-V mikroyapılı çeliğine vanadyum ilavesinin mikroyapı mekaniksel özellikleri üzerine etkisi," *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknol. Derg.*, c. 9, s. 1, ss.629–636, 2018.
- [16] K. N. M. Al-Obaidi and R. Varol, "Experimental investigation of P/M parts manufacturing conditions using AA2014 and elemental Al and Cu powders," *Mühendislik Bilim. ve Tasarım Derg.*, vol. 6, no. 4, pp. 701–706, 2018.
- [17] A. Gökçe, F. Findik ve A. O. Kurt, "Alüminyum ve alaşımlarının toz metalurjisi işlemleri," *Engineer&Machinery*, c. 58, s. 686, ss. 21–47, 2017.
- [18] M. Çelik, M. Türker, "Al-Cu esaslı tozlardan toz metalurjisi yöntemi ile malzeme üretimi ve yaşlandırma tavrının incelenmesi," *Politek. Derg.*, c. 8, s. 3, ss. 275–279, 2005.
- [19] X. R. Shi, Z. S. Yu, and K. G. Prashanth, "Solidification of Al-xCu alloy under high pressures," *J. Mater. Res. Technol.*, vol. 9, no. 3, pp. 2983–2991, 2020.
- [20] D. Wogaso, M. J. Davidson, and A. K. Khanra, "Constitutive modeling of powder metallurgy processed Al – 4 % Cu preforms during compression at elevated temperature," *J. Mater.*, vol. 65, pp. 83–93, 2015.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Farklı Vektörleştirme ve Ön İşlem Yöntemleri ile Talep Sınıflandırma

 Halil ARSLAN^a,  İbrahim Ethem DADAŞ^b,  Yunus Emre IŞIK^{c*}

^a Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas, TÜRKİYE

^b Detay Danışmanlık Bil. Hiz. San. Dış Tic. A.Ş, İstanbul, TÜRKİYE

^c Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas, TÜRKİYE

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

DOI: 10.29130/dubited.1017422

ÖZ

Firmalarda, ihtiyaçlara yönelik gelen taleplerin doğru şekilde işlenmesi hem iş sürecini hızlandırır hem de ortaya çıkabilecek sorunları bertaraf eder. Geliştirme, destek, sorun çözme gibi farklı konulardaki taleplerin, verimli ve doğru kişilerce çözülmesi için öncelikle ilgili alt departmana yönlendirilmesi gerekir. Yönlendirmeler belirli kişilerce elle gerçekleştirilebilir. Ancak firma büyüklüğüyle doğru orantılı olarak gelen talep sayısının çok olması süreci zorlaştırıp zaman kaybına yol açmaktadır. Özellikle bilişim sektöründe hizmet veren kurumsal firmalarda taleplerin otomatik olarak alt-departmanlara aktarılabilmesi, işin verimliliğinin ciddi şekilde artırılabilir. Bu ihtiyacın giderilmesi için metni işleyerek içerisinden kolaylıkla bilgi çıkarımını sağlayabilen metin madenciliği ve makine öğrenmesi yöntemleri kullanılabilir. Çalışmamızda, Detaysoft Danışmanlık firmasına ait gelen taleplerin doğru şekilde alt departmana yönlendirilmesini sağlayan bir sistem önerilmiştir. Sistem performansının ölçülebilmesi amacıyla gerçek müşteri taleplerinden oluşan 2103 veri toplanmış ve işaretlenmiştir. Toplanan verilerin varsayımlardan bağımsız olarak doğru şekilde işaretlenmesi için de veriye göre sınıf etiketlerinin belirlendiği temellendirilmiş teoriden faydalanılmıştır. Ham metinlerin vektörleştirilmesi için kelime çantası ve türevlerinin (TF, TFIDF) yanı sıra GloVe ve Word2Vec gibi kelime gömme yöntemleri de denenmiş ve hangi vektörleştirme yönteminin daha başarılı olduğu irdelenmiştir. Ayrıca gereksiz kelimelerin ve sadece kelime köklerinin kullanılmasının talep sınıflandırmaya etkileri analiz edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda SVM algoritmasını kullanan modellerin %79 gibi iyi sayılabilecek bir başarımla gelen talebi doğru şekilde sınıflandırabildiği gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçların, talep sınıflandırma konularındaki gelecek çalışmalara hem vektörleştirme hem de ön işlem süreçleriyle alakalı ışık tutması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: talep sınıflandırma, metin vektörleştirme, makine öğrenmesi, metin madenciliği

Classification of Support Requests using Different Vectorization and Pre-Processing Methods

ABSTRACT

Processing support requests for needs enables both the acceleration of business processes and the elimination of problems that may arise. To ensure that requests for various topics such as development, support, and problem fixing are handled by the right person, the request should first be routed to the appropriate sub-department. This routing can be done manually by an expert. However, the large number of requests complicates business processes and leads to time loss depending on the size of the company. Therefore, automatic routing of incoming request to the right sub-department can significantly increase work efficiency, especially in companies operating in IT. Text mining and machine learning methods that process information in some form can help meet this need. In our study, a model was proposed to route incoming request belong to Detaysoft to the proper sub-departments. To measure

the performance of the system, 2103 data with real customer requests were collected and labeled. Grounded theory was used to correctly label the collected data regardless of the assumptions, where class labels are determined based on the data. For the vectorization of raw texts, Bag of Words such as TF, TF-IDF as well as word embedding methods such as GloVe and Word2Vec were tried to investigate which vectorization method is more successful. Also, the effects of using stop words and word stems on query classification were analyzed. As a result of the analysis, it was observed that the models using SVM algorithm can correctly classify the incoming requests with a performance of 79%, which can be considered reasonable. It is expected that the obtained results will shed light on future studies on request classification in the context of vectorization and preprocessing. It is expected that the results obtained will shed light on future studies on request classification studies related to both vectorization and preprocessing processes.

Keywords: support ticket classification, text vectorization, machine learning, text mining

I. GİRİŞ

Gelişen teknoloji ve azalan maliyetler neticesinde birçok işlem elektronik ortamda yürütülmekte ve veri olarak depolanmaktadır. Büyük ölçekte toplanan bu devasa boyuttaki veri yığını arasından anlamlı bilgilerin çıkartılarak kullanılabilir hale getirilmesi, sektörel birçok ihtiyacın çözülmesine de olanak tanır. Firmalar çıkarılan bilgileri kullanarak pazarlama, finans, üretim, süreç yönetimi gibi konularda karar mekanizmasını güçlendirir ve şirket içi verimliliği artırır. Özellikle bilişim sektöründe faaliyet gösteren firmalar için toplanan verilerin işlenmesi müşteri memnuniyeti, hizmet kalitesinin artırılması ve dolaylı olarak firmanın sektördeki yerini güçlendirmesini sağlar. Bu şekilde işlendiği takdirde firmaya yüksek katkı sağlayabilecek verilerden birisi de farklı kaynaklardan tamamlanmak üzere gönderilen görev ya da iş talepleridir.

Bilişim sektöründe görev talepleri, genellikle müşterilerin yaşadığı sorunların ya da geliştirme ve destek gibi ihtiyaçların çözülmesine yönelik metinlerden oluşur. Gelen talep yapılacak işin niteliğine göre firma içerisinde yer alan ilgili departmana ya da personele yönlendirilir. Böylece ihtiyacın çözümü sağlanmaktadır. Ancak talepte belirtilen işin hangi personel tarafından ifa edileceğinin belirlenmesi hem personelleri tanıyan hem de talebi anlayabilecek kadar konuya hakim bir uzman tarafından yapılmalıdır. Aksi takdirde talebin çözüm süresi uzayabilir. Bu durum müşteri memnuniyetinin azalmasına yanı sıra firma içi iş akışlarının da kesintiye uğramasına neden olur. Bu tarz problemler müşteri sayısı az olan ve görev talebi trafiğinin yoğun olmadığı ufak ölçekli firmalar için önem arz etmeyebilir. Çünkü ilgili talep belirlenen bir uzman tarafından hızlıca yönlendirilebilir. Ancak eğer firma çok fazla sayıda müşteriye hizmet veriyorsa, gelen taleplerin bir veya birkaç uzman tarafından doğru ve hızlı bir şekilde belirli bir personele atanması pek mümkün gözükmemektedir. Ortaya çıkan bu ihtiyacın otomatik olarak çözümlenebilmesi için gelen talep metnini veri olarak ele alan ve istenilen bilginin çıkartılmasına olanak sağlayan metin madenciliği temelli yaklaşımlardan yararlanılabilir.

Metin madenciliği; istenmeyen e-postaların engellenmesi, sosyal medya paylaşımlarının analizi, toplum fikrinin belirlenmesi, dil tanımlama, personel görev atama ve hatta öz-bildirime göre hastalık tahmini gibi birçok konuda analiz ve yorumlama imkanı sağlamaktadır. Ballı ve Karasoy, telefona gelen kısa mesajların gereksiz olup olmadığına makine öğrenmesi ve metin madenciliği tabanlı bir yaklaşım kullanarak karar vermişlerdir. Mesajın içerdiği kelimeler Word2Vec yöntemi kullanılarak vektörleştirilmiş ve rastgele orman algoritmasıyla test edilmiştir. Elde edilen makine öğrenmesi modeli ile gelen bir mesajın gereksiz olup olmadığı %99'un üzerinde başarıyla tahmin edilmiştir [1].

Benzer bir çalışmada da, elektronik alışveriş sitelerinde yer alan ürün yorumlarının sahte mi yoksa gerçek kullanıcı yorumu mu olduğunu tespit etmek için sistem önerilmiştir. Yorumların vektörleştirilmesi için terim frekansı ve Word2Vec yöntemlerinin ayrı ayrı kullanıldığı çalışmada, evrimsel ve tekrarlayıcı yapay sinir ağları modelleri ile yorumun durumu tahmin edilmeye çalışılmıştır. İki farklı veri seti ile denenen sistem %94'ün üzerinde doğru tahmin başarıları elde etmiştir [2]. Diğer bir çalışma da ise e-ticaret sitelerinin bulunmasının kolaylaştırılması amacıyla site içerisinde yer alan metinler işlenmiştir. Metnin vektör haline getirilmesinde kelime çantası yönteminden yararlanılırken, karar verme işlemi için k-en yakın komşu ve naive bayes algoritmaları kullanılmıştır.

Yapılan test analizleri sonucunda sistem %85 oranında doğru başarıyla verilen sitenin e-ticaret sitesi olup olmadığını tahmin etmiştir [3].

Metin madenciliği yöntemleri sadece ikili sınıflandırmada değil aynı zamanda çok sınıflı problemlerin çözümünde de kullanılmaktadır. Bouazizi ve Ohtsuki, twitter’da yapılan paylaşımların hangi duyguyu içerdiğini tahmin etmek için metin madenciliği ve makine öğrenmesi yöntemlerinden yararlanmışlardır. Mutluluk, sinirlilik, öfke, umutsuzluk benzeri 7 farklı duygu ile işaretlenen tweetler rastgele orman algoritmasıyla sınıflandırılmıştır. Analizler sonucunda eğlence duygusunun tahmini %40’ta kalırken nefret duygusu içeren metinlerin tahmin başarısı %90ın üzerine çıkmıştır [4]. Arifianto vd., Endonezyada bulunan internet servis sağlayıcısının müşteri yorumlarını kategorize etmek için uzun-kısa süreli bellek bazlı bir sistem önermişlerdir. 4 farklı kategoriden 1107 örneklem ile eğitilen modeller için yorumların vektör haline getirilmesinde Word2Vec yöntemi kullanılmıştır. Yapılan test analizleri sonucunda sistem %88’e yakın bir başarı elde etmiştir [5]. Parmar vd. müşteri ilişkileri yönetimi (CRM) uygulaması üzerinden gelen destek taleplerinin doğru departmana yönlendirilmesi için makine öğrenme temelli bir sistem önermişlerdir. 12 farklı departman için yapılan analizler sonucunda en yüksek başarı %63 ile SVM algoritmasıyla elde edilmiştir [6]. Benzer bir çalışma da üniversite bilgi sistemine gelen hata ve hizmet destek taleplerini içeren metinler sınıflandırılmıştır. Başarımın artırılması için gereksiz kelime temizleme ve kök alma gibi ön işlemlerinde uygulandığı çalışma da metnin vektörlerle ifade edilebilmesi için TF-IDF yaklaşımı kullanılmıştır. Ayrılan test verilerine yapılan sınıflandırma işlemi sonucunda destek vektör makineleri %92 gibi yüksek bir başarı elde etmiştir [7]. Metin madenciliği yöntemleri sadece özel firmaların değil aynı zamanda kamusal işlemlerin verimliliğini de arttırmaktadır. Boston bölgesindeki vatandaşların ulaşım şikayetlerinin otomatik olarak belirlenmesi için metin madenciliği ve makine öğrenmesi yöntemleri kullanılarak bir model önerilmiştir. Hem denetimli hem de denetimsiz öğrenme yaklaşımlarının kullanıldığı çalışma da talepler %70 oranında başarılı tahmin yapabilmışlerdir [8]. Bilişim sektörüne uygulanan başka bir çalışma da ise kablosuz bağlantı ekipmanlarıyla ilgili gelen teknik destek talepleri otomatik olarak sınıflandırılmıştır. Kullanıcının girdiği destek talebi Word2Vec vektör haline getirildikten sonra evrimsel ağlar ile model oluşturulmuştur. Yapılan testler sonucunda ekipmanla ilgili sorunun hangi nedenle kaynaklandığı otomatik olarak belirlenmiştir [9].

Metin madenciliği yöntemleri bilişim sektörü dahil farklı alanlarda ortaya çıkan ihtiyaçların çözümlerinde başarıyla uygulanmıştır. Böylece yöntemin yazılım geliştirme veya danışmanlık taleplerinin de doğru şekilde yönlendirilmesinde kullanılabilirliği fikrini doğurmuştur. Bu amaçla ortaya koyduğumuz çalışma, Detaysoft firmasına ait gerçek zamanlı talep verilerinin metin madenciliği ve makine öğrenmesi yöntemleriyle sınıflandırılması süreçlerini içermektedir. Önerilen model ile müşteri tarafından gelen talep metninin madencilik yöntemleriyle işlenmesi, sayısallaştırılması ve doğru alt-departmana yönlendirilebilmesi için sınıflandırılması süreçlerini içerir. Hata payının en aza indirilebilmesi için farklı vektör oluşturma yöntemleri yanı sıra ön işlem yaklaşımları da karşılaştırılmalı olarak sunulmuştur.

II. MATERYAL VE METOD

A. TEMELLENDİRİLMİŞ TEORİ

Nitel araştırma yöntemlerinde, herhangi bir veri grubuyla ilgili ortaya atılacak bir teorinin doğrulanması sürecinde genellikle teoriyi doğrulayacak veriler toplanmaktadır. Ancak bu yaklaşım sadece toplanan veri üzerinden varsayım oluşturmaya sebebi ile ilgili veri grubunun tamamını doğrulamaz. Veriler hakkında doğru çıkarımların yapılabilmesi için mevcutta olan veriler üzerine teorilerin kurgulanması gereklidir.

Nitel verileri toplayıp analiz ederek sistematik olarak hipotez ve teoriler oluşturmaya dayanan bu yaklaşıma temellendirilmiş teori (TT) denir. Bu yöntem verilerin özetlenmiş fikir ve kavramlarının ortaya çıkartılmasında da kullanılmaktadır. TT yinelemeli olarak 4 kuralı izlemektedir. Bunlar; veriyi temsil edecek kavramların bulunması, kavramların anahtar kelimelerle ifade edilmesi, ifadelerin

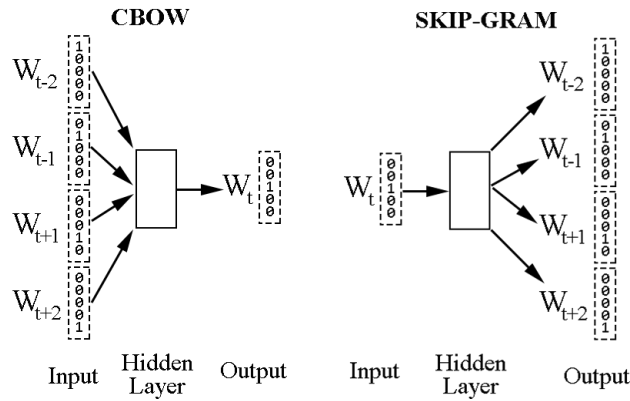
hiyerarşik olarak gruplandırılması ve benzerliklerine göre kategorize edilmesidir. Yinelemeli analiz sonunda kategoriler belirlenmiş olur.

B. TERİM FREKANSI – TERS DOKÜMAN FREKANSI

Metin madenciliği yaklaşımının önemli ön adımlarından birisi metnin algoritmalar tarafından anlayacağı şekilde temsil edilmesidir. Vektörleştirme olarak bilinen yaklaşım ile metinler vektör olarak ifade edilebilir. Böylelikle vektörler arasındaki yakınlık-uzaklık ilişkisine göre birbirlerine olan benzerliğine karar verilebilir.

Literatürde sıklıkla kullanılan vektörleştirme yöntemleri Terim Frekansı (TF) ve Terim Frekansı-Ters doküman Frekansı (TF-IDF) oranıdır. TF yönteminde her bir kelimenin ağırlığı, kelimenin geçme sıklığının dokümanın içerdiği kelime sayısına bölünmesiyle bulunmaktadır [10]. Dolayısıyla eğer kelime doküman içerisinde daha fazla geçiyorsa ayırt edici kabul edilir ve ağırlığı daha yüksek olur. TF-IDF yönteminde ise ağırlık, terim frekansının ters doküman frekansıyla çarpımı sonucunda elde edilir. Ters doküman frekansı (Inverse Document Frequency, IDF) ilgili terimin tüm dokümanlar içerisindeki önemini belirtir [11]. Böylelikle bir kelimenin TF-IDF değeri, kelimenin sadece geçme sıklığına değil aynı zamanda doküman içerisindeki önem derecesine göre hesaplanmış olur.

C. WORD2VEC



Şekil 1. Word2Vec Öğrenme Modelleri.

Word2vec, verilen metin içeriğinde anlamsal olarak benzer olan kelimelerin vektör uzayında da birbirlerine yakın olacağı hipotezine dayanan bir kelime temsil yöntemidir [12]. Bazı kelimeler genellikle çiftler halinde kullanılmaktadır. Örneğin hava durumu ile ilgili bir metin içerisinde “hava” kelimesinden sonra “sıcak” ya da “soğuk” kelimelerinin gelmesi muhtemeldir. Bu kelimelerin birlikte geçmesi anlamları hakkında bilgi verebilir. CBOW ve Skip-Gram olarak iki farklı öğrenme algoritmasına sahip olan Word2Vec mimarileri Şekil 1’de gösterilmiştir. Her iki öğrenme yaklaşımı da giriş, projeksiyon ve çıkış katmanlarına sahip yapay sinir ağından oluşur.

CBOW modeli girdi olarak belirli pencerede yer alan kelimeleri alır ve hedef kelimeyi tahmin etmeye çalışır. Böylelikle komşu kelimelerin analizine dayalı olarak kelimenin tahmini sağlanmaktadır. Öte yandan Skip-Gram yaklaşımı ise verilen bir kelimenin öncesi ya da sonrası gelebilecek kelimeleri tahmin etmekte kullanılır. Her iki modelin de projeksiyon katmanı N-boyutlu ve ağırlıkları tutan vektörü içermektedir. Model eğitimi göre vektör içindeki ağırlıklar değişerek optimum kelime tahmini yakalanmaya çalışılır.

D. GLOVE

GloVe (Global Vectors) kelimelerin anlamsal vektörlerini çıkartan bir diğer kelime temsil etme yöntemidir [13]. Word2Vec yöntemi kelimelerin yerel istatistiklerine göre bir vektör oluşturmaktadır. Yani kelimelerin sadece komşularına bakar. GloVe ise farklı olarak kelimelerin tüm metin içerisindeki global istatistiklerini de kullanmaktadır. GloVe yönteminin uygulanması için öncelikle metin içerisinde geçen kelimelerin birlikte geçme matrisi X oluşturulur. X_{ij} j kelimesinin i ile beraber geçme sayısını, X_i i kelimesinin metin içerisinde geçme sayısını, $P_{ij} = \frac{X_{ij}}{X_i}$ j kelimesiyle i kelimesinin beraber geçme olasılığını ve w_i i kelimesini göstermek üzere herhangi farklı bir k kelimesinin i ve j kelimeleriyle beraber geçme olasılığı eşitlik 1 ile hesaplanır.

$$F(w_i, w_j, \tilde{w}_k) = \frac{P_{ik}}{P_{jk}} \quad (1)$$

GloVe yönteminde kelime vektörlerinin öğrenimi için en uygun başlangıç noktasının farklı kelimelerin birlikte meydana gelme olasılıklarına oranlı olması gerektiği öner sürülmektedir. Dolayısıyla fonksiyon içerisinde iki farklı kelimenin uzaklığının, bu iki kelimeyle ilişkili diğer bir kelime olan \tilde{w}_k kullanılmasını öngörmektedir. Bu şekilde kelimeler arasındaki benzerlik hesaplanmaktadır. Ancak binlerce kelimenin geçtiği uzun metinlerde her bir kelime için 3 değişkenli bir hesaplama yapmak pratik olarak mümkün değildir. Bunun yerine matematiksel yöntemler kullanılarak eşitlik 1 eşitlik 3'e evrilmiştir.

$$F((w_i - w_j)^T * \tilde{w}_k) = F(w_i^T * \tilde{w}_k - w_j^T * \tilde{w}_k) = \frac{F(w_i^T * \tilde{w}_k)}{F(w_j^T * \tilde{w}_k)} = \frac{P_{ik}}{P_{jk}} \quad (2)$$

$$J = \sum_{i,j=1}^V f(X_{ij}) (w_i^T \tilde{w}_j + b_i + \tilde{b}_j - \log X_{ij})^2 \quad (3)$$

Burada ise çeşitli matematiksel dönüşümler ile \tilde{w}_k yani ortak kelime devre dışı bırakılarak 2 kelime kullanılarak birbirlerine olan uzaklık hesaplanabilmektedir. V farklı kelime sayısını ifade etmek üzere tüm kelimeler arasında bu işlem gerçekleştirilerek J maliyet fonksiyonunu en aza indirilmektedir.

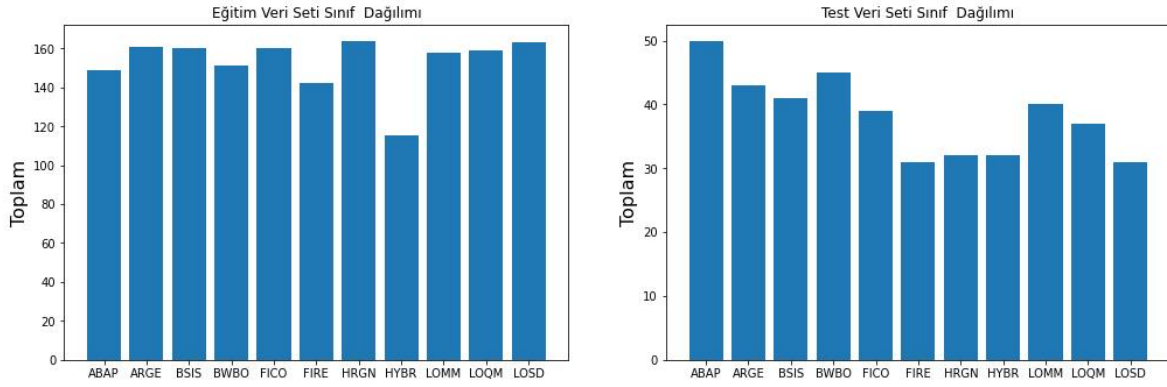
E. VERİSETİ

Çalışma içerisinde Detaysoft Danışmanlık firmasına ait gerçek zamanlı proje/görev isteklerini içeren talepler kullanılmıştır. Veriler için firmaya ait iş taleplerinin ve yapılacakların toplandığı web tabanlı uygulama sistemi kullanılarak elde edilmiştir. Her talep müşteri, yönetici ya da takım lideri tarafından sisteme girilmiş görevlerin başlık ve tanımını içermektedir. 2103 adet görev girdisi bu şekilde toplanarak çalışma içerisinde kullanılacak veri seti belirlenmiştir. Veri setine uygulanan ön işlem adımları “uygulama” bölümünde detaylı olarak anlatılmıştır.

III. UYGULAMA

A. ÖN İŞLEM

Ön işlem süreci metin formatındaki verinin makine öğrenmesi algoritmalarının işleyebileceği vektörlere çevrilmesi sürecini içerir. Veri seti toplama işlemi bir web uygulaması üzerinden gerçekleştirildiği için metin içerisinde bulunan XML ve HTML etiketleri temizlenmiştir. Metin madenciliği literatüründe, noktalama işaretlerinin kullanımının model başarısı üzerinde olumsuz etkisi olduğu belirtilmektedir [14]. Bu nedenle metinlerde geçen kelime noktalama işaretleri de temizlenmiştir.



Şekil 2. Eğitim-Test Sınıf dağılımları.

Bir sonraki aşama verilerin etiketlenmesi sürecidir. Veri kümesinden bilimsel şekilde en doğru etiket havuzunun çıkartılması için nitel bir araştırma yöntemi olan temellendirilmiş teoriden faydalanılmıştır. Firmanın proje yöneticileri ve takım liderleriyle birlikte temellendirilmiş teori yaklaşımıyla ham veriler gözden geçirilmiş ve geniş kapsamda 11 etiket belirlenmiştir. Etiketlenen veriler rastgele %20'si test geri kalanı eğitim veri seti olacak şekilde ayrılmıştır. Veri setlerinin sınıf dağılımları şekil 2'de gösterilmiştir. Noktalama işaretlerine benzer olarak gereksiz kelimelerin geçmesi, kelime köklerinin kullanılması gibi farklı etmenlerin de metin madenciliğine olumlu veya olumsuz etkileri literatürde raporlanmıştır. Çalışmamızda farklı ön işlem yöntemlerinin talep sınıflandırması üzerine etkileri de incelenmiştir.

Bu amaçla orijinal metinlerden oluşan ham veri seti yanı sıra gereksiz kelimelerin çıkartıldığı, kelime hatalarının giderildiği ve sadece kelime köklerini içeren veri setleri de oluşturulmuştur. Gereksiz kelimelerin temizlenmesi amacıyla Türkçe dilinde var olan anlam taşımayan kelimelerin listesi çıkartılarak verilerden ayıklanmıştır.

Kelime düzgünleştirme ve kök çıkartma süreci için ise bu alanda yüksek doğruluk gösteren ITU NLP Web Servis [15] kullanılmıştır. Düzgünleştirme işlemi ilgili kelimenin bilerek veya bilmeyerek yanlış yazılması durumunda kelimeyi düzeltmeye yarayan bir yaklaşımdır. Örneğin metin içerisinde “dvlet” kelimesi geçiyorsa düzgünleştirme işlemiyle bu kelime “devlet” olarak düzeltilir. Her örnekte yer alan kelimeler sırayla ilgili servise gönderilerek düzgünleştirilmiş ve daha sonra kökü çıkartılarak saklanmıştır. Son aşama ise metinlerin algoritmaların anlayabileceği şekilde vektörler halinde temsil edilmesidir. TF ve TF-IDF yöntemleri için Python Scikit [16] kütüphanesi kullanılarak her bir talep metni vektöre dönüştürülmüştür. Bunun dışında çalışma içerisinde Word2Vec ve GloVe yöntemleri Python Gensim [17] kütüphanesi kullanılarak denenmiştir.

Kelime temsil yöntemlerinin ana amacı herhangi bir metni vektöre çevirmek değil, metin içerisinde geçen kelimelerin diğer kelimelerle olan uzaklıklarını vektör olarak temsil etmektir. Ancak çalışmamız birden fazla kelimedenden oluşan taleplerin sınıflandırılmasını içermektedir. Dolayısıyla her bir talep metninin vektöre dönüştürülmesi için ek işlemlere gerek vardır. Bu aşamada talep vektörlerinin oluşturulması için içerisinde geçen kelimelerin vektör değerleri ortalaması talebin vektör değerini temsil edileceği varsayılmıştır. TF yönteminden farklı olarak kelime temsil yöntemleri arka planda yapay sinir ağı temelli öğrenme algoritması kullanılmaktadır. Kelimeler arası vektör uzaklığının optimum şekilde öğrenilebilmesi için öğrenme algoritması içerisinde yer alan parametrelerin optimize edilmesine ihtiyaç vardır. Bu amaçla eğitim veri setinin %20'i doğrulama seti olarak ayrılmış ve parametre optimizasyonunda kullanılmıştır. En uygun parametre uzayı bulunduğundan sonra eğitim setinin tamamıyla model tekrar eğitilmiş ve test veri seti içerisinde yer alan kelimelerin vektörleri hesaplanmıştır.

Her bir vektörleştirme yöntemi için herhangi bir ön işleme tabi tutulmamış, gereksiz kelimelerden temizlenmiş, düzgünleştirme işlemi uygulanmış ve metinlerin kökleri alınmış talep verileri ayrı ayrı

saklanmıştır. Dolayısıyla ön işlemler sonucunda analiz edilmeyi bekleyen 16 farklı veri seti oluşturulmuştur. Her veri seti ayrı ayrı makine öğrenmesi modelleriyle eğitilerek test edilmiştir.

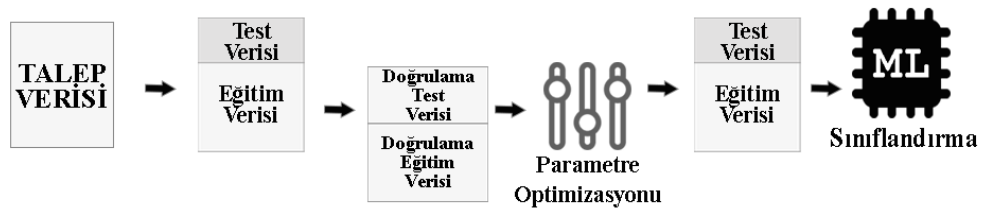
B. SINIFLANDIRMA

İşaretlenen ve vektörleri çıkartılan talep metinlerinin sınıflandırılması için 5 farklı algoritma kullanılmıştır. Bunlar sırasıyla Lojistik Regresyon (LR), Destek Vektör Makineleri (SVM), Rastgele Orman (RF), k-En Yakın Komşu (KNN) ve XGBoost'tur. Öğrenme algoritmalarının parametre optimizasyonu model başarımı üzerinde ciddi bir katkısı sağlamaktadır. Her bir algoritmaya ait en yüksek başarımı veren parametre uzayı Optuna [18] kütüphanesi kullanılarak belirlenmiştir.

Tablo 1. Parametre Uzayı

Algoritma	Parametre Tipi	Parametre Uzayı
LR	Regülürizasyon (C)	$(2^{-12} - 2^{-12})$
	Çözümleyici	Linear, BFGS
SVM	Regülürizasyon (C)	$(2^{-12} - 2^{-12})$
	Çekirdek (Kernel)	Linear, RBF, Polinomial
	Gamma	(0.000001 - 10)
RF	Ağaç Sayısı	(2 - 1000)
	Ölçüt	Gini, Entropy
KNN	Komuş Sayısı	2 - Örnek Sayısı
	Algoritma	KD-Tree, Ball-Tree, Brute
XGB	Ağaç Sayısı	(2 - 1000)
	Öğrenme Oranı	(0.0001 - 10)
	Alpha	(0 - 32)
	Gamma	(0 - 32)

Optuna verilen hiper-parametre uzayı içerisinde algoritmaya uygun parametreleri rastgele arama yöntemi kullanarak denemektedir. Her denenen parametre grubu sonrası ilgili parametreler ile bu parametre grubuyla alınan başarımlar saklanır. Parametre başarımının hesaplanması için eğitim veri setinin %20'si doğrulama seti olarak ayrılmış ve geri kalan doğrulama-eğitim seti olarak kullanılmıştır. Her rastgele parametre grubuyla algoritmalar 250 defa tekrar edilmiş ve en uygun parametreler belirlenmiştir. Optimizasyon sürecinde her algoritma için kullanılan farklı parametre uzayı tablo 1'deki gibidir.



Şekil 3. Hiper Parametre Optimizasyon Süreci.

Daha sonra en uygun parametrelerle oluşturulan modeller eğitim setinin tamamı kullanılarak çalıştırılmıştır. Sınıflandırma sürecinde izlenen adımlar şekil 3'te gösterilmiştir. Nihai model ön işlem sonucunda oluşturulan 4 farklı veri setine de uygulanarak test edilmiştir. Testler sonucunda elde edilen doğruluk değerleri tablo 2'de gösterilmektedir.

Tablo 2. Doğruluk Değerleri.

Ham Veri	Gereksiz Kelimelerden Temizlenmiş Veri	Kelime Normalizasyonu Uygulanmış Veri	Kök Alınmış Veri
----------	--	---------------------------------------	------------------

	TF	TF-IDF	W2V	GloVe	TF	TF-IDF	W2V	GloVe	TF	TF-IDF	W2V	GloVe	TF	TF-IDF	W2V	GloVe
LR	0.76	0.783	0.77	0.745	0.767	0.788	0.769	0.774	0.767	0.784	0.745	0.717	0.741	0.783	0.774	0.774
SVM	0.712	0.786	0.786	0.724	0.724	0.795	0.783	0.767	0.7224	0.779	0.7	0.7	0.733	0.786	0.767	0.724
KNN	0.1	0.665	0.695	0.674	0.1	0.662	0.674	0.665	0.1	0.688	0.684	0.68	0.1	0.7	0.68	0.665
RF	0.731	0.722	0.76	0.738	0.714	0.714	0.776	0.722	0.724	0.717	0.745	0.722	0.762	0.738	0.764	0.738
XGB	0.643	0.745	0.76	0.703	0.703	0.693	0.757	0.733	0.1	0.551	0.736	0.676	0.605	0.676	0.733	0.703

Sonuçlar incelendiğinde gelen olarak %75’in üzerinde bir doğruluk oranıyla gelen taleplerin hangi departmanı ilgilendirdiği tahmin edilmiştir. En yüksek başarıım %79,5 ile SVM algoritmasıyla alınırken, TF-IDF yönteminin diğer vektörleştirme yöntemlerine göre daha başarılı olduğu söylenebilir. Kelime temsil yöntemleri olan Word2Vec ve GloVe teknikleri ortalama üzeri sonuç vermelerine rağmen TF-IDF skorlarının altında kalmışlardır. Bu yöntemler temel olarak kelimeler arasındaki anlamsal benzer ilişkisini göstermek için kullanılmaktadır. Kullanılan veri setinin büyüklüğüyle kelimeler arası anlamsal uzaklığın doğru olarak tahmininde doğrusal bir oran vardır. Çalışmamız içerisinde bu yaklaşımların daha düşük sonuç vermesi, kelimeler arasındaki ilişkiyi tam olarak öğrenecek kadar fazla verinin olmadığına işaret olabilir. Çünkü özellikle yapay sinir ağları modellerinde veri sayısı arttıkça tahmin başarısının arttığı bilinmektedir.

Tahmin	Gerçek											SÜTUN	TOPLAM
	bsis	loqm	losd	fire	hybr	abap	bwbo	hrgn	fico	lomm	arge		
bsis	36 8.55%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	2 0.48%	1 0.24%	2 0.48%	4 0.95%	1 0.24%	0 0.0%	0 0.0%	46 21.54%	
loqm	1 0.24%	28 6.65%	0 0.0%	0 0.0%	1 0.24%	1 0.24%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	2 0.48%	0 0.0%	33 15.11%	
losd	0 0.0%	1 0.24%	20 4.75%	1 0.24%	0 0.0%	5 1.19%	4 0.95%	0 0.0%	0 0.0%	3 0.71%	0 0.0%	34 15.44%	
fire	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	25 5.94%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	1 0.24%	1 0.24%	27 12.41%	
hybr	1 0.24%	0 0.0%	1 0.24%	0 0.0%	25 5.94%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	1 0.24%	28 12.72%	
abap	1 0.24%	4 0.95%	2 0.48%	2 0.48%	0 0.0%	35 8.31%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	1 0.24%	1 0.24%	46 21.54%	
bwbo	0 0.0%	1 0.24%	3 0.71%	1 0.24%	0 0.0%	1 0.24%	38 9.03%	2 0.48%	0 0.0%	2 0.48%	1 0.24%	49 22.42%	
hrgn	1 0.24%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	1 0.24%	2 0.48%	1 0.24%	25 5.94%	0 0.0%	1 0.24%	1 0.24%	32 14.67%	
fico	0 0.0%	1 0.24%	1 0.24%	2 0.48%	2 0.48%	3 0.71%	0 0.0%	1 0.24%	38 9.03%	1 0.24%	2 0.48%	51 23.42%	
lomm	0 0.0%	2 0.48%	3 0.71%	0 0.0%	0 0.0%	2 0.48%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	29 6.89%	0 0.0%	36 16.54%	
arge	1 0.24%	0 0.0%	1 0.24%	0 0.0%	1 0.24%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	36 8.55%	39 17.68%	
SÜTUN	41 17.80%	37 14.32%	31 12.48%	31 12.48%	32 12.80%	50 20.80%	45 17.36%	32 12.80%	39 15.24%	40 17.36%	43 19.20%	421 20.43%	

Şekil 4. Sınıf Etiketli Bazlı Başarıım Değerleri.

En başarılı algoritma ve vektörleştirme ikilisi olan SVM/TF-IDF sonuçlarına ait karmaşıklık matrisi şekil 4’te gösterilmektedir. Etiket bazlı incelendiğinde “arge” ve “fire” alanları ile ilgili gelen taleplerin %92’nin üzerinde bir başarıyla doğru tahmin edildiği gözükmektedir. Öte yandan en düşük başarıım %58,82 ile “losd” etiketine sahip taleplerin sınıflandırılmasında elde edilmiştir. “abap”, “loqm”, “losd”, “fico”, “bwbo”, “hrgn”, “lomm” etiketleri aslında aynı kurumsal kaynak planlama uygulamasına ait alt modülleri tanımlayan etiketlerdir. Dolayısıyla bu etiketlerle gelen talep metninin içerisinde

birbirine benzer kelimelerin geçmesi muhtemeldir. Yaşanan düşük başarımın buna bağlı olduğu düşünülmektedir.

IV. SONUC

Bilişim firmalarında müşterilerin iletmiş olduğu geliştirme ve sorun çözme gibi talepler genellikle bir uzman personel tarafından incelenerek ilgili departman yönlendirilmektedir. Talep sayısının az olduğu firmalar için bu durum herhangi bir sorun teşkil etmezken, aynı anda çok sayıda taleplerin geldiği danışmanlık firmalarında yönlendirme işleminin bir kişi tarafından yapılması insan hatasına yol açabileceği gibi kaynak ve zaman kaybına da neden olabilir. Bunun yerine gelen talepleri otomatik olarak inceleyerek ilgili departmana aktaracak bir sistem her açıdan firmaya katkı sağlar. Bu çalışmada, bilişim ve yazılım destek konularında gelen gerçek zamanlı taleplerin metin madenciliği ve makine öğrenmesi yöntemleriyle doğru alt-departmana yönlendirilmesini içeren örnek bir uygulama yapılmıştır. Analizler içerisinde metni farklı şekilde vektöre çeviren yöntemlerle beraber ön işlem uygulamalarının da talep sınıflandırılması üzerine etkileri detaylı şekilde incelenmiştir. Sonuçlara bakıldığında zaman literatürde sıklıkla kullanılan TF-IDF vektörleştirme yönteminin neredeyse her algoritma için daha yüksek sonuç aldığı görülmüştür. Metin içerisinde yer alan önemsiz kelimelerin çıkartılması da beklenildiği gibi başarıyı arttırmıştır. Kelime düzleştirme ve kök alma ön-işlemleri ise genel olarak başarımında düşüklüğe yol açmıştır. Her ne kadar metnin bu şekilde ön işlemlere sokulması başarımı artırması beklense de bu sürecin problem bazlı olduğu söylenebilir. Sınıf bazında başarımına bakıldığında ise aynı departmana ait alt konuları içeren taleplerin tahmin başarımı daha düşük kaldığı gözlemlenmiştir. Bu durum farklı sınıf etiketine sahip olsa da talepler içinde benzer kelimelerin geçmesiyle açıklanabilir. Test işlemleri sonucunda ortalama %79 civarında başarı elde edilmiştir. Bu sonuç ilgili modelin karar destek sistemi olarak firma içerisinde talep yönlendirme sürecinde kullanılabilirliği açısından yeterli görülmüştür.

Çalışmamız firmalara gelen taleplerin ilgili departmanla beraber doğru personele aktarılmasını sağlayacak bir sistemin ön çalışmasıdır. İleriki çalışmalarda personel önerme modeliyle birleştirilerek uçtan uca talep yönlendirme sistemi geliştirilecektir.

TEŞEKKÜR: Bu çalışma, Detaysoft Ar-Ge Merkez bünyesinde yürütülen çalışmaların sonucudur. Desteklerinden dolayı Detaysoft Ar-Ge Merkezine teşekkür ederiz. Bu çalışmada rapor edilen sayısal hesaplamaların bir kısmı TÜBİTAK ULAKBİM Yüksek Başarımlı ve Grid Hesaplama Merkezi (TRUBA)'da gerçekleştirilmiştir.

V. KAYNAKLAR

- [1] S. Ballı and O. Karasoy, 'Development of content-based SMS classification application by using Word2Vec-based feature extraction', IET Software, vol. 13, no. 4, pp. 295–304, 2019.
- [2] G. M. Shahariar, S. Biswas, F. Omar, F. M. Shah, and S. B. Hassan, 'Spam review detection using deep learning', 2019 IEEE 10th Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (IEMCON), 2019, pp. 0027–0033.
- [3] T. KAŞIKÇI and H. Gökçen, 'Metin madenciliği ile e-ticaret sitelerinin belirlenmesi', Bilişim Teknolojileri Dergisi, c. 7, s. 1, 2013.
- [4] M. Bouazizi and T. Ohtsuki, 'Multi-class sentiment analysis in Twitter: What if classification is not the answer', IEEE Access, vol. 6, pp. 64486–64502, 2018.

- [5] A. Arifianto et al., ‘Developing an LSTM-based Classification Model of IndiHome Customer Feedbacks’, 2020 International Conference on Data Science and Its Applications (ICoDSA), 2020, pp. 1–5.
- [6] P. S. Parmar, P. K. Biju, M. Shankar, and N. Kadiresan, ‘Multiclass text classification and analytics for improving customer support response through different classifiers’, 2018 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI), 2018, pp. 538–542.
- [7] A. Onan, E. Atik, and A. Yalçın, ‘Machine learning approach for automatic categorization of service support requests on university information management system’, International Conference on Intelligent and Fuzzy Systems, 2020, pp. 1133–1139.
- [8] N. Kim and S. Hong, ‘Automatic classification of citizen requests for transportation using deep learning: Case study from Boston city’, Information Processing & Management, vol. 58, no. 1, p. 102410, 2021.
- [9] A. A. Gorbunova, A. S. Trunov, and V. I. Voronov, ‘Intelligent analysis of technical support requests in Service Desk ticketing systems’, 2020 International Conference on Engineering Management of Communication and Technology (EMCTECH), 2020, pp. 1–6.
- [10] R. Mitkov, The Oxford handbook of computational linguistics. Oxford University Press, 2004.
- [11] C. Manning and H. Schütze, Foundations of statistical natural language processing. MIT press, 1999.
- [12] T. Mikolov, K. Chen, G. Corrado, and J. Dean, ‘Efficient estimation of word representations in vector space’, arXiv preprint arXiv:1301.3781, 2013.
- [13] J. Pennington, R. Socher, and C. D. Manning, ‘Glove: Global vectors for word representation’, Proceedings of the 2014 conference on empirical methods in natural language processing (EMNLP), 2014, pp. 1532–1543.
- [14] W. Etwaiwi and G. Naymat, ‘The Impact of applying Different Preprocessing Steps on Review Spam Detection’, Procedia Computer Science, vol. 113, pp. 273–279, Jan. 2017, doi: 10.1016/j.procs.2017.08.368.
- [15] G. Eryiğit, ‘ITU Turkish NLP web service’, Proceedings of the Demonstrations at the 14th Conference of the European Chapter of the Association for Computational Linguistics, 2014, pp. 1–4.
- [16] F. Pedregosa et al., ‘Scikit-learn: Machine learning in Python’, the Journal of machine Learning research, vol. 12, pp. 2825–2830, 2011.
- [17] R. Řehůřek and P. Sojka, ‘Software Framework for Topic Modelling with Large Corpora’, Proceedings of the LREC 2010 Workshop on New Challenges for NLP Frameworks, Valletta, Malta, May 2010, pp. 45–50.
- [18] T. Akiba, S. Sano, T. Yanase, T. Ohta, and M. Koyama, ‘Optuna: A next-generation hyperparameter optimization framework’, Proceedings of the 25th ACM SIGKDD international conference on knowledge discovery & data mining, 2019, pp. 2623–2631.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Komşuluk Planlamasında Eko Verimlilik Ajandaları: Örnekler Üzerinden Bir Değerlendirme

 K.Pınar KIRKIK AYDEMİR^{a,*},  Gamze KAZANCI^b  Ahmet KURNAZ^c

^a Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, Mimarlık Fakültesi, Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Bolu, TÜRKİYE

^b Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, Mimarlık Fakültesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, TÜRKİYE

^c Mimarlık Bölümü, Mimarlık Fakültesi, İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, İstanbul, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: kiyemtpinar.aydemir@ibu.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.982523

ÖZ

Kentlerde altyapının inşası sürecinde izlenen yöntem ve teknikler, yapım ve uygulama şekli, mevcut şehri geliştirmek ve yaşanabilir hale getirmek açısından önem taşımaktadır. Bütünsel planlama yaklaşımı ile bölge ölçeğinden mahalle ölçeğine ve hatta mikro düzeye inebilen sistemsel bir çözüm ile kaliteli çevreler yaratmak mümkün olabilmektedir. Bu konuda yapılan çalışmalar, eko mahallelerin iklim değişikliği için gerekli olan mavi-yeşil altyapı, hammadde ve doğal kaynak verimliliği, geri dönüştürülebilir atık malzeme yönetimi ve enerji tasarrufu gibi eko verimliliğe dayalı stratejiler ile sürdürülebilirliği sağladığı yönündedir. Özellikle yerel düzeyde ekolojik tasarım, çevrenin kalitesini geliştirme şekli olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu noktada, eko tasarım rehberleri ve eko verimlilik ajandaları önem kazanmaktadır. Bu çalışma, eko komşuluğun yapısını ekolojik ağ örüntüsü-eko verimlilik kavramları üzerinden ele almaktadır. Çalışma, geleneksel komşuluk teorisinden başlayarak kentsel tasarımı yönlendiren kriterler, sürdürülebilirlik ve ekolojik yaklaşımlar çerçevesinde değerlendirilmektedir. Ekolojik tasarımı oluşturan ilkelerde eko verimliliği öne çıkaran uluslararası örnekler incelenmiş; kentsel sistemler bütünü içerisinde mavi-yeşil altyapı, ulaşım, atık ve enerji konularının öne çıktığı içerik analizi yöntemi ile kavramsal bir model önerisi geliştirilmiştir. Tüm den gelim – tüme varım şeklinde kapsamlı bir yaklaşımla kent sistemi içerisinde eko kriterler belirtilerek, eko verimlilik- eko duyarlılık ilkelerini planlama/tasarıma dâhil eden bütüncül bir kavramsal model oluşturulması amaçlanmış, geliştirilecek eko komşuluk birimleri için işleyiş şeması ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: Eko verimlilik, Eko mahalle, Eko tasarım

Eco Efficiency Agendas In Neighbourhood Planning; An Evaluation From Examples

ABSTRACT

The methods and techniques followed during the construction of infrastructure in cities, the way of construction and implementation are important in terms of developing the existing city and making it livable. With a holistic planning approach, it is possible to create quality environments with a systemic solution that can go down from the regional scale to the neighbourhood scale and even to the micro level. Studies on this subject show that eco neighbourhoods provide sustainability with eco-efficiency-based strategies such as blue-green infrastructure, raw material and natural resource efficiency, recyclable waste material management and energy saving, which are necessary for climate change. Especially at the local level ecological design, emerges as a way of improving the quality of the environment. At this point, eco-design guides and eco-efficiency agendas gain importance. This study deals with the structure of eco-neighbourhood through the concepts of ecological network pattern and eco

efficiency. The study is evaluated within the framework of criteria, sustainability and ecological approaches that guide urban design, starting from the traditional neighborhood theory. International examples emphasizing eco efficiency in the principles of ecological design were examined; A conceptual model proposal has been developed with the content analysis method, in which blue-green infrastructure, transportation, waste and energy issues stand out within the whole of urban systems. With a comprehensive approach in the form of deduction - induction, by specifying eco criteria within the city system, it is aimed to create a holistic conceptual model that incorporates the principles of eco-efficiency-eco-sensitivity into planning/design, and a functioning scheme for the eco neighbourhood units to be developed has been revealed.

Keywords: *Eco efficiency, Eco neighbourhood, Eco design*

I. GİRİŞ

Kentler; sürdürülebilir gelişme ilkeleri doğrultusunda sürdürülebilir büyüme ve gelişme kriterlerini uygulayabilmektedir. Bu bağlamda kent planlamada, sürdürülebilirlik açısından son dönemlerde ölçekler arası ilişkide özellikle mahalle ölçeği üzerinde durulmakta; arazi kullanımı, ulaşım, barınma, enerji verimliliği, ekonomik gelişme ve kamu sağlığı konuları mahalle ölçeği kapsamında yeniden tartışılır olmaktadır. Ayrıca, yeni topluluklar oluşturmada sürdürülebilir ajandalar izlenerek, şehrin konut krizinin çözülmesi ve karşılaşılabilecek sorunların önceden engellenmesi planlanmaktadır [1]. Habitat III, Birleşmiş Milletler Konut ve Sürdürülebilir Kentsel Gelişme Konferansında Yeni Kentsel Gündem olarak; “çevre”, “arazi ve kent planlaması”, “demografi”, “konut ve servis hizmetleri” “kentsel yönetim”, “kent ekonomisi” olmak üzere altı başlıkta kentte yaşayanların ihtiyaçlarının karşılanması konusunda stratejiler geliştirilmiştir [2].

Benzer şekilde, Yeni Kentsel Gündem’in 52. maddesi ile “Nüfus planlaması yapılan, erişilebilirliği ve bağlantısallığı çözülmüş, gerekli altyapı ve hizmetlere sahip, kent dokusu ile bütünsel olan “ufak ölçekli tasarımlar” eko mahalle-komşuluk birimleri oluşturulması konusunda mekânsal gelişme stratejilerinin teşvik edilmesi” üzerinde durulmuştur [3]. Bu kapsamda eko mahalleler, doğa ve teknolojiyi entegre eden yaklaşımlar öne sürmektedir. Yine 2012’de yapılan ABD Yeşil Yapı Konsili’nde mahalle gelişiminde doğal bir sistem olarak; akıllı büyüme, kentsel tasarım ve yeşil yapı ilkelerinin geliştirilmesinin önemli olduğu vurgulanmıştır. Bu yaklaşımla sürdürülebilir gıda, yenilenebilir enerji, organik atıkların geri dönüşümü, atık ve emisyon azaltılması, mahalle-komşuluk ölçeğinde kirliliğinin minimuma indirilmesi amaçlı eko verimli-eko duyarlı stratejiler teşvik edilerek, komşuluk ölçeğindeki birimlerin birbirine eklenmesi ile daha yaşanabilir ve sürdürülebilir şehir sistemi oluşturulabileceği belirtilmiştir [4]. Çevre standartlarının iyileştirilmesi, çevresel kaynakların optimum kullanımı ile mümkündür. GÜNDEM 21 konferansında da insanların yaşamak ve kendi ihtiyaçlarını karşılamayabilmeleri için karma kullanım, verimli su kaynak sistemi, açık mekanlar, yeşil ekolojik yapılar, sürdürülebilir ulaşım sistemleri, atık yönetimi vb. eko verimliliği geliştiren küresel standartlar belirtilmiştir [5].

Bu çalışmada, bina ve altyapı projelerinin toplum ya da bireysel eylemlerle bütünleşmesini hedefleyen, kentlerin yaşayanları için ihtiyaç duyduğu çözümleri, ölçekler arası ilişkide en küçük birim olan komşuluk ölçeği; eko verimlilik ile ilişkilendirilerek anlatılmaktadır. Geleneksel komşuluk teorisinden başlanarak, eko komşuluğun yapısı-ekolojik ağ örüntüsü-eko verimlilik kavramlarına değinilmektedir. Sürdürülebilir kentsel planlama/tasarım için eko verimlilik ajandalarına dikkat çekilerek, farklı eko komşuluk örnekleri incelenmekte ve kentin ekolojik duyarlılıklarını dikkate alan kavramsal içerikli bir model geliştirilmektedir.

II. GELENEKSEL MAHALLE BİRİMİNDEN SÜRDÜRÜLEBİLİR EKO KOMŞULUK BİRİMİNE

Komşuluk-mahalle biriminde çevresel, sosyal, fiziksel, ekonomik yönden sürdürülebilirliği sağlamak için 20. Yüzyıldan günümüze çeşitli modeller (Howard; Bahçeşehir, Perry; Mahalle birimi vb.) öne sürülmüştür [6]. İlk olarak 1898'de Ebenezer Howard'ın Bahçe Şehir hareketiyle, mahalle planlamasının bazı temel ilkeleri (5000 kişilik nüfusa hizmet vermesi, kentte günlük ihtiyaçların yürüme mesafesinde olması ve gelişim alanlarının ilkökul çevresinde konuşlanması vb.) ortaya konmuştur [7]. Devamında 1929 yılında Clarence Perry, 1994 yılında Katz, 2017 yılında da Amerikan Planlama Derneği tarafından mahalle birimi kriterleri oluşturulmuştur (Tablo 1).

Tablo 1. Mahalle birimi özellikleri [6], [7]

Model	Mahalle Birimi Kriterleri
Perry, 1929	-Büyüklik: komşuluk biriminin, bir ilköğretim okulunun hizmet edeceği nüfusa göre planlanması -Sınırlar: mahallelerin ana caddeler tarafından çevrelenmesi ve mahalle içinde trafiğe yol açmaması -Açık alanlar: küçük parklar ve eğlence-dinlenme alanlarının yer alması -Kurumlar: kamu kurum ve kuruluşlarının mahalleliye en iyi hizmet verecek şekilde erişilebilir olması -Yerel dükkânlar: mahalleye yetecek kadar alışveriş alanının olması ve kent çeperinden de ulaşımın sağlanabilmesi için ana yollara yakın olması -İç sokak sistemi: mahalle içinde ulaşımı kolaylaştırmak üzere birbiri ile bağlantılı yolların olması
Katz, 1994	-Kompakt yerleşim/yapılaşmanın sağlanması -Yürüyüş mesafesi içerisinde günlük ihtiyaçların karşılanması -Otomobil kullanımının azaltılarak sosyal etkileşimin artırılması
Amerikan Planlama Derneği, 2017	-Çeşitli ihtiyaçlara uygun karma kullanım alanlarının varlığı -Farklı ulaşım türlerini destekleyecek altyapının varlığı -Estetik ve ilgi çekici mimari tasarımlar -Sosyalleşmeyi ön planda olduğu kamusal alanların varlığı -Katılımcı mahalleliler -Sürdürülebilir ve iklim değişikliği etkilerine karşı dayanıklılık

Bu modellerde yerleşimlerin yapısı ve içeriği, büyüklüğü, yerleşimi besleyen unsurlar, yerleşimi oluşturan elemanlar ve yerel halka ortak olarak değinilmiş ve mahalle biriminin önemine vurgu yapılmıştır. 1929'da Perry tarafından bir ilkokulun gerektirdiği nüfus ölçütü alınmıştır. Sanayi devrimi sonrası kentsel çevrenin iyileştirilmesinde yaşam alanlarının önemine vurgu yapılarak, insan ölçekli mahalle tasarımı üzerinde durulmuş, mahallelerin sosyal ilişkiler ile günlük ihtiyaçların (okul, market, dükkân gibi) karşılanabileceği kendi kendine yetebilen birimler olduğu ileri sürülmüştür. 1980 sonrası ise Geleneksel Mahalle Geliştirme (GMG), Transit Odaklı Kalkınma (TOK), Yeni Şehircilik ve Akıllı Büyüme gibi farklı yaklaşımlara odaklanmıştır [8]. Özellikle yeni şehircilik akımı sonrası ile mahalle tasarımları, konut-ticaret karma kullanım alanları, birbiri ile bağlantılı sokak ve caddeler, farklı konut türleri ve açık-yeşil alanları içermektedir [9].

Planlamada mahalle/komşuluk ölçeğinin dikkate alınması; yaşam niteliğinin artırılması, çevresel sürdürülebilirliğin sağlanması, bütün bir kentsel sistem içerisinde katılım esaslı yeşil altyapıyı teşvik eden planlama/tasarım ilkeleri ile kente bütüncül bir bakış kazandırmaktadır. Özellikle mahalle biriminde yer alan yapı-doğal çevre bileşenleri, hareketlilik ve işlevselliği etkilediğinden mahallelerde sürdürülebilir altyapı sistemlerinin prototip yerleşim örneği üzerinden değerlendirilmesine olanak

sağlamaktadır [10]. 2001’de Madanipour, mahalle ölçeğinin yeşil şehir planlaması konsepti içerisinde ulaşımın aktif formlarını teşvik etmesi, otomobil bağımlı yaşam tarzını ve ekolojik ayak izini azaltması gibi çevreyi koruyan yaklaşımların yanı sıra sürdürülebilir kent planlaması için kent formu yapıtaşı oluşturduğuna dikkat çekmektedir [11].

Yıllardır kentlerde hızla artan nüfus büyümesi kentsel sınırların genişlemesi ile birlikte kentsel saçaklanmayı artırarak yeşil alanları yetersiz bırakmakta ve ayırık alanlar oluşmasına sebep olmaktadır. Kentten kopuk bu “ayırık alanlar” insan yaşamı ve algısı açısından uygun olmadıkları gibi yürüme, dolaşma ve insan aktivitesi için gerekli altyapıya da sahip değildir. Ayrıca nüfusun artması ile mahallede bozulan ekosistem bütünlüğü, hava kirliliği, su kıtlığı, artan enerji maliyetleri vb. doğal çevre, enerji tüketimi, atık kullanımı ve arazi kullanımı üzerindeki olumsuz etkiler ile de sürdürülebilir eko mahallelere olan gereksinimi göstermektedir [1]. Bu bakış açısından hareketle eko mahalleler; yaklaşık 1000 eve tekabül edip, enerji kullanım planlaması, ulaşım, altyapı, atık ve su şebekeleri, topluluk ve iş olanaklarına erişim vb. birçok bileşeni kapsayarak daha geniş ölçekte ekonomik yapılanma ve eko verimliliği etkileyen kent formları olarak belirtilebilir [12].

Eko komşuluk birimleri; yerel düzeyde şekillenen küçük ölçekteki bir kent formu üzerinden yerel iklim koşulları, kültürel peyzaj dokusu, enerji tasarrufu ve atık azaltımı gibi çevresel ilkeler, yaya merkezlik ve toplu ulaşımı destekleyen ulaşım dair ilkeler ve açık yeşil alan standartlarını geliştirmedeki kentsel planlama/ tasarım ilkeleri ile ekolojik krizlere karşı yerel müdahale alanlarıdır. Özellikle yaşam kalitesini artırmak için atık yönetimi ve yenilenebilir enerjiyi teşvik etmekte, sıfır karbon yerleşimler ve yeşil yapı sistemleri geliştirilmesinde örnek oluşturmaktadır [13].

Dünyanın farklı ülkelerinde eko komşuluk birimini destekleyen, yapı ve çevresini birlikte ele alan sertifika sistemleri; BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method), LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), CASBEE (Comprehensive Assessment for Building Environmental Efficiency), SBTool (Sustainable Building Tool), Greenstar ve ÇEDBİK (Çevre Dostu Yeşil Binalar Derneği) vardır [14] (Şekil 1). Bu sertifika sistemlerinden BREEAM (International New Construction); enerji, malzeme ve yönetimi konularında [15], LEED BD+C (Buildign Design + Construction); sertifikası enerji, iç mekan hava kalitesi ve ulaşım alanında [16] puanlandırması yüksek olmakla birlikte, CASBEE; iç mekan hava kalitesi, enerji ve servisi [17], SBTool; arazi kullanımı, servis ve enerjisi [18], Green Star enerji, iç mekan hava kalitesi ve malzeme seçimi [19], ÇEDBİK B.E.S.T ise konut sertifikası arazi kullanımı, su kullanımı ve enerji [20] kriterleri üzerine daha çok ağırlık ve puanlandırılması yapılmış sertifika sistemleridir.

Değerlendirme Sistemi	BREEAM	LEED	CASBEE	SBTool	GREEN STAR	ÇEDBİK
Kuruluş Tarihi	1990	1998	2004	1996	2003	2007
Sertifika Kuruluşu	BRE - Building Research Establishment	USGBC - U.S. Green Building Council	JSBC - Japan Sustainable Building Consortium	ISSBEE - International Initiative for a Sustainable Built Environment Establishment	GBCA - Green Building Council of Australia	ÇEDBİK - Çevre Dostu Yeşil Binalar Derneği
Ülke	İngiltere	Amerika	Japonya	Kanada	Avustralya	Türkiye
Değerlendirme Kriteri	Enerji Verimliliği	✓	✓	✓	✓	✓
	Su Kullanımı	✓	✓	✓	✓	✓
	Malzeme	✓	✓	✓	✓	✓
	İç Mekan Hava Kalitesi	✓	✓	✓	✓	✓
	Arazi Kullanımı	✓	✓	✓	✓	✓
	Ekoloji	✓	✓	✓	✓	✓
	Ulaşım	✓	✓	✓	✓	✓
	Bütünleşik Süreç Yönetimi		✓		✓	
	Yönetim	✓		✓	✓	✓
	Servis			✓	✓	
	Atık Yönetimi	✓	✓	✓	✓	✓
	Ekonomi				✓	
	Sosyokültürel Esaslar				✓	
	Yaşam Döngüsü Analizi	✓	✓	✓	✓	✓
	Yaşam Döngüsü Maliyeti	✓			✓	
	Görsel Konfor	✓	✓		✓	✓
	Akustik	✓	✓	✓	✓	✓
İnovasyon	✓	✓			✓	

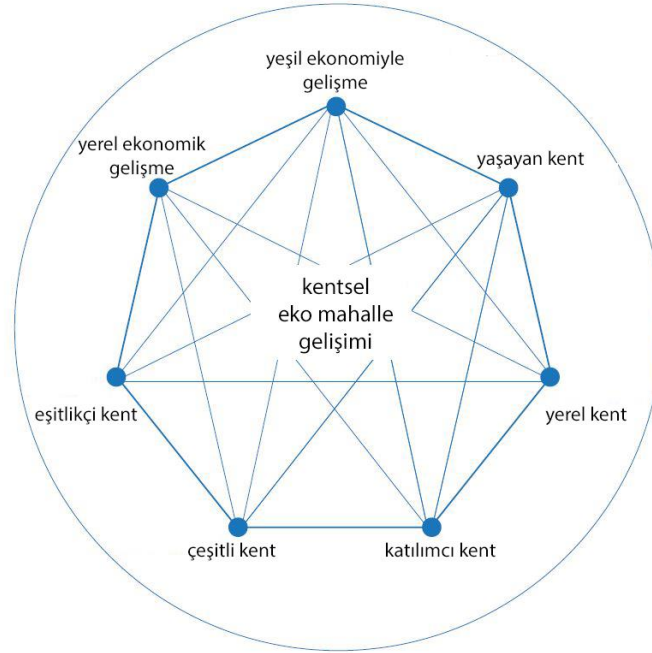
Şekil 1. Yeşil bina değerlendirme sistemi [14], [15], [16], [17], [18], [19], [20]

Şekil 1’de belirtilen enerji verimliliğinden arazi kullanımına kadar birçok alanı kapsayan yeşil bina sertifika sistemleri amaçlanan makro-mikro ölçekler arasında sürdürülebilirliğin sağlanarak yapı çevrenin doğal çevre üzerindeki olumsuz etkisinin en aza indirilmesidir. Bu noktada öne çıkan eko komşuluk düzeyi, yapı formlarının destekleyecek şekilde yerel gıda, yerel atık, su ve enerji sistemlerinin gelişimine katkı sağlayarak doğal kaynakların verimli kullanılması, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının yaygınlaşması temiz üretime dayalı bir büyüme modelini teşvik etmektedir. Bu noktada “Temiz Üretim” sistemini esas alan eko verimliliğin amacı; “doğal kaynakların korunması”, “endüstriyel verimlilik” ve “ekonomik kalkınma” gibi sürdürülebilirliği etkileyen pek çok farklı sistemin birbiri ile entegre olmasını sağlamaktır [21].

Eko verimlilik açısından yaşadığımız şehirlerin mekânsal, sosyal, ekonomik ve çevresel sürdürülebilirliği oldukça önemlidir. Çevresel açıdan; doğal sistemlerin restorasyonu, yenilenebilir kaynaklar ve verimli kullanımı, kent bahçeleri ve yerel tarımın geliştirilmesi, atık yönetimi ve geri dönüştürülebilirlik öne çıkarıken sosyal açıdan; ekolojik farkındalık, kamusal bilinçlenme, katılım, yerel kültürü korumak ve geliştirmeye çalışmak önem kazanmaktadır. Yine ekonomik açıdan çevreyi kirletmeyen ekonomik aktivitelerin desteklenmesi önceliği gelirken, mekânsal açıdan; kompakt arazi kullanımı, karma kullanım, araç kullanımının azaltılması, toplu taşıma ile yaya-bisiklet vb. yeşil ulaşım alternatiflerinin geliştirilmesi üzerinde durulmaktadır [22]. Dolayısıyla kentte yaşayan herkesin yaşamsal niteliği ve şehirlerin çevresel sağlığı mevcut kentsel metabolizmanın eko-verimliliğine dayanmaktadır. Eko-verimlilik, çevresel etkilerin ortaya çıktıktan sonra yok edilmesini değil, kaynağında önlenmesini amaçlamaktadır. 20. yüzyılın başlarından itibaren eko-verimlilik kavramı, “ekolojik verimlilik” olarak da nitelendirilmekte, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin kentsel planlama/tasarım rehberlerinde eylem/strateji kapsamlı çözümler olarak yeni gelişen mahalle yerleşimlerinde ele alınmaktadır. Özellikle Birleşmiş Milletler Eko-verimlilik Programı (UNIDO, 2008-2011) kapsamında kapasite oluşturma ve pilot uygulama alanları üzerinden eko verimlilik konseptli projelerin yaygınlaştırılması amaçlanmaktadır [23].

Dünya çapında eko komşuluk gelişimini anlamak için öncelikle sistemselsel bir yapı halinde ekolojik ağ (Şekil 2) yapısının incelemek gerekir. Genel hatlarıyla bütünsel ekolojik ağın yapısını oluşturan kavramlar aşağıda listelenmektedir [24].

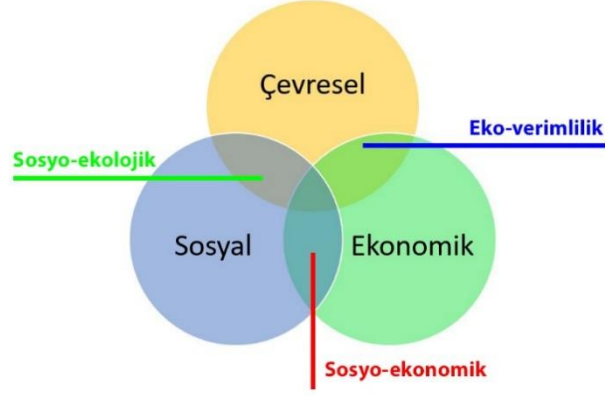
1. Yerel ekonomik gelişme (econ-urban): Şehirde ekonomik büyümenin daha yeşil sistemler ile gerçekleşmesi.
2. Çevresel sürdürülebilir ekonomik gelişme veya yeşil ekonomi ile gelişme (ecol-urban): İnşa sürecinde enerji ve materyal verimliliği olarak karbon ayak izini azaltan tasarım ve teknolojiye yönelim.
3. Yaşayan kent (living-urban): Dirençli, yaşanabilir, varlığa doğru bir bakış açısı ile toplumsal gelişmenin sağlanması.
4. Yerel kent (local-urban): Mahalle çemberi içerisinde yerel yaşama bütün yönleriyle aktif katılım sağlayan ve kendine güvenen bir toplumsal yapı.
5. Katılımcı kent (democ-urban): Yerel ölçekte yurttaşlığı bütünleştiren ve değişen değerler açısından müzakereci, toplumsal katılım.
6. Çeşitli kent (diverse-urban): Kentsel yaşamda sosyal ve ekonomik çeşitliliğin karmasından kültürel değer oluşturulması.
7. Eşitlikçi kent (equi-urban): Hedeflenen grupların ihtiyaçlarına dikkat ederek, eşitsizliklerin ve adaletsizliklerin giderilmesini kapsayan tümevarımsal bir parça-bütün metabolizması.



Şekil 2. Eko-ağ yapısı [24]

Şekil 2’de 7 bileşen ile tanımlanan eko-ağ yapısı sürdürülebilirliğin çevresel, ekolojik, ekonomik, sosyal ve mekânsal değerlerini içermektedir. Eko-ağ yapısı içerisinde inşa formları, ulaşım ve diğer mühendislik sistemleri, arazi kullanımları, kamusal mekânlar, yerel kurumlar, sosyal yapı ve yönetim, eko verimlilik açısından bütünleştirici bir çerçeve sunmaktadır. Özellikle kentsel eko mahalle gelişiminde önem taşıyan eko-ağlar ve bileşenleri mahallelerde sürdürülebilirlik ve sağlığın anahtarı olarak yerel sistemleri geliştirme potansiyeline sahiptir. Yerel merkezler aracılığıyla sağlıklı yaşam tarzı, yerel gıda, atık, su ve enerji sistemlerinin gelişimini desteklemek, doğal kaynakların verimli

kullanılması ve yenilenemeyen enerji kaynaklarının yenilenmesi eko komşuluk birimlerinin ana bileşenleridir. Öte yandan, eko komşuluk çekirdeğinde LEED yapı sertifika sistemindeki kriterlerden; akıllı konum, mahalle morfolojik yapısı ve şekli, yeşil altyapı sistemi ve yeşil yapılar, bölgesel öncelikli ve tasarım açısından farklı inovasyonlar vurgulanır iken BREEM yapı sertifika sistemindeki kriterler olan; enerji, sağlık, varlık, arazi kullanımı, kirleticiler, atık, ekoloji, inovasyon, materyal ve su vb. faktörler ele alınmaktadır. Buna göre, sürdürülebilir eko komşulukta hedeflenenler; sağlıklı çevre, sürdürülebilir ekonomi ve sosyal yaşamın geliştirilmesi olarak özetlenebilir (Şekil 3).



Şekil 3. Sürdürülebilir eko-komşuluğun temel bileşenleri

Sağlıklı bir çevre için minimum ekolojik etki, minimum atık veya kirlilik, geri dönüşüm, doğal çevrenin korunması, yaban yaşamının ve biyolojik çeşitliliğin devamlılığı gibi eko duyarlı yaklaşımlarının benimsenmesi önem taşımaktadır. Sürdürülebilir ekonomi; doğal çevre ve sosyal ekonomiyi zayıflatmadan yerel yönetimlerin desteği ile uzun vadeli yatırımların desteklenmesidir. Özellikle bu noktada yerel ekonomilere girdi sağlayacak hammaddenin işlenmesi sürdürülebilir ekonomiyi destekleyici bir girişimdir. Sosyal yaşamın geliştirilmesinde de güvenlik algısından ortaya çıkan aidiyet, sosyal destek ve farklı grupların bütünleşmesi, farklı kültür ve geleneklere saygılı bir çevre oluşturulması hedeflenmektedir [1].

Eko komşuluğun kurulmasında önem taşıyan eko-şehir (eco-city) ölçütlerinin tespit edilmesine ilişkin 2002-2005 yılları arasında AB tarafından yürütülen “Urban Developments Towards Appropriate Structures for Sustainable Transport” projesinde iklim değişikliğine ve diğer çevresel sorunlara dayanıklı eko duyarlı kentlerin ne şekilde planlanması gerektiğine ilişkin ilkeler aşağıdaki gibi sıralanmıştır (Tablo 2)[25].

Tablo 2. Eko komşuluk için eko-şehir ölçütleri [25]

Bölgesel ve Kentsel Kapsam	Kent yapısı	Ulaştırma
<ul style="list-style-type: none"> Doğal çevrenin, tüm bileşenleri ile birlikte korunması ve iklim bilgisinin planlamaya dâhil edilmesi. Çok merkezli bir yapı içinde, kompakt ve ulaşım odaklı bir kentsel yapı oluşturulması Kültürel mirasın korunması, yeniden canlandırılması. 	<ul style="list-style-type: none"> Mevcut kentsel alanın ve mevcut binaların yeniden kullanımının artırılmasıyla yeni açılacak yerleşim alanlarına ve binalara talebin azaltılması. Bina, bölge ve komşuluk çevresi ölçeğinde karma kullanımların mümkün kılınması. Kent dokusuyla, doğal elemanların ve döngüleri bütünleştirilmesi Gürültü ve hava kirliliğinin azaltılması 	<ul style="list-style-type: none"> Zaman ve mekân olarak aktiviteler arasındaki mesafenin kısaltılması ve yolculuk talebinin azaltılması. Komşuluk içi ulaşımında yaya ve bisiklet yollarına öncelik verilmesi. Komşuluk ölçeğinde ve bunlar arasında toplu taşımaya erişim önceliğinin sağlanması. Özel araçla yolculuk miktar ve hızının azaltılması
Enerji ve materyal akışı	Sosyo-ekonomi	Süreçler

Tablo 2 (devam). Eko komşuluk için eko-şehir ölçütleri [25]

<ul style="list-style-type: none">• Kentsel yapıların enerji etkinliğinin en üst düzeyde sağlanması• Enerji tedarikinde yenilenebilir enerji kaynaklarının tercih edilmesi.• Birincil su tüketiminin azaltılması• Üretilen ve çöpe giden atığın hacminin azaltılması• Çevre dostu ve zehirli olmayan yapımateryallerinin kullanılması	<ul style="list-style-type: none">• Dengeli bir sosyal yapı için sosyal çeşitliliğin desteklenmesi.• Girişimcilerin kente çekilmesi için teşvikler sağlanması.• Uygun işgücü kaynaklarının kullanılması	<ul style="list-style-type: none">• Bütünleşik planlama• Kentli katılımı
---	---	---

Tablo 2’de bölgesel ve kentsel kapsam, kent yapısı, ulaştırma, enerji ve materyal akışı, sosyo-ekonomi ve süreçler olmak üzere 6 başlıkta eko komşuluk ölçütleri ele alınmaktadır. Buna göre, eko komşuluk için önem taşıyan kriterlerin daha kapsamlı düzeyde eko şehirde vurgulandığı anlaşılmaktadır. AB Eko-kent yaklaşımında sürdürülebilir kentsel gelişmeyi desteklemek için stratejik eylem ve çözümler belirtilmektedir. Örneğin, kompakt kent formları, taşıma ve yolculuklarda harcanan yakıt ve zamanın önemi, sera gazı salımının azaltılması, yerel ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına vurgu yapılmıştır.

Benzer şekilde, Asya ve Pasifik ülkeleri için Birleşik Devletler Ekonomi ve Sosyal Komisyonu Çevre ve Kalkınma Birimi tarafından gerçekleştirilen çalışmalarda eko komşulukların önemine dikkat çekilmiş olup, eko komşuluk yaklaşımı ile hedeflenen eko verimlilik ajandasının temel bileşenleri olarak; ulaşım, mavi-yeşil altyapı, enerji altyapısı, atık yönetimi ve iletişim altyapısının iyileştirilmesi ile ilgili eko ajandalar hazırlanmıştır (Tablo 3).

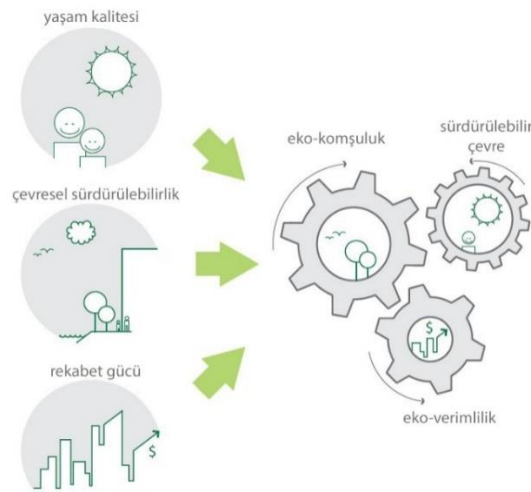
Tablo 3. Eko verimlilik ajandası temel bileşenleri [1],[13],[26],[27]

Mavi Altyapı –Su Kaynakları	Atık Yönetimi	Yenilenebilir Enerji	Yeşil Altyapı	Ulaşım	İletişim Altyapısı
*Su tüketimini azaltmak, yağmur bahçeleri tasarlamak *Bahçe sulamak için kullanmak üzere çatıdan yağmur suyunu toplayan ve depolayan yağmur varilleri yapmak *Gözenekli kaldırımlar ve geçirgen zemin malzemeleri ile yağmur suyunun ve yüzey akışının içeri sızmasına izin verilmesi *Su kaynaklarını geri dönüştürmek, bu kapsamda atık su toplama koridorları geliştirilmesi, içilmeyen su dağıtım koridorları oluşturmak, sadece içme suyu ihtiyaçları için içme suyu kullanmak. *Akıllı su sayaçları kullanımının yaygınlaşmasını sağlamak	*Katı atıkların artırılarak yeniden kullanılmasının sağlanması *Evsel atık, inşaat atığı ve katı atık altyapısının yönetimi *Kimyasalların kullanımını en aza indirmek veya ortadan kaldırmak için sera kanalizasyon artıma tesislerini teşvik etmek. *Atıkların geri dönüşümü ve kompostlanması aracılığı ile yerel bitki yetiştiriciliğini teşvik etmek	*Yenilenebilir enerji kaynakları ile fosil yakıt kullanımını azaltan tesisleri artırmak. *Etkin arazi kullanım politikaları *Güneş enerjisinden maksimum yararlanmaya yönelik mahalle tasarımı *Isınma-soğutma ve elektriksel sistemlerde yapıda minimum enerji kullanımını *Enerji verimliliği yüksek yapı tasarımlarına yönelmek *Peyzaj yağmur suyu yönetiminin teşvik edilmesi *Su verimliliği, geri dönüştürülmüş su vb. sistemsel çözümler *Aydınlatmada enerji verimli malzeme kullanımını *Doğal havalandırma ve	*Stratejik alanlarda yapı gelişim yoğunluğunun kontrol edilmesi. *Sürdürülebilir arazi kullanımını teşvik etmek, karma arazi kullanımını yaygınlaştırmak *Kamusal ulaşımı yaygınlaştırmak *Yeşil açık kamusal alan, 15 dakikalık yürüme mesafesinde mekânsal ihtiyaçların karşılanması, yeşil ağ sisteminin yeniden kurgulanması. *İklimsel konforu dikkate alan yapı-mekân-parcel ilişkileri *Parsel-konut düzenlemesinde ağaç-çalı dikimi yaygınlaştırılması, *Bitkilerle ya da gölgeleme elemanları ile yazın gölgeleme kışın ise ısı kazancı sağlanması.	*Yoğun alanlarda ticari işlevleri desteklemek için motorsuz ya da transit ulaşım sistemlerini etkinleştirmek *Ulaşım sistemlerini geliştirmek, transit modlar geliştirmek. *Servis, donatı ve park alanlarına yakın bisiklet durakları ve networkleri sağlamak *Estetik ve güvenilirliği olan yaya erişilebilir ağ sistemi geliştirmek *Sürdürülebilir cadde tasarımı için bağlantılı ve geçirgen caddeler oluşturmak *Yapı ön girişleri ve cephe estetik,	*Bilgisayar tabanlı donanım ve yazılım teknolojilerin (BİT) geliştirilmesi. *Kent planlamasında Coğrafi Bilgi Teknolojileri (GIS) CBS sistem olarak kullanımı *Bilgi akışını sağlayacak kablolu-kablosuz iletişim teknolojileri (CT) *Enerji kullanımı ve yapılarada sarfiyat azaltımı amaçlı toplumsal bilgilendirmeler *Atık azaltımı ve geri kazanım bilgilendirmeleri ve teşvik edici programlar *Kamu ulaşımında motorsuz ulaşımına dair kamusal toplantılar *Trafik gözlem sistemleri *Çevresel standartlara uygunluk konusunda puanlandırma cetvelleri oluşturulması [13].

Tablo 3 (devam).Eko verimlilik ajandası temel bileşenleri[1],[13],[26],[27]

<p>*Gri su geri kazanım sisteminin geliştirilmesi. *Yağış sularının uygun mevsimlerde toplanması *Su hasadı teknikleri ile su kullanımının azaltılması [26].</p>	<p>termal konforun tercih edilmesi. *Pasif güneş tasarımı: Bina yönelimi, pencereler ve gölgeleme. *Kimyasal içermeyen "somut enerjili" yapı malzemeleri *Geri dönüştürülmüş veya geri dönüştürülebilir yapı ve kaplama malzemelerinin seçimi. *Yerel mevcut malzemeler ile daha sağlıklı ve dayanıklı malzeme kullanımı</p>	<p>*Peyzaj alanlarının bakımının yapılması *Barınma ve yerleşim alanları ile bağlantılı erişilebilir ve güvenli çocuk oyun alanları *Spor faaliyetleri için tanımlanmış özel alanlar tasarlanması *İklim değişikliğine uyum için yerel çözümlere yönelim. *Mikro klima unsurlarının dikkate alınması *Yeşil yollarda, yeşil alanlarda, çatılarda, teraslarda ve yeşil duvarlarda yerel meyve ve sebzeler yetiştirilmesi. *Yerel gıdaya erişim ve gıda üretimi için fırsatlar sağlayarak mahalle ölçeğindeki yapı birimlerinde üretim-pazar alanları oluşturma. *Konut mülklerinde permakültürü destekleyen imar planlaması. *Doğal kaynakların, ekosistemin, yağmur ormanlarının ve doğal varlıklarının korunması [27]. *Tarım arazilerini ve çevreyi koruma *Nitelik açısından kullanıma uygun olmayan arazilerde peyzaj onarım çalışmaları ile kazanımı.</p>	<p>şeffaf kamusal açıklıklar oluşturmak. *Yaya devamlılığı için kaldırımlar, açık alanlar, yeşil alanların ilişkilenmesi *Paylaşımlı cadde uygulamalarını arttırmak *Caddelerin genişliği ve kaldırımları yayalar için güvenilirliğini sağlamak *Akıllı konum ve bağlantı sağlamak *Özel ihtiyaçları olan kişiler için erişilebilirliği sağlamak *Açık ve kamusal alanlarda rekreasyon tesislerine erişilebilirliğin sağlanması *Transit merkezine erişilebilirlik</p>
--	--	--	--

Tablo 3’de eko verimlilik ajandasında belirtilen kriterler, çevresel sürdürülebilirliği sağlamada paydaşların rekabet gücünü artırma ve yaşam kalitesi yüksek eko komşuluklar oluşturmak açısından da önemlidir (Şekil 4).



Şekil 4.Eko verimliliğin itici güçleri

Şekil 4’de görülebileceği üzere eko verimliliğin itici güçleri sürdürülebilir çevrede büyüme gereksinimini düzenlemektedir [28]. Sera gazı emisyonlarının azaltılması, karma ve kompakt şehirler yaratılması ve yenilenebilir kaynakların kullanımına olanak tanıyan eko verimli mahalleler, küçük ölçekte sürdürülebilir kent formları olarak insan aktivitesi ve insanın çevresel sistemi arasında bir denge sağlayıcıdır. Şehirde yaşayan insanların istihdam, eğitim, sağlık hizmetleri, servis ve hizmetlere erişilebilirliğinin sağlanmasında enerji, su, işlenmemiş materyal vb. kaynaklar ile mevcut arazi durumu tüm sistemin devamlılığı için temel altyapı çarklarıdır. Dolayısıyla eko verimliliği yüksek çevreler üretmek, mevcut altyapı ve olanakların koruma-kullanım dengesinde ele alınmasını sağlamakla birlikte belediyelere, işletmelere, topluluklara bir bütün olarak eko rekabet döngüsü şeklinde yönetimi teşvik etmektedir.

II. EKO VERİMLİLİĞİN EKO KOMŞULUK BİRİMLERİ ÜZERİNDEN İNCELENMESİ

Doğal kaynakların verimli bir şekilde kullanılması düşüncesinden gelişen eko verimlilik; UNEP - Birleşmiş Milletler Çevre Programı tarafından "bütünsel ve önleyici bir çevre stratejisinin ürün ve süreçlere sürekli olarak uygulanması ile insanlar ve çevre üzerindeki risklerin azaltılması" şeklinde nitelenmektedir [29]. Sürdürülebilirlik ilkelerinin yerel birimlerden başlayarak üst ölçekli planlarla bütünleştirilmesi, kaynakların etkin ve verimli kullanımını sağlayabilmede eko verimlilik bilincinin bir yaşam tarzı olarak benimsenmesi eko-kent ve eko komşuluk yaklaşımıyla gerçekleşebilmektedir. Bu yaklaşım ile Huijuan Dong vd., [30] geliştirdiği eko-kent değerlendirme yöntemleri açısından eko verimlilik ilkelerini dikkate alan bir entegrasyon şemasında 6 adet metod/analiz ele almaktadır. Bunlar aşağıda verilmektedir:

1. Girdi-Çıktı Analizi (Input–output analysis: IOA) metodu; eko verimlilik açısından çeşitli ekonomik sektörlerin karmaşık bağımlılığını ele almaktadır.
2. Yaşam Döngüsü Analizi değerlendirmesi (Life cycle analysis assessment: LCA) metodu; atıkların nihai bertarafı için ham maddelerin üretiminden kaynaklanan ürün seçeneklerinin çevresel etkilerini değerlendirmektedir.
3. Ekolojik ayak izi Analizi (Ecological footprint analysis: EF); tüketilen kaynaklar (fosil ve nükleer yakıt tüketimi) ile üretilen atıkların bir kısmını absorbe etmek için gereken biyolojik toprak ve suyu hesaplamaktadır.
4. Karbon ayak izi analizi (Carbon footprint: CF); Yaşam döngüsü açısından karbon emisyonunu değerlendirmektedir. İklim değişikliği etkilerini kapsamaktadır.
5. Enerji analizi (Energy analysis: EA); yenilenebilir dönüşümlere gereken enerji akışını hesaplamaktadır.
6. Maliyet faydası analizi (Cost benefit analysis: CBA); Emek, zaman ve maliyet tasarrufu açısından benimsenmesi ve uygulaması için en iyi seçeneklerinin belirlenmesidir [31].

Yukarıda belirtilen 6 analizin bulunduğu ortak nokta, eko-verimli süreçlerin oluşmasına ve kaynak tüketimini minimize etmeye odaklanırken, maksimum ölçüde insan ihtiyaçlarını karşılamaya yönelik politik, yasal ve stratejileri takip etmesidir. Eko verimlilikte sadece süreç değişikliğine gidilerek değil, üretim süreçlerinde iyileştirmelerin yapılması, çevre dostu hammaddelerin kullanılması, ekipman değişiklikleri, üretim planlaması, ürün/tasarım değişikliği ve atıkların geri dönüştürülmesi gibi endüstriyel sistemler ile birlikte planlama yapılmaktadır. Eko verimlilik kullanılan malzeme ve teknolojilerden bütünsel bir sisteme ve yaşam döngüsüne kadar, çevre yönetim sistemlerinin de dâhil olduğu geniş bir odağı kapsamaktadır [32]. Dolayısıyla eko verimliliği sağlamada kentsel altyapı

çözümleri açısından hammadde ve enerjiyi daha az kullanma, ürün girdi ve çıktılarının yeniden kullanımı, geri dönüşümünü sağlama, daha az atık üretme ve hatta tehlikeli atık üretimini azaltarak çevreyi korumaya yönelik tedbirlerin artırılması ile sadece çevresel kaygılar değil, “doğal kaynakların korunması”, “endüstriyel verimlilik” ve “ekonomik kalkınma” gibi pek çok farklı bileşen etkilenmektedir.

Bu kapsamda sürdürülebilir bir kent için eko verimliliği sağlayacak olan stratejik ilke ve yaklaşımlar;

- 1) Değişimi başlatmak,
- 2) Hedeflerin gerçekleşmesi için aktör/paydaş ilişkisini güçlendirmek
- 3) Mevcut altyapının iyileştirilmesi amacı ile uzun dönemli plan kararları ile kısa vadeli stratejileri belirlemek
- 4) Sürdürülebilir kentsel altyapıyı destekleyici uygulamaları arttırmak,
- 5) İnsanlar için mekânlar oluşturmak şeklindedir [33].

İlk olarak değişimi başlatmak için çevresel, sosyal, ekonomik koşullarını değerlendiren temel veriler (nüfus, yönetsel alan, sermaye, yerel iklim koşulları vb.) çıkartılmalı, kentsel zorunluluklar ve ihtiyaçlar (ekonomik, sosyal, çevresel koşulların swot analizi) belirlenmelidir. En küçük temel birim olan komşuluk ölçeğinden başlanarak sürdürülebilir bir kent için toplum ve şehrin erişilebilir kaynaklarının haritalaması çıkarılmalıdır. Aktör/paydaş ilişkisini güçlendirmek için ise çevre ve ekoloji konusunda çalışan meslek grupları, merkezi ve yerel yönetimler, STK’lar, iç sektör (ekonomik yapılanma) ortaklığı ile yerel halk ve özel sektör sürece dahil edilmelidir. Mevcut altyapının iyileştirmesine yönelik olarak; etkili stratejiler belirlenerek eylem ve stratejilerin çoklu fayda-kullanım ilişkileri tanımlanmalıdır. Kentsel altyapı geliştirmeye dayalı özel sektörün de dahil olduğu bütüncül yaklaşımlar geliştirilmesi ve toplulukların geleceği ve ihtiyaçların daha iyi karşılanması adına somut adımlar atılması, yerel hükümetlere stratejik planlarda olanak tanınması, uygun eylemler ile yerel değerlerin tanınması (ulaşım, yeşil bina, atık yönetimi), ekolojik duyarlılıkların tespiti ve iç sektör iş ortaklığının geliştirilmesi ile mümkün olabilmektedir. Son olarak, insanlar için mekân oluşturma ilkesinde ise yerel ihtiyaçlara daha iyi çözüm sunabilmek, katılımı artırmak ve şeffaf yönetim/yönetişim mekanizmasının oluşturulması önemlidir [33].

Yukarıdaki bilgiler ışığında Dünya çapında eko-verimlilik uygulamalarına bakıldığında çeşitli eko yerleşim örnekleri öne çıkmaktadır. Özellikle 1980’li yıllar ile eko yerleşim/mahalle projelerine duyulan ilgi ile 1981-1998 yılları arasında Londra Dockland Development Corporation tarafından ilk eko yerleşim prototip denemesi yapılmıştır. Geçen 30 yıllık süreç içerisinde Çin Hükümetinin “eko uygarlaşma” bakış açısı ile kaynak tasarrufu sağlayan, çevresel taşıma kapasitesine dayanan çevreye duyarlı çözümler üreten ve sürdürülebilir kalkınma ilkeleri ile kişi başına düşen gelirin artırılması hedeflenen bir yönetim anlayışı benimsenmektedir [34].

Çalışma kapsamında, Çin Ningbo, Caofeidian, Belçika; Liege, Londra; BedZED, İsveç, Malmö- Zac De Bonne, Fransa, Hammarby Sjöstad, İsveç- Stokholm eko komşuluk ele alınmıştır (Tablo 4).

Tablo 4. Çeşitli eko verimlilik uygulamaları [35],[36],[37],[38],[39],[40],[41]

Şehir	Şehir özelliği	Proje Adı/Çalışma adı	Eko verimlilik projeleri	Eko duyarlılık	İzlenen strateji
Ningbo /Çin	Liman/sanayi kenti	Eko-Şehircilikten Eko-Füzyona: Sürdürülebilir Şehirleşme için Çok Ölçekli Bir Çerçeve	Geri dönüştürülmüş yağmur suyu kullanımı. Yeşil çatılar Teknolojik arıtma ile %30 üzerinde su kullanımı ve %30 -%40	Sel felaketine karşı dayanıklılık	Eko füzyon yaklaşımı, Makro ölçekte yeşil alt yapı oluşturulması Mikro ölçekte bina



Tablo 4 (devam). Çeşitli eko verimlilik uygulamaları[35],[36],[37],[38],[39],[40],[41]

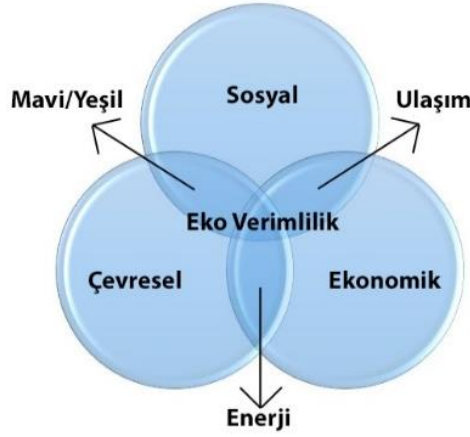
			oranında yeşil alan artırma.		tasarımlarına yönelim
Liege/Belçika 	Sanayi kenti	Bir eko-mahallede yaşam döngüsünün değerlendirilmesi: sürdürülebilir kentsel hareketliliğin ve fotovoltaik panellerin etkisi	Yağmur suyu kazanımı için dış mekânda %30 üzerinde yeşil geçirgen yüzey artırılması.	Sera gazı salımının azaltılması	Toplu taşıma sisteminin geliştirilmesi
Caofeidian 	Sanayi kenti	Tangshan Bay Eko-kent	Yağmur suyu yönetim sisteminin kurulması Yüzey drenajı ve bitki örtüsünün geliştirilmesi	İklim değişikliğine uyum ve toprak kabiliyeti azlığı	Eko teknoloji kullanımına yönlendirme
Beddington /Londra 	Sutton'da eski bir depolama sahası	BedZED	Sıfır fosil yakıt tüketen bir konut kompleksi tasarlamak ve yeşil altyapı oluşturmak	Sera gazı salımı	Sıfır Enerji Geliştirme.
Malmö 	Liman Kenti	Bo01	Yeşil dönüşüm olarak adlandırılan % 100 yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması Güneş, rüzgâr ve su kaynakları ile rüzgâr santralleri, güneş panelleri, ısı pompası ve su deposu oluşturulması	Sera gazı salımını	Eko-mahalle inşa etmek üzere Västra Hamne'nin atıl alanların kullanılmasını sağlamak
Zac De Bonne 	Sanayi kenti	Yeniden yeşillendirme: Zac De Bonne	Eko-mahalle tasarımıyla su ve enerji kaynaklarının verimliliğinin sağlanması %40 tan fazla sosyal konut projesi ile kentliyi sosyal hayata kazandırmak	Sosyal çevresel sorunlar	Sürdürülebilir Çevre ve kentsel çevrede eşitlik hakkı
Hammarby Sjöstad 	Kentsel dönüşüm alanı	Yeni Nesil Sürdürülebilir Eko-kent alanları	Yerel atıkların enerjiye dönüşümü, yeşil çatılar, Kentsel tarım olanaklarını artırma	İklim değişikliği, yenilenebilir enerji ihtiyacı	Biyoenerji ve yerel atıkların yakılması yoluyla İsveç ortalamasında en yüksek düzeyde yenilenebilir enerji elde etme, çevre dostu tasarımlar.

İncelenen eko komşuluk örneklemelerinde (Tablo 4) devam eden yerel düzeyde mikro ölçekli çalışmalar sürdürülebilir tüketim ve üretim ile ilgili politikalar, sürdürülebilir büyüme ve kaynak verimliliği gibi müdahaleler ve beraberinde finansman kaynakları ile ilişkilendirildiğinde ulusal, bölgesel ve metropoliten ölçekte aktif planlama kararlarını etkilediği görülmektedir. Böylece, eko verimliliğin etkin uygulama araçlarından birinin ekolojik tasarım olduğu söylenebilmektedir [42]. Ekolojik tasarımların kent ölçeğindeki etkisi de eko-kent ve eko komşuluk ölçeklerinde mekânsal düzenlemeler aracılığı ile görülmektedir.

IV. SONUC

Eko komşuluk/mahalle yaklaşımı planlama alanında son yıllarda tartışılan yeni bir konu değildir. Mevcut yerleşik kent dokusunda atık yönetiminin oluşturulması, iletişim altyapısının iyileştirilmesi, enerji verimliliğinin sağlanması, çevreci ulaşım sistemlerinin ve mavi-yeşil altyapısının geliştirilmesi,

kentin doğal kaynaklarının verimli kullanılması ve yerel ekolojik duyarlılıkların tespit edilmesi vb. stratejik politikalar ile kentleşmenin çevresel etkilerinin azaltılmasıyla eko mahalle yaklaşımı uygulanabilmektedir. Benzer şekilde eko komşuluk yaklaşımı, daha az doğal kaynak tüketimi, daha az hammadde, enerji ve su kullanımı, daha verimli süreç yönetimi ve atık oluşumu ile çevresel kirliliği minimuma indirmeyi amaçlamaktadır [43]. Bölgesel kalkınma perspektifinden bakıldığında kritik öneme sahip olan “sürdürülebilir kalkınma hedefleri” ile eko-verimlilik uygulamaları; çeşitli programlar, eko komşuluk yaklaşımları ve yeşil yapı sistemleri gibi işbirlikçi projeler ile gerçekleştirilebilmekte ve çevreye duyarlı, ekonomik, canlı, kültürel değerleri koruyan şehirler yaratılmasına katkı sağlamaktadır (Şekil 5) (Şekil 6).



Şekil 5. Eko verimlilik

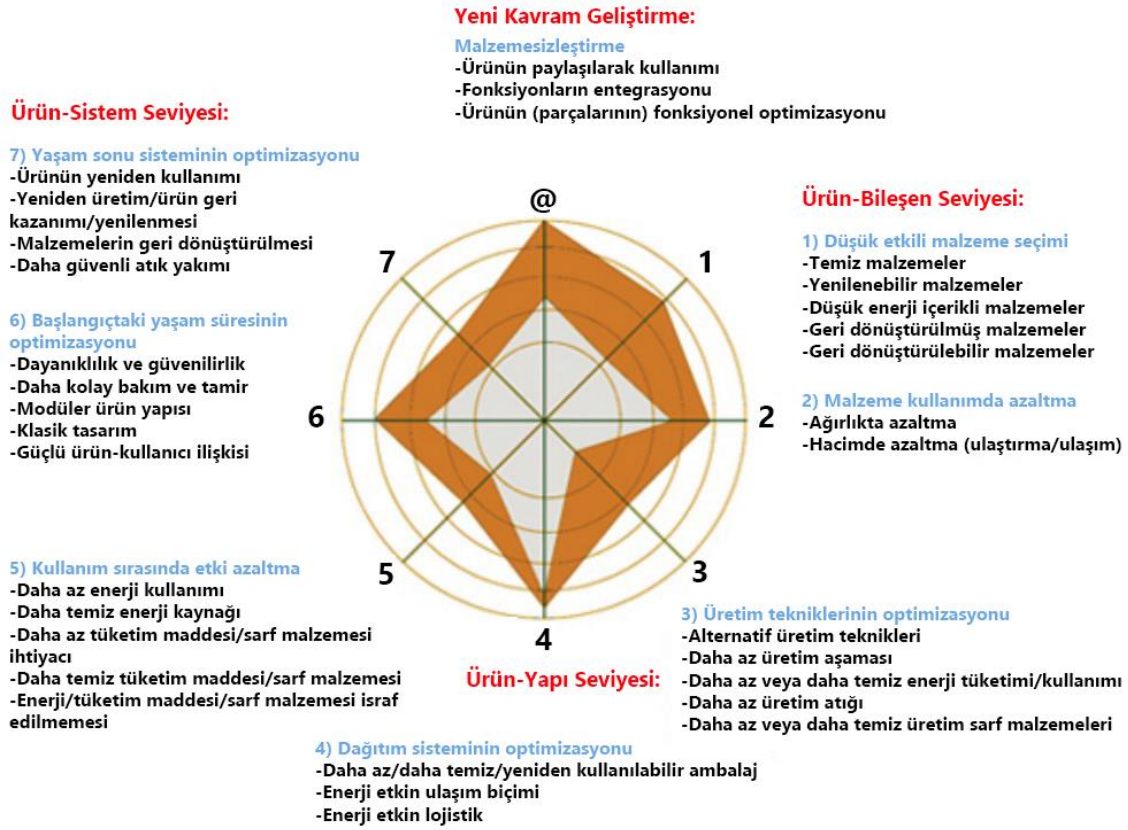


Şekil 6. Eko verimlilik bağlamında eko mahalle/ komşuluk yaklaşımı

Şekil 6’da bileşenleri tanımlanan eko verimlilik, eko mahalle/komşuluk kriterlerinin temelini oluşturmaktadır. Çevre üst başlığında sürdürülebilirlik ve eko mahalleler arasındaki ara yüzü oluşturan eko verimlilik kavramına UNEP’in 2009 yılında yayınladığı Eko tasarım Strateji Çarkında da yer verilmektedir [44]. Buna göre eko verimlilik;

- ürün ve sistem arasındaki denge,
- ürün ve bileşen seviyesi,
- ürün ve yapı seviyesi
- yeni kavram geliştirilmesi

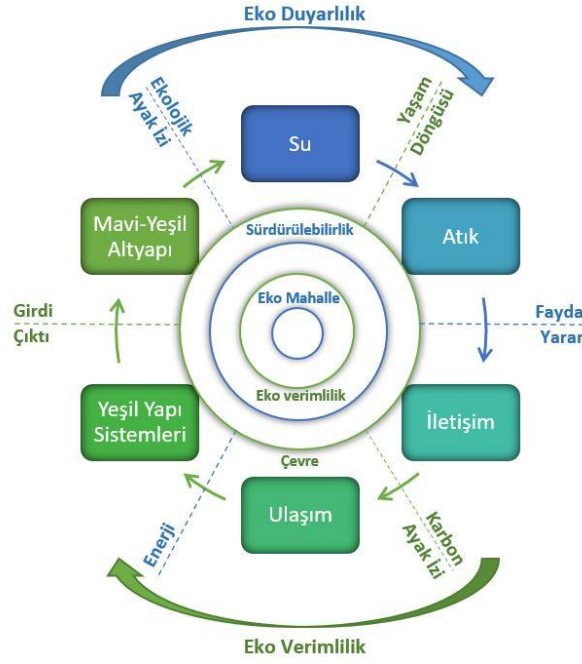
şeklindeki temel başlıklarda ele alınmaktadır (Şekil 7).



Şekil 7. UNEP Eko tasarım strateji çarkı [44]

UNEP Strateji Çarkında düşük etkili malzeme seçimi, malzeme kullanımını azaltma, üretim tekniklerinin optimizasyonu, dağıtım sisteminin optimizasyonu, kullanım sırasında etki azaltma, başlangıçtaki yaşam süresinin optimizasyonu, yaşam sonu sisteminin optimizasyonu gibi bileşenler ile kentsel altyapının gelişimi ve planlaması sürecindeki stratejik ilkelere değinilmektedir.

Bu çalışmada yerel düzeyde kent planlamasının çekirdeğini oluşturan komşuluk/mahalle planlaması için kavramsal bir model geliştirilmiştir (Şekil 8). İncelenen dünya örneklerinde ve çalışmalarda “eko ağ-eko komşuluk-eko verimlilik ve eko duyarlılık” iç içe geçmiş halkalar şeklinde birbirini etkilemektedir. Özellikle eko-verimliliğin uygulanmasında süreç-strateji izleme, üretim-tüketim planlaması, ürün/tasarım değişikliği ve atıkların geri dönüştürülmesi, eko duyarlılık tespiti için; üretim süreçlerinde iyileştirme müdahaleleri, çevre dostu hammaddelerin tercih edilmesi, gibi birbirini etkileyen çok yönlü çarkların kentsel sürdürülebilirliği sağladığı görülmüştür.



Şekil 8. Çalışma kapsamında üretilen eko mahalle ve eko verimlilik- eko duyarlılık kavramsal modeli

Şekil 8 ile ilişkilendirilen modelde sosyal, çevresel, ekonomik sürdürülebilirlik ve eko duyarlılıklar dikkate alınarak eko verimlilik çemberi içerisinde eko mahalle/ komşulukların planlanması gerektiği anlaşılmaktadır. Bu kapsamda su, atık, iletişim, ulaşım, yeşil yapı ve mavi-yeşil altyapı temel başlıklarında aşağıdaki stratejilere ihtiyaç duyulmaktadır:

- Enerji, hammadde, su, karasal alan gibi kaynakların verimli kullanılması,
- Yenilenebilir kaynakların sürdürülebilir kullanımı,
- Ekolojik ve karbon ayak izinin azaltılması,
- Biyoçeşitliliğin ve yaban hayatın korunması,
- Toplum için üreten ve istihdam olanaklarının geliştirilmesi,
- Servis ve hizmetlere erişilebilirliğin sağlanması,
- Yaşam kalitesinin yükseltilmeye çalışılması.

Ayrıca, Dünyada çeşitli kentlerde yapılmış ve yapılmakta olan örnek projeler ve araştırmalar incelendiğinde eko komşuluğun birbiri ile bağlantılı birçok konuda ortak mekanizma oluşturduğu görülmektedir [45]. Özellikle ekolojide duyarlı yaklaşımların, kentleşme sürecinde artan enerji kullanımını azaltarak, en az girdi ve maliyet dengesi ile eko verimliliği sağladığı görülmektedir. Dolayısıyla eko verimlilik; eko duyarlılık - eko komşuluk-eko ağ ilişkisi, tüme varım-tümden gelim şeklinde birbirini iten ve çeken çarklar şeklinde bir sistemsel döngü oluşturduğu görülmektedir. Eko verimlilik; “ürün girdisi + servisten fayda (yarar) elde etme /çevresel etki= değer birimi” olarak kabul edildiğinde, eko duyarlılık; “ çevresel etki/ürün girdisi + servisten fayda (yarar) elde etme= değer birimi” olarak tanımlanabilmektedir [33]. Bu ikili işleyişin sağlanması ve korunması için kent planlama/ tasarımı üst ölçek planlardan alt ölçek projelere kadar sürecin kontrol edilmesi gerekmektedir [46].

Yukarıdaki bilgiler ışığında ülkemizde de bazı önemli çalışmalar yapıldığı görülmektedir. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı destekli 2019-2023 Stratejik Planı kapsamında, şehirlerin yaşanabilirliğini artırmaya ve enerji kaynaklarının korunmasına yönelik 25 il için master planlar hazırlandığı bilinmektedir. Hazırlanan planlarda, eko verimlilik ve duyarlılığı geliştirmek için atık su arıtma ve atık yönetim tesislerini geliştirmeye önem verilerek, farklı aktör/paydaş katımlı (belediyeler, kamu kurumları, üniversite, sivil toplum kuruluşları, alışveriş merkezleri, restoranlar, sanayiciler, hastaneler, OSB) “sıfır atık” projeleri geliştirildiği görülmektedir. Sürdürülebilir çevre duyarlılığını artırmak için “Eko etiket” sistemi ile Ulusal Çevre Etiket Sisteminin kurulmasına yönelik çalışmalar yapıldığı bilinmektedir. Ayrıca, yapılarda enerji verimliliğini artırmaya yönelik 700 binden fazla binaya Enerji

Kimlik Belgesi verilmesi sağlanmıştır. Özellikle kırsal yerleşimlerde yöresel mimarinin devamlılığını sağlamak üzere fiziki çevreye yönelik projeler geliştirilmesinin altı çizilmiştir. Korunması gerekli alanlara yönelik olarak altyapı iyileştirme, bütünsel plan ve yönetmelikler oluşturma adına başlatılan çalışmalar da vardır [47].

Bu kapsamda üst ölçek planların, plan notu ve bütünleştiği olan plan raporunun ekolojik kent teması altında yeniden ele alınması, kentin alt parçalarında mahalle dokularının oluşumunu etkileyerek, yapı düzeni kullanım kaynaklı enerji tüketim kalıplarının oluşturulması, kullanılan kaynak yoğunluğu ve beraberinde ortaya çıkan ve istenmeyen koşulların bütüncül düşünülmesi önem kazanmaktadır. Eko verimliliği ve eko duyarlılığı yüksek çevreler üretmek için mevcut altyapı ve olanakların koruma-kullanım-memnuniyet dengesinde ele alınması gerekmektedir. Ayrıca, hem süreç yönetiminde hem de mevcut durumun değerlendirilerek strateji/politikalar üretilmesinde aktörler ve paydaşların tanımlanması önem taşımaktadır. Eko mahalle/komşulukların tasarlanarak uygulanabilmesi için aktörler ve paydaşlardan yerel yönetimler başı çekmektedir. Yerel yönetimler, Ulusal Eylem Planlarını esas alarak her bir yerleşim için ayrı bir kent rehberi hazırlamalıdır. Yerel yönetimlerce hazırlanan bu rehberler birer yol haritası olarak eko mahalle ve eko duyarlılık yaklaşımı geliştirmede yardımcı olacaktır.

Ayrıca, gerek yeni gelişme alanlarında gerekse mevcut yapı çevre tasarımında kalite, sağlamlık, erişilebilirlik, enerji verimliliği, afetlere dayanıklılık vb. standartlar geliştirilmesi ile aşamalar halinde uygulama, yönetim, denetleme imkanı tanınmış olacaktır. Özellikle yeni kentsel gelişim bölgeleri için il ve ilçe düzeyinde riskli alanlar, korunması gerekli enerji rezerv alanları tespit edilerek mevcut altyapı olanaklarını destekleyen ekonomik gelişim ve sosyal yapı gereksinimi karşılanması, ekonomik faktörlerin yanısıra, çevresel risk faktörü taşıyan alanlar, doğal rezerv alanları gibi eko duyarlılığı belirlenen alanların belirli kriterler ve puanlandırma sistemi karşılığında yapılaşmaya açılması, yerel yönetimler tarafından benimsenmesi gereken önemli konular arasındadır.

Yukarıdaki bilgiler ışığında, yerel dinamiklere ve potansiyellere sahip belediyeler, hem kamuyu hem de özel sektörü yönlendirerek tüm katılımcıların ve sürecin tümünden “kazan- kazan felsefesi” ile yürütülmesine imkân oluşturmalıdır. Böylece eko mahalle/komşuluk birimlerinin makro düzeye uygun şekilde yerel yönetimlerce yere has özellikleri (ekonomik, çevresel, sosyal ve mekânsal) kullanarak tasarlanması, sürdürülebilir kentler oluşturulmasına katkı sağlanmış olacaktır.

V. KAYNAKLAR

[1] G. Mossad, Y. Farghali, N. Hany and N. Rizk, “Environmental guidelines for sustainable neighborhood planning case study: Alex-West Compound, Alexandria,” *Journal of Al Azhar University Engineering Sector*, vol. 13, no. 49, pp. 1360-1379, 2018.

[2] G. Okumuş ve H. Türkoğlu, “Komşuluk birimi ölçeğinde, coğrafi bilgi sistemleri tabanlı bir kentsel sürdürülebilirlik değerlendirme modeli önerisi,” *Planlama*, c. 27, s. 2, ss. 193–204, 2017.

[3] United Nations. (2016, 17 Ekim). “Yeni kentsel gündem: herkes için sürdürülebilir kentler ve yerleşimlere ilişkin Kito bildirgesi (Habitat III).” [Online]. Erişim: <https://uploads.habitat3.org/hb3/NUA-Turkish.pdf?v=2>.

[4] U.S.G.B.C., LEED for Neighbourhood Development Rating System, USA, 2012.

[5] H. A. M. Khogali, “Sustainable eco neighbourhood assesment report in residential neighbourhood in greater khartoum” *International Conference for Future Sustainability, Applied Science University & London South Bank University, Bahrain*, 2017, pp.1-40.

- [6] S. G. Ünal ve D. Erol, “Sürdürülebilir mahalle planlamasının değişimi, planlamada yeni eğilim ‘EkoYer’ yaklaşımı ve Türkiye’de uygulanabilirliği,” *Planlama*, c. 30, s. 1, ss. 15–35, 2019.
- [7] K. B. Y. Kumlu, Ş. Tüdeş ve R. Keleş, “Komşuluk birimi ölçeğinde yapılı çevreyi biçimlendiren planlama kararlarına ilişkin sonuçların ölçülmesine yönelik çok değişkenli bir yöntem önerisi,” *Planlama*, c. 28, s. 3, ss. 328–347, 2018.
- [8] O. Furuseth, “Neotraditional planning: a new strategy for building neighborhoods?,” *Elsevier*, vol. 14 no. 3, pp. 201–213, 1997.
- [9] R. Steuteville. (2018, 3 May). “25 Great Ideas of New Urbanism,” [Online]. Erişim: <https://www.cnu.org/sites/default/files/25-great-ideas-book.pdf>.
- [10] P. G. Berg and G. Nycander, “Sustainable neighbourhoods - a qualitative model for resource management in communities,” *Landscape and Urban Planning*, vol. 39, no. 33, ss. 117-135, 1997.
- [11] A. Madanipour. Design of Urban Space: An Inquiry into a Socio-Spatial Process. London, 1ST Ed, 2001.
- [12] M.C. Georgiadou, “Eco-neighbourhood Planning in Greece, IAIA10 Conference Proceedings The Role of Impact Assessment in Transitioning to the Green Economy 30th Annual Meeting of the International Association for Impact Assessment”, *International Conference Centre Geneva - Switzerland*, 2010.
- [13] Ö. Y. Ercoşkun, “Comparison between Turkish&Scandinavian housing and key strategies for ecotech design,” *İTU A/Z*, vol. 5, no. 1, pp. 74-96, 2008.
- [14] A. K. Arkun, “Türkiye’de sürdürülebilir kentsel tasarım modeli ve değerlendirme sistemi geliştirmek,” *Şehir ve Medeniyet Dergisi*, c. 4, s. 12, ss. 109-134, 2020.
- [15] Erişim tarihi: (2021, 10 Nisan). [Online]. Erişim adresi: https://www.breeam.com/BREEAMInt2016SchemeDocument/#resources/output/10_pdf/a4_pdf/nc_pdf_printing/sd233_nc_int_2016_print.pdf
- [16] Erişim tarihi: (2021, 10 Nisan). [Online]. Erişim adresi: <https://kapost-files-prod.s3.amazonaws.com/published/54886ef033efbe406e00012a/ebook-leed-v4-user-guide.pdf>
- [17] Erişim tarihi: (2021, 10 Nisan). [Online]. Erişim adresi: <https://www.ibec.or.jp/CASBEE/english/overviewE.htm>
- [18] Erişim tarihi: (2021, 10 Nisan). [Online]. Erişim adresi: <http://www.iisbe.org/system/files/SBTool%20System%20as%20a%20platform%20for%20education%20in%20SBE.pdf>
- [19] Erişim tarihi: (2021, 10 Nisan). [Online]. Erişim adresi: <https://new.gbca.org.au/>
- [20] Erişim tarihi: (2021, 10 Nisan). [Online]. Erişim adresi: <https://www.cedbik.org/tr/b-e-s-t-konut-sertifikasi-12-pg>
- [21] Güney Ege Kalkınma Ajansı, (2018, 1 Temmuz). *Eko-Verimlilik, Güney Ege*, [Online]. Erişim: https://geka.gov.tr/uploads/current_publications_v/5e397d63a1395-geka-sayi17yukle.pdf.
- [22] H. Kaplan, S. Aslan and Z. Özdemir, “Ecological planning study towards eco-urbanisation project: Cide (Türkiye),” *2nd International Sustainable Building Symposium*,” 2015, pp. 1-11.

- [23] F. Ulutas and E. Alkaya, "Green Entrepreneurship in Turkey: Regional Activity Centre for Cleaner Production (CP/RAC) Mediterranean Action Plan," Regional Activity Centre for Cleaner Production., Ankara, 2011.
- [24] M. Holden, C. Li and A. Molina, "The emergence of spread neighbourhoods around the world," *Sustainability*, vol. 7, pp. 11418-11437, 2015.
- [25] Ç. Tuğaç, "Türkiye için iklim değişikliğine dayanıklı kentsel planlama modeli önerisi: eko-kompakt kentler," *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, c. 32 s.4 ss. 1047-1068, 2018.
- [26] E. Kırtorun ve F. Karaer, "Su yönetimi ve suyun sürdürülebilirliği", *Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi*, c. 1, s. 2, ss. 151-159, 2018.
- [27] S. Kyvelou, M. Sinou, I. Baer and T. Papadopoulos, "Developing a South-European Eco-Quarter Design and Assessment Tool Based on the Concept of Territorial Capital," *Sustainable Development-Authoritative and Leading Edge Content for Environmental Management: IntechOpen*, pp. 561-588, 2012.
- [28] UN-HABITAT, "Planning Sustainable Cities: Global Report on Human Settlements," 2009.
- [29] United Nations Environment Programme, (2019, 1 March). *Cleaner production: a training resource package, industry and environment*, [Online]. Erişim: <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/8281/-Cleaner%20Production%20-%20A%20Training%20Resource%20Package-19962285.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- [30] H. Dong, T. Fujita, Y. Geng, L. Dong, S. Ohnishi, L. Sun, Y. Dou and M. Fujii, "A review on eco-city evaluation methods and highlights for integration," *Ecological Indicators*, vol. 60, pp. 1184-1191, 2016.
- [31] M. Alawi, "Eco-Cities as an approach to solve urban problems," Yüksek lisans tezi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Uludağ Üniversitesi, Bursa, Türkiye, 2016.
- [32] B. Güngör ve B. Felekoğlu, "Eko-verimlilik kavramı, gelişimi ve uygulanma süreci," *BAUN Fen Bil. Enst. Dergisi*, c. 20, s. 3, ss. 90-104, 2018.
- [33] United Nations, (2011, 1 January). *Are we building competitive and liveable cities?: Guidelines for developing eco-efficient and socially inclusive infrastructure*, [Online]. Erişim: <https://www.cepal.org/en/publications/37700-are-we-building-competitive-and-liveable-cities-guidelines-developing-eco>
- [34] The Climate Group, (2014, 1 February). "Eco-civilization: China's blueprint for a new era," *Insight briefing*, [Online]. Erişim adresi: http://www.kachan.com/files/_assets/files/China-Ecocivilisation.pdf.
- [35] A. Cheshmehzangi, A. Flynn, M. Tan-Mullins, Deng, Xie, L. E. W. Mangi, W. Chen, "From eco-urbanism to eco-fusion: an augmented multi-scalar framework in sustainable urbanism". *Sustainability*, vol. 13, no. 4, 2021.
- [36] Erişim tarihi: (2021,9 Nisan). [Online]. Erişim adresi: <https://energy-cities.eu/members/city-of-liege/>
- [37] Erişim tarihi: (2021, 9 Nisan). [Online]. Erişim adresi: <https://www.rhinescheme.com/work/caofeidian-eco-city-landscape/>
- [38] Erişim tarihi: (2021, 11 Nisan). [Online]. Erişim adresi: <https://www.zedfactory.com/bedzed>






- [39] Erişim tarihi: (2021,11 Nisan). [Online]. Erişim adresi: <https://www.urbangreenbluegrids.com/projects/bo01-city-of-tomorrow-malmo-sweden/>
- [40] Erişim tarihi: (2021, 15 Nisan). [Online]. Erişim adresi: <https://www.21stcenturydevelopment.org/media/1227/zac-de-bonnepdf.pdf>
- [41] Erişim tarihi: (2021, 18 Nisan). [Online]. Erişim adresi: <https://www.thenatureofcities.com/2014/02/12/hammarby-sjostad-a-new-generation-of-sustainable-urban-eco-districts/>
- [42] H. Brezet,“Ecodesign-A promising approach to sustainable production and consumption,” United Nations Environmental Programme (UNEP), Paris, 1997.
- [43] B. Bekci, G. Taskan, C. Bogenc. “A habitant-focused approach to the concept of eco-city at industrialized cities with a rural city character (Bartın-Karabük) Turkey sample,” *Journal of Food, Agriculture & Environment*, vol. 11, pp. 867-872, 2013.
- [44] M. Crul, J. C. Diehl and C. Ryan, “Design for sustainability-A step by step approach,” UNEP, Paris, 2009.
- [45] Ç. Çetinkaya, “Eko-kentler: kent ve doğa ilişkisinde yeni bir sistem tasarımı,” *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, c. 6 s. 1 ss. 12-16, 2013.
- [46] E. Peker ve C. İ. Aydın, “Değişen iklimde kentler: yerel yönetimler için azaltım ve uyum politikaları,” İstanbul Politikalar Merkezi–Sabancı Üniversitesi–Stiftung Mercator, 2019.
- [47] T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, (2019). *2019-2023 Stratejik Planı*, [Online]. Erişim adresi: https://webdosya.csb.gov.tr/db/strateji/icerikler/csb_2019-2023-stratej-kplan-11_20191108155418.pdf



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Marinarozelotes barbatus (L. Koch, 1866)'un Sitogenetik Analizi

 Hatice POYRAZ^{a,*},  Fahrettin Anıl SIRLIBAŞ^a,  Şeyma CİVAN^a,  Ümit KUMBIÇAK^b,
 Zübeyde KUMBIÇAK^b

^a Biyoloji Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Nevşehir, TÜRKİYE

^b Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Fen Edebiyat Fakültesi, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Nevşehir, TÜRKİYE

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

DOI: 10.29130/dubited.1015601

ÖZ

Örümcekler, en çok çalışılan araknid takımlarından birini temsil etmektedir. Karmaşık cinsiyet kromozomu belirleme sistemleri nedeniyle özellikle sitogenetik açıdan oldukça ilgi çekicidirler. Kromozomal çalışmalarda bu karmaşıklık, örümcek sitogenetiği alanındaki çalışmaların sayısını kısıtlamıştır. Bu çalışmada Türkiye'nin farklı habitatlarından toplanan erkek örümceklerde Gnaphosidae familyasına ait *Marinarozelotes barbatus*'un kromozom özellikleri ilk kez araştırılmıştır. Yer örümceklerini incelemek için standart Giemsa boyaması, hipotonik uygulama, dokuların sabitlenmesi-ezilmesi ve son olarak havada kurutma yöntemleri uygulanmıştır. Türün diploid sayısı $2n♂=22$ ve eşey kromozom sistemi X_1X_20 şeklindedir. Eşey kromozomların ve otozomların kromozom morfolojisi telosentrik tipte bulunmuştur. Otozomal kromozomlardaki relatif uzunluklar kademeli olarak azalış göstermiştir (%9,85-%7,07). Eşey kromozomlarından X_1 (%11,11)'in karyotipte en büyük kromozom olduğu, X_2 (%6,14)'nin ise en küçük kromozom olduğu hesaplanmıştır. Mayoz bölünmenin profaz 1 evresinde eşey kromozomları pozitif heteropiknotik özellik göstermektedir. Sonuç olarak sunulan ilk karyolojik bulgular, *Marinarozelotes* cinsi için hem yeni veriler sunmakta hem de yer örümceklerinin karyolojik özellikleri hakkındaki bilgilerimizin artmasına katkı sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler: Karyotip, Kromozom, *Marinarozelotes*, Mayoz, Örümcek

Cytogenetic Analysis of *Marinarozelotes barbatus* (L. Koch, 1866)

ABSTRACT

Spiders represent one of the most studied arachnid orders. They are of particular interest from a cytogenetic point of view because of their complex sex chromosome determination systems. This entanglement in chromosomal studies has limited the number of studies in spider cytogenetics. In this study, chromosomal features of *Marinarozelotes barbatus* belonging to the Gnaphosidae family were investigated for the first time in male spiders collected from different habitats in Turkey. Standard Giemsa staining, hypotonic application, fixation- crushing of tissues and finally air drying methods were applied to examine the ground spiders. The diploid number of the species is $2n♂=22$ and the sex chromosome system is X_1X_20 . Chromosome morphology of sex chromosomes and autosomes was found to be telocentric type. Relative lengths of autosomal chromosomes decreased gradually (9,85%- 7,07%). X_1 (11,11%) of the sex chromosomes was calculated to be the largest chromosome in the karyotype, while X_2 (6,14%) was the smallest chromosome. In the prophase 1 stage of meiosis, the sex

chromosomes show positive heteropycnotic features. As a result, the first karyological findings presented will both provide new data for the genus *Marinarozelotes* and contribute to the increase in our knowledge about the karyological characteristics of the ground spiders.

Keywords: *Karyotype, Chromosome, Marinarozelotes, Meiosis, Spider*

I. GİRİŞ

Örümcekler (Arthropoda: Arachnida: Araneae); dünya çapında 132 familya içerisinde 4265 cins ve taksonomisi bilinen 50000'den fazla tanımlanmış türün [1] mevcut çeşitliliği ile karasal canlıların en büyüleyici ve en çeşitli grubu arasında yer almaktadır [2].

Örümcekler, evrimsel bakış açısından Mesothelae, Mygalomorf ve Araneomorf olmak üzere; 3 temel monofiletik sınıfa ayrılmaktadır [3]. Örümcekler üzerinde yapılan kromozomal çalışmalar şu anda 132 örümcek familyasından sadece 80'ine ait olan 1117 türü kapsamaktadır [4]. Türleri karşılaştırmak için kullanılan en önemli karyotip özelliklerinden biri de eşey kromozom sistemidir [5]. Araneomorf alt takımına dâhil edilen gruplar arasında Haplojin soyuna ait örümceklerde X tipi eşey kromozom sistemi ve metasentrik/submetasentrik kromozom morfolojisi baskınken; bu özelliklerin aksine sitogenetik olarak araştırılan en yüksek sayıda tür sergileyen Entelejin örümceklerde ise; X_1X_2 tipinde eşey kromozom sistemi ve akrosentrik/telosentrik morfolojiye sahip kromozomların korunumu mevcuttur [6, 7].

Gnaphosidae familyası (Yer örümcekleri), dünya genelinde coğrafi bir dağılıma sahip olduğu bilinen [8], 145 cins ve 2429 tür olmak üzere tür sayısı bakımından en zengin beşinci örümcek ailesini oluşturmaktadır [1]. Sitogenetik açıdan gnafosidler; Araneidae, Lycosidae ve Salticidae familyaları ile birlikte entelejin örümceklerin en iyi araştırılmış ailelerinden biridir. Buna rağmen karyotipleri bilinmeyen birçok gnafosid cinsi vardır. Şimdiye kadar 24 cinsten sadece 51 gnafosid türü sitogenetik açıdan analiz edilmiştir [4]. Böylece yer örümceklerin bu analizleriyle birlikte etkileyici kısmı, sitogenetik verilerin artan bir temsili olarak aile içinde bulunan karyotipler arasındaki ilişkilerin kurulmasına katkıda bulunması olacaktır [9].

Bu çalışma; Gnaphosidae familyasına ait *Marinarozelotes barbatus* (L. Koch, 1866) türünün kromozomlarını karakterize etmeyi amaçlamaktadır. Elde edilen veriler neticesinde; hem sitogenetik verilere katkıda bulunmak hem de kromozom evrim mekanizmaları ve özellikle de erkeklerde mayoz bölünme sırasında X_1X_2 gibi eşey kromozomal sistemlerin davranışları ile ilgili tartışmalara katkıda bulunmak hedeflenmiştir.

II. MATERYAL ve METOT

Çalışmada kullanılan *M. barbatus* türüne ait örnekler, Nisan 2018 yılında yapılan arazi çalışmaları sonucunda Kayseri- Adana ve Mersin illerinden toplanmıştır. Örümcekler doğal habitatlarından direkt toprak yüzeyinden ve taş altlarından canlı olarak yakalanmıştır (Tablo 1). Örneklerin, deney yapıncaya kadar haftada iki kez meyve sinekleriyle beslenmesi sağlanmıştır. Örümcekler Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi- Fen Edebiyat Fakültesi- Genetik Laboratuvarı'nda muhafaza edilmiştir. Örneklerin tür teşhisi ise; Dr. Zübeyde Kumbıçak tarafından yapılmıştır.

Tablo 1. Türün lokasyon bilgileri

Kullanılan örnek sayısı	Toplama tarihi	Lokalite ve coğrafi koordinat bilgisi
1♂	14.04.2018	Adana, Pozantı

		37°25'35"N, 34°51'42"E
2 ♂♂	21.04.2018	Mersin, Tarsus 36°54'14"N, 34°54'58"E
3 ♂♂	07.04.2018	Kayseri, Pınarbaşı 38°43'20"N, 36°24'25"E

Kromozom preparatlarının hazırlanması Pekár & Král [10] yöntemine göre gerçekleştirilmiştir. Canlı hâldeki ergin erkek örümcekler; pens yardımıyla prosoma bölgesinden sıkılarak öldürülmüştür. Erkek örümcek gonadları; çok sayıda hücre içerdiğinden ve mitotik-mayotik evreleri birlikte değerlendirilmesi mümkün olduğundan tercih edilmiştir [11]. Örümcek gonadları stereomikroskop altında omurgasızlar için fizyolojik tuz çözeltisi içerisinde diseksiyon yapılarak çıkarılmıştır. Daha sonra gonadlar; hipotonik bir solüsyonda oda sıcaklığında 12-15 dakika tutularak hücrelerin şişmesi sağlanmıştır. Bir sonraki basamakta ise gonadlar taze hazırlanmış 3:1 etanol/glasiyal asetik asit çözeltisinde 10 dk. ve 20 dk. olmak üzere iki kez fikse edilmiştir. Temiz lamaların üzerine birkaç damla % 60 'lık asetik asit çözeltisi damlatılarak, ısıtıcı tabla üzerinde (42 °C) yayılarak gonadların eritilmesi sağlanmıştır. Son olarak hazırlanan preparatlar; fosfat tampon içeren (pH= 6.8) % 5'lik Giemsa boyasıyla 50 dk. boyanması sağlanmıştır.

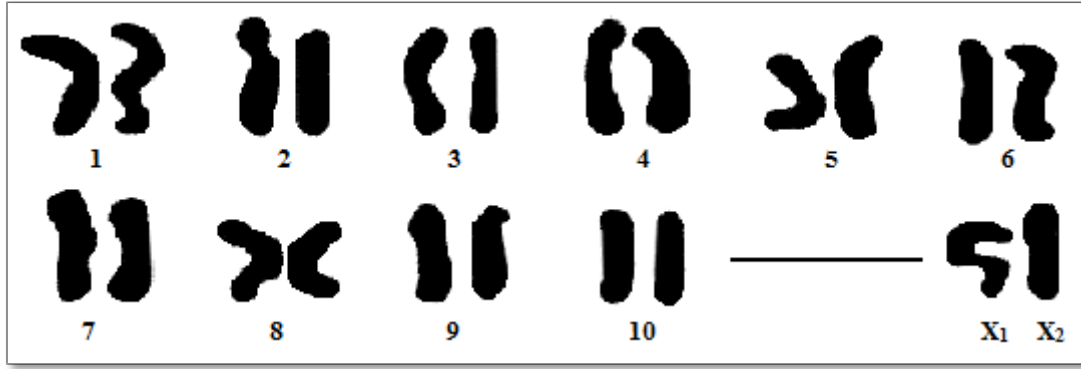
Hazırlanan preparatlardaki kromozomların mitotik ve mayotik safhaları ışık mikroskopundaki-Olympus CX21- 10X büyütmede tespit edilerek; kromozomların ayrıntılı olarak incelenmesi ise 100X büyütmede gerçekleştirilmiştir. *M. barbatus* türüne ait karyotip yapım aşamasında en az 10 metafaz evresi incelenmiş, fotoğraflar ise CellSens programı (BX53 Olympus ışık mikroskobu 100X büyütmede) ile çekilmiştir. Relatif kromozom uzunlukları da mikrometrik (μm) olarak bu program ile ölçülerek her bir kromozom çiftinin % değeri hesaplanmıştır. *M. barbatus* türüne ait karyotip fotoğrafı ise Adobe Photoshop CS3 programı kullanılarak hazırlanmıştır. Kromozomların sentromer pozisyonları ise Levan ve ark. [12]'a göre konumlanmıştır.

III. BULGULAR

Bu çalışmada, *M. barbatus*'un sitogenetik özelliklerinden diploid sayısı, eşey kromozom sistemi ve mayoz bölünme sırasındaki davranışları ilk kez araştırılmıştır.

A. *M. barbatus*'un KARYOTİP ve EŞEY KROMOZOM SİSTEMİ

M. barbatus'un erkek bireylerin kromozom seti $2n=22$ (Şekil 2-a), hem otozom hem de gonozomların kromozom morfolojisi ise telosentrik tiptedir. En büyük kromozom X_1 (%11,11), en küçük kromozom ise X_2 (%6,14) eşey kromozomudur. Otozomal kromozomlar, uzunluklarının kademeli olarak azalan sırasına göre düzenlenmiştir (Tablo 2).

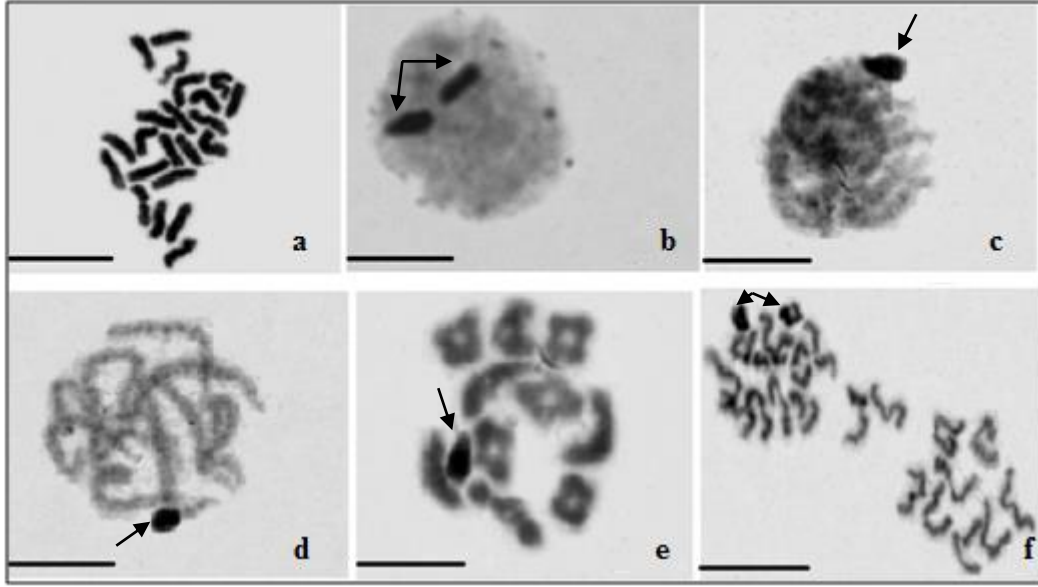


Şekil 1. *M. barbatus*'a ait karyogram (Ölçüm= 20 μ m)

Tablo 2. *M. barbatus* türün kromozomal kol uzunlukları, relatif uzunlukları ve kromozom morfolojisi

Kromozom Çifti	Toplam uzunluk- (μ m) (Uzun kol+ kısa kol)	Relatif uzunluk (%)	Kromozom morfolojisi
1	11.75	9.85	Telosentrik
2	10.73	8.99	Telosentrik
3	10.51	8.81	Telosentrik
4	10.29	8.63	Telosentrik
5	9.94	8.33	Telosentrik
6	9.68	8.12	Telosentrik
7	9.41	7.89	Telosentrik
8	9.09	7.61	Telosentrik
9	8.83	7.40	Telosentrik
10	8.43	7.07	Telosentrik
X ₁	13.26	11.11	Telosentrik
X ₂	7.32	6.14	Telosentrik

Mayotik Profaz 1'in alt evresi olan leptotenden itibaren eşey kromozomları çekirdek yüzeyinde, vezikül hâlinde konumlanmaya başlamış ve ilerleyen safhalarda ise kısalıp kalınlaşması devam ederek daha koyu boyanması (heteropiknotik özellik) neticesinde sayılabilir konuma ulaşmıştır. Böylece mayotik hücrelerde eşey kromozomların tanımlanması, yüksek derecede yoğunlaşma ve pozitif heteropiknotik ile tanımlanmıştır (Şekil 2- b,c,d). Diploten evresinde ise 10 otozomal bivalent ve iki eşey kromozomu gösterilmiştir (Şekil 2- e). İkinci mayotik evrenin başlangıcında süper spiral yapıda olan kromozomlar (Profaz 2), belirgin olmaya başlamış n=12 ve n=10 olmak üzere iki nukleus meydana gelmiştir (Şekil 2-f).



Şekil 2. *M. barbatus* türüne ait spermatogonyum bölünme evreleri. (a) Mitotik metafaz $2n♂=22$ (b- c-d-e) Profaz 1 (Leptoten, geç zigoten, pakiten ve diploten) (f) Profaz 2 ($n=10+ X_1X_2$ ve $n=10$ olmak üzere iki nukleus mevcuttur). Oklar eşey kromozomunu göstermektedir. Scala= 20 μ m.

IV. SONUÇ

Kromozom sayılarının analizi, herhangi bir organizma grubunun çalışılmasında temel bir adımı temsil ettikleri için oldukça önemlidir. Kromozom sayımları tüm taksonomik düzeylerde filogenetik ilişkilerin anlaşılmasında katkıda bulunmuştur. Bu kapsamda sitogenetik çalışmalar da çeşitli taksonomik sorunların çözümüne yardımcı olmuştur [13].

Örümcek türlerinin sitogenetik analizi, örümceklerdeki kromozomlar ve karyotip üzerindeki yoğun araştırmalara rağmen, Türkiye örümceklerinden elde edilen sitogenetik veriler çoğunlukla eksik kalmıştır. Bu nedenle bu çalışmamızda Gnaphosidae familyasına ait *Marinarozelotes barbatus* türünün sitogenetik yapısal özellikleri (diploid kromozom sayısı- kromozom morfolojisi ve kromozomların mayoz sırasındaki davranışları- eşey kromozom sistemi) ilk kez araştırılmıştır.

Ülkemizde yayılış gösteren Gnaphosidae familyasına ait 147 tür bulunmaktadır [14]. ‘‘Gnafosid’’ örümceklerdeki diploid sayının $2n=20-30$ arasında olduğu yapılan çalışmalarda tespit edilmiştir [15] Kumbıçak (2014) [16], *M. lyonneti* (Audouin, 1826) ve *M. malkini* (Platnick & Murphy, 1984), Türkiye *Marinarozelotes* cinsi için ilk karyotipini sunmuştur. Yani erkeklerde iki tür için de $2n=22$ ($20T+ X_1X_2T$) numaralı diploid sayıyı ve mayotik Profaz 1’den itibaren eşey kromozomlarının pozitif heteropiknotik özelliklerinden dolayı otozomlardan kolayca ayırt edilebildiğini tanımlamıştır.

Sonuç olarak bu çalışmada da elde edilen veriler neticesinde diploid sayının $2n♂=22$, eşey kromozomunun X_1X_20 şeklinde ve kromozom morfolojisinin telosentrik olarak bulunmasıyla; Gnaphosidae familyası ile yapılan diğer türlerin karyotipik özellikleriyle uygunluk gösterdiğini ve yüksek derecede korunduğunu göstermektedir.

TEŞEKKÜR: Bu çalışmada emeği geçen Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Genetik Laboratuvarı çalışanlarına teşekkür ederiz.

V. KAYNAKLAR

- [1] N. I. Platnick. (2022, Jul 15). The World Spider Catalog [Online]. Available: <http://wsc.nmbe.ch>.
- [2] P. A. Sebastian and K. V. Peter. Spiders of India. Universities Press/Orient Blackswan. ISBN 978-81 – 7371 -641 -6, 2009.
- [3] J. A. Coddington and H. W. Levi. “Systematics and evolution of spiders (Araneae),” *Annu. Rev. Ecol. Syst.* vol.22, pp. 565–592, 1991.
- [4] D. Araújo, M. C. Schneider, E. Paula-Neto, and D. M. Cella. (2022, Jul 15). The Spider cytogenetic database [Online]. Available: www.arthropodcytogenetics.bio.br/spiderdatabase.
- [5] L. H. B. Souza, A. D. Brescovit and D. Araujo. “A new species of Synotaxus and the first chromosomal study on Synotaxidae, presenting a rare XY sex chromosome system in spiders (Araneae, Araneioidea),” *Zootaxa*, vol. 4303 no.1, pp. 140, 2017, doi:10.11646/zootaxa.4303.1.9.
- [6] D. Araujo, D.M. Cella and A.D. Brescovit. “Cytogenetic analysis of the Neotropical spider *Nephilengys cruentata* (Araneomorphae, Tetragnathidae): standard staining NORs, C-bands and base-specific Fluorochromes,” *Braz. J. Biol.* vol. 65, pp. 193-202, 2005.
- [7] J. Král, J. Musilová, F. St’áhlavský, M. Řezáč , Z. Akan, R. L. Edward, F. A. Coyle and C. R. Almerje. “Evolution of the karyotype and sex chromosome systems in basal clades of araneomorph spiders (Araneae: Araneomorphae),” *Chromosome Res.* vol. 14, pp. 859-880, 2006, doi: 10.1007/s10577-006-1095-9.
- [8] T. K. Tuneva and S. L. Eshyunin. “Diversity of fauna and geographic distribution of Gnaphosidae spiders (Aranei) in the Urals,” *Entomological Review*, vol. 89, no. 8, pp. 1001–1012, 2009, doi:10.1134/S0013873809080144.
- [9] Z. Kumbıçak, S. Ergene, Ü. Kumbıçak and E. Ekiz.” A chromosomal analysis of five spider species (Araneae: Gnaphosidae, Miturgidae and Philodromidae) from Turkey,” *Caryologia*, vol. 67 no. 2, pp. 155-159, 2014, <https://doi.org/10.1080/00087114.2014.931637>.
- [10] S. Pekár, J. Král. “A comparative study of the biology and karyotypes of two central European Zodariid spiders (Araneae, Zodariidae),” *Journal of Arachnology*, vol. 29 no. 3, pp. 345-353, 2001, doi:10.1636/0161-8202(2001)029[0345:ACSOTB]2.0.CO;2.
- [11] Ü. Kumbıçak. “Cytogenetic analysis of *Tegenaria elysii* (Araneae: Agelenidae),” *Sakarya University Journal of Science*, vol.22 no. 6, pp. 1669-1673, 2018, doi: 10.16984/saufenbilder.363843.
- [12] A. Levan, K. Fredga and A. A. Sandberg. “Nomenclature for centromeric position on chromosomes,” *Hereditas*, vol 52 no. 2 pp. 201-220, 1964, <https://doi.org/10.1111/j.1601-5223.1964.tb01953.x>.
- [13] M. D. Windham, G. Yatskievych. “Chromosome studies of cheilanthoid ferns (Pteridaceae: Cheilanthoideae) from the Western United States and Mexico,” *Amer J Bot* vol. 90 no. 12 pp. 1788-1800, 2003, doi: 10.3732/ajb.90.12.1788.
- [14] T. Danişman, K. B. Kunt, and R. S. Özkütük. (2021, Oct 13). The Checklist of the spiders of Turkey [Online] Available: <http://www.spidersofturkey.info>.

[15] Z. Kumbıçak and H. Poyraz. "A cytogenetical study on two ground spider species (Gnaphosidae: *Drassodes*) from Nevşehir District," *Pakistan J. Zool.*, vol. 52 no. 2 pp. 513-517, 2020, doi: <https://dx.doi.org/10.17582/journal.pjz/20180610190658>.



[16] Z. Kumbıçak. "Cytogenetic characterization of ten araneomorph spiders (Araneae): karyotypes and meiotic feature," *Biologia (Bratislava)*, vol. 69, no. 5, pp.644- 650, 2014, doi:10.2478/s11756-014-0350-3.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Türkiye Yongalevha Endüstrisinin Üretim Problemleri Ve Çözüm Önerilerinin İncelenmesi

 Aytaç AYDIN^{a,*},  Gökay NEMLİ^b

^a Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Orman Fakültesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, TÜRKİYE

^b Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Orman Fakültesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: aytac@ktu.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1005499

ÖZ

Bu çalışmada orman ürünleri sanayi içerisinde önemli bir yeri olan ve birçok farklı sektöre hammadde olarak kullanılan yongalevhanın üretim aşamasında karşılaşılan sorunların tespit edilmesi ve sektörün bu sorunların çözümünde ortaya koyduğu çözüm yaklaşımlarının incelenmesi amaçlanmıştır. Tüketicilerin yongalevhadan beklediği kalite özelliklerinin de belirlenmesi bir diğer amacı oluşturmaktadır. Bu amaçlarla hazırlanan anket formu Türkiye genelinde yongalevha üretimi yapan tesis üretim sorumlularına uygulanmıştır. Çalışma sonucunda tüketici kalite beklentileri, yongalevha üretiminde karşılaşılan sorunların sıklık düzeyleri ve öncelik sıralamaları ile sorunlara ilişkin çözüm önerileri ortaya koyulmuştur. Müşterilerden gelen en önemli beklentinin düşük fiyat ve hızlı teslimat olduğu ifade edilmiştir. Yongalevha üretiminde ortaya çıkan en önemli sorunların ondülasyon ve gözenekli yüzey oluşumu olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yongalevha, Kalite beklentileri, Üretim sorunları

Investigation of Production Problems and Solutions in Turkish Particleboard Industry

ABSTRACT

In this study determining the problems encountered in the production phase of particleboard which holds an important place in the forest products industry and used as a raw material for various sectors and, examining the solutions of the sector for these problems was aimed. Another aim of the study is determining the consumers' quality expectations of particleboard. The survey form that was prepared for this purpose conducted with the particleboard plant production managers across Turkey. As a result of the study, consumer quality expectations, the frequencies and priority orders of the problems encountered in the particleboard production and suggestions to solve these problems were revealed. It was stated that the most important expectation from the customers is low price and fast delivery. It has been determined that the most important problems that occur in particleboard production are corrugation and porous surface formation.

Keywords: Particleboard, Quality expectations, production problems

Geliş: 06/10/2021, Düzeltme: 30/11/2021, Kabul: 30/12/2021

I. GİRİŞ

Yongalevha, odun veya diğer ligno-selülozik parçalardan ve bir bağlayıcı ile basınç ve sıcaklık altında üretilen ahşap esaslı bir panel ürünüdür [1]. Mobilya üretiminde, iç dekorasyonda, dolaplarda, yer döşemelerinde, ev inşaatlarında, merdiven basamaklarında, masa ve tezgah üstlerinde ve diğer endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır [2, 3].

Türkiye orman endüstrisinin en hızlı gelişen alt sektörlerinden birisi yongalevha sektörüdür. Yıllık yongalevha üretim kapasite 5.8 milyon m³ civarında gerçekleşmektedir. Türkiye bu yongalevha üretim hacmi ile Avrupa'da 3., Dünyada 5. sırada yer almaktadır. Türkiye'nin son yıllarda gerçekleştirdiği yongalevha üretim, ithalat ve ihracat miktarları Tablo 1'de verilmiştir [4].

Tablo 1. Türkiye yongalevha üretim, ithalat ve ihracat miktarları

	2016	2017	2018	2019
Üretim (m³)	4202000	4286000	4355000	4370000
İthalat (m³)	78000	78000	59000	13434
İhracat (m³)	554000	737000	870200	819205

Tablo 1 incelendiğinde 2016 yılında gerçekleşen üretim 2019 yılında %4 artışla 4370000 m³'e ulaşmıştır. Aynı dönemde ithalat %83 azalışla 13434 m³'e, ihracat ise %48 artışla 819205 m³'e gelmiştir. Üretimdeki kısıtlı artışa rağmen ihracatta önemli bir büyüme gerçekleşmiştir.

Üretimdeki hacimsel büyümeyle birlikte ürün kalitesinde de piyasa beklentileri yükselmeye devam etmektedir. Yongalevhanın ana pazarından biri olan mobilya sektörünün gerek mekanik ve fiziksel dayanım gerekse de görsel beklentileri üretim işletmelerince dikkate alınmaktadır. Yongalevhaların fiziksel özellikleri ve üretim süreci ile ilgili daha fazla araştırma ve analiz yapılması, üretim süreçlerinin iyileştirilmesi ve kalite kontrolü için faydalı olmaktadır. Kaliteyi, üretim verimliliğini artırmanın yanı sıra ekonomik faydalar sağlama açısından da incelemek gerekmektedir [5].

Yongalevha üretimi esnasında ortaya çıkan birçok faktör nedeniyle levhanın kalite özelliklerinde değişimler görülmektedir. Üretim sürecinde yonga levhanın fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi, hammaddelerin test edilmesi ve izlenmesi için kullanılır [6]. Bu faktörler hammadde, makine, yöntem, depolama ve çalışana bağlı olarak ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle, proses parametrelerinin levha üzerindeki etkisinin incelenmesi ile fiziksel ve mekanik özelliklerin takip edilmesi önem arz etmektedir [7]. Yongalevha üretiminde zımparalama ve ebatlama kusurları, toz ve kirli yüzeyler ile topaklanma kusurları öne çıkmaktadır [8]. Köksal ve Kelleci, yoğunluk, boyutsal değişim ve yüzey sorunlarının yongalevha üretiminde sık görüldüğünü ifade etmişlerdir [9]. Ayrıca üretimde kullanılan yapıştırıcı nedeniyle çalışanlarda formaldehit etkilerinin görüldüğü bildirilmektedir [10-13].

Bu çalışma yongalevha sektöründe üretim aşamasında ortaya çıkan sorunların tespit edilmesi ve bu sorunların nedenleri ile sektörde uygulanan çözüm yollarının tespit edilmesi amacıyla yapılmıştır.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

Türkiye'de yongalevha üretimi 9 işletme tarafından 14 lokasyonda gerçekleştirilmektedir. Üretim çeşitli boyutlarda ve kalınlıklarda kaplamalı ve kaplamasız olarak yapılabilmektedir. Çalışma kapsamında orman ürünleri sanayi içerisinde üretim ve ticaret hacmi açısından önemli bir yere sahip olan yongalevha sektörünün üretim sorunları ve bu üretim sorunlarının giderilmesine dönük çözüm yöntemleri incelenmiştir. Ayrıca müşterilerin yongalevha üreticilerinden talepleri de araştırılmıştır. Bu amaçla

hazırlanan anket formu her bir lokasyondaki üretim müdürü/sorumlusu ile yüzyüze yapılan görüşme ile doldurulmuştur.

Anket formu yongalevha üretiminde karşılaşılan problemlerin sıklık düzeyleri ile kalite ve maliyet üzerinde etkili olan beş faktörün sıralanmasının beklendiği birinci bölüm, bu problemlerin nedenleri ile olası çözüm önerilerinin yer aldığı ikinci bölüm ve müşteri beklentilerinin incelendiği üçüncü bölümden oluşmaktadır. İlk iki bölüm hiçbir zaman-her zaman aralığında, üçüncü bölüm ise hiç-oldukça fazla aralığında beşli likert tipi yargılar içermektedir.

Anket çalışması, 2020 Ocak-Haziran ayları arasında 10 lokasyonda yapılmıştır. Bununla birlikte 3 işletmedeki 4 lokasyon çalışmanın yapılmasını kabul etmemiştir. Verilerin analizinde SPSS (Statistical Package for Social Sciences) ve MS Excel paket programları vasıtasıyla frekans tabloları ve çapraz tablolar kullanılmıştır.

Üretim sorunlarının öncelik sıralamasına ilişkin hesaplamada katılımcılardan belirttikleri sıralamaya ilişkin ortalamalar alınmıştır. Bu bağlamda değerlendirme puanı düşük olan ifadenin yüksek öncelikli olduğu yorumlanmalıdır.

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışma kapsamında Türkiye yongalevha sektöründe faaliyet gösteren 6 işletmeye ait 10 lokasyonda üretim müdürleri/yöneticileri ile görüşülerek üretim sorunları, çözüm önerileri ve müşteri beklentileri sorgulanmıştır. Bu bağlamda katılımcıların tamamı üretim müdürü ve yönetici pozisyonundaki en az 5 yıllık tecrübeye sahip kişilerden oluşmaktadır.

A. YONGALEVHADAN BEKLENEN KALİTE ÖZELLİKLERİ

Yarı mamul konumunda olan yongalevha üretiminde temel standartlara ilave olarak müşteriler tarafından farklı beklentilerin varlığı üreticilerle yapılan görüşmelerde ortaya çıkmıştır. Bu bağlamda üreticilerden bu beklentilerin neler olduğu noktasında bilgi alınmış ve Tablo 2 oluşturulmuştur.

Tablo 2. Üretimde beklenen kalite özellikleri

	Hiçbir zaman		Nadiren		Arasıra		Sıklıkla		Her zaman	
	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Daha yüksek direnç özellikleri	0	0	3	30	1	10	4	40	2	20
Daha düşük şişme özellikleri	4	40	3	30	0	0	2	20	1	10
Daha iyi işlenme özelliği	3	30	0	0	2	20	2	20	3	30
Daha yüksek kalite	0	0	1	10	2	20	1	10	6	60
Daha düşük fiyat	0	0	0	0	0	0	0	0	10	100
Daha hızlı üretim	0	0	0	0	2	20	1	10	6	60
Daha hızlı teslimat	0	0	0	0	0	0	1	10	9	90
Daha düşük ağırlık	3	30	2	20	2	20	2	20	0	0
Daha düşük formaldehit emisyonu	1	10	3	30	1	10	1	10	4	40

Geri dönüştürülebilir ürünler	4	40	3	30	1	10	1	10	1	10
Çevreye duyarlı üretim	2	20	1	10	3	30	1	10	3	30

Tablo 2 incelendiğinde tüketicilerin üreticilerden beklentileri düşük fiyat, hızlı üretim ve hızlı teslimat noktasında kümelenmektedir. Ayrıca yüksek direnç, daha iyi işlenme özelliği ve düşük formaldehit emisyonu beklentisinin de orta düzeyde olduğu ifade edilmiştir. Bununla birlikte ürünlerin çevreye duyarlı üretimi ve geri dönüştürülebilir olmasının ise tüketiciler tarafından nadiren sorgulandığı belirlenmiştir.

B. YONGALEVHA ÜRETİMİNDE KARŞILAŞILAN PROBLEMLER

Yongalevha üretiminde karşılaşılan problemler ve sıklık değerlerine ait sonuçlar Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Yongalevha üretiminde karşılaşılan problemler ve sıklık değerleri

	Hiçbir zaman		Nadiren		Arasıra		Sıklıkla		Her zaman	
	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Tutkal lekesi	2	20	2	20	4	40	1	10	1	10
Çap oluşumu	1	10	8	80	1	10	0	0	0	0
Dönüklük	1	10	5	50	4	40	0	0	0	0
Düşük kalınlık	3	30	4	40	1	10	2	20	0	0
Kırık	2	20	6	60	1	10	1	10	0	0
Düşük özgül ağırlık	2	20	6	60	1	10	1	10	0	0
Yüksek özgül ağırlık	3	30	6	60	0	0	0	0	1	10
Leke	2	20	3	30	4	40	1	10	0	0
Ondülasyon	2	20	2	20	6	60	0	0	0	0
Levha yüzeyinde çukur	2	20	3	30	4	40	1	10	0	0
Pasta çatlağı	4	40	4	40	2	20	0	0	0	0
Patlak	2	20	7	70	1	10	0	0	0	0
Talaşta siyahlaşma	4	40	3	30	2	20	1	10	0	0
Tozlaşma	4	40	4	40	2	20	0	0	0	0
Tablet bezi yanma izi	8	80	2	20	0	0	0	0	0	0
Üflekleme	7	70	2	20	1	10	0	0	0	0
Gözenekli yüzey	3	30	2	20	5	50	0	0	0	0
Yüksek formaldehid emisyonu	3	30	5	50	1	10	1	10	0	0
Düşük mekanik direnç değerleri	2	20	7	70	1	10	0	0	0	0
Yüksek şişme miktarı	2	20	6	60	2	20	0	0	0	0

Yongalevha üretiminde karşılaşılan sorunlara ilişkin verilen cevaplar incelendiğinde işletmelerin % 80'nin de tutkal lekesi oluşumunun gözlendiği, bu sorunun % 10 oranında sıklıkla ortaya çıktığı belirlenmiştir. Üretimde çap oluşumunun nadiren ortaya çıktığı (%80) görülmüştür. Yongalevha üretiminde dönüklük sorununun %50 nadiren, %40 ise arasıra ortaya çıktığı ifade edilmiştir. Düşük kalınlık probleminin %40 oranında nadiren rastlandığı, %30 oranının da ise üretimde rastlanmadığı söylenmiştir. Üretimde düşük ve yüksek özgül ağırlık probleminin %60 oranında nadiren ortaya çıktığı görülmüştür.

Yongalevha üretiminde leke, ondülasyon ve çukur oluşumu % 80 oranında nadiren veya arasıra meydana gelmektedir. Pasta çatlağı %40 oranında nadiren meydana gelmekte iken % 40 oranında ise hiçbir zaman ortaya çıkmamaktadır. Üretimde patlak oluşma oranı %70 ile nadiren meydana

gelmektedir. Talaşta siyahlaşma ve tozlaşma %40 oranında hiç ortaya çıkmazken çeşitli oranlarda (sırasıyla %30 ve %40) nadiren görülmektedir. Üretimde tablet bezi yanma izi ve üflekle oluşma oranı en düşük problemlerdir (sırasıyla %80 ve %70). Gözenekli yüzey oluşumunun arasına, yüksek formaldehit emisyonu sorununun ise nadiren ortaya çıkma oranı % 50 olarak belirtilmiştir. Ayrıca düşük mekanik direnç değeri ve yüksek şişme miktarı sorununun nadiren oluşma oranları sırasıyla %70 ve %60 olarak ifade edilmiştir. Üretim sorunlarına ilişkin tüm sonuçlar Tablo 3'te görülmektedir. Bununla birlikte form üzerinde bulunan diğer seçeneğine herhangi bir bilgi girişi yapılmadığından burada ifade edilenler dışında üretim sorunu olmadığı varsayılmıştır.

Katılımcılardan yongalevha üretim sorunlarının en önemli beş tanesini sıralaması istendiğinde verilen cevaplara bağlı olarak Tablo 4'teki sonuçlar ortaya çıkmıştır.

Tablo 4. Ortaya çıkan üretim sorunlarının etki bakımından öncelik sıralaması

Öncelik sırası	Üretim sorunları	Değerlendirme puanı
1	Düşük özgül ağırlık	1,83
2	Düşük mekanik direnç değerleri	1,85
3	Yüksek formaldehid emisyonu	2,16
4	Yüksek özgül ağırlık	2,20
5	Yüksek şişme miktarı	2,33

Tablo incelendiğinde yongalevha sektöründe üretimde ortaya çıkan en önemli sorunun (öncelik değeri 1,83) düşük özgül ağırlık olduğu katılımcılar tarafından ifade edilmiştir. Ayrıca düşük mekanik direnç değerinin de benzer öncelik değeri aldığı (1,85) görülmektedir. Bu sorunlara ilave olarak sırasıyla yüksek formaldehit emisyonu (2,16), yüksek özgül ağırlık (2,20), yüksek şişme miktarı (2,33) en önemli üretim sorunları olarak öne çıkmıştır.

C. YONGALEVHA ÜRETİM PROBLEMLERİNİN NEDENLERİ VE ÇÖZÜME İLİŞKİN ÖNERİLER

Bu bölümde katılımcılardan karşılaştıkları yongalevha üretim problemlerinin nedenleri ile aldıkları önlemler ve çözüm yaklaşımlarını ifade etmeleri istenmiştir. Bu bağlamda ortaya çıkan sorunlardan biri olan yongalevha üzerinde leke oluşumunun temel sebebi karıştırıcı ayak ve serme başlıkları üzerindeki kalıntıların oluşması olarak ifade edilmiştir. Bu sorunu gidermek için karıştırıcı ayakların ve serme ünitesindeki başlıkların düzenli olarak temizlenmesinin uygun olacağı söylenmiştir.

Levha patlağı oluşmasında pres sıcaklığı ve basıncı ile yonga rutubetinin yüksek seçilmesi önemli etken olarak öne çıkmıştır. Bu sorunun giderilmesi için uygun pres sıcaklığı ve basıncının seçilmesi ile pres koşullarına bağlı olarak uygun yonga rutubetinin sağlanması gerektiği ifade edilmiştir. Akbulut ve Ayrılmış çalışmalarında uygun seçilmeyen pres koşulları ve taslak rutubetinin levha üretiminde levha patlağı ile sonuçlanabileceğini ifade etmişlerdir [14]. Levha üzerinde çukur oluşumunda mikser kirliliği ve prese yonga yapışmasının ana etken olduğu, bu noktada yapılacak temizlik işlemlerinin çukur oluşumunu engelleyeceği söylenmiştir. Levha üzerinde oluşan gözenekli yapının temel nedenleri olarak yüksek seçilen pres sıcaklığı, hammadde karışımındaki dengesizlik, rutubet ve yoğunluk dalgalanmaları ve pres kalibrasyonu hatası olarak sıralanmıştır. Korkmaz çalışmasında pres basıncındaki ve zımparalamadaki hatalar neticesinde levha yüzeyinde gözenek oluşabileceğini belirtmiştir [15].

Yongalevha üretiminde pasta çatlağı oluşumunun nedeni olarak düşük yonga rutubeti öne çıkmıştır. Yonga rutubetinin doğru belirlenmesinin sorunu çözeceği ifade edilmiştir. Levhada ondülasyon oluşmasına zımpara makinasının neden olduğu, makine vibrasyonu ile balans ve aşınma kontrollerinin yapılmasının sorunu ortadan kaldıracabileceği söylenmiştir. Mekanik özelliklerdeki düşüklüğün kaynağı olarak yüksek pres hızı, düşük miktar karıştırıcı kullanımı, yonga geometrik yapısı, serme hataları ve pres şartları görülmüştür. Bu bağlamda yapılacak düzeltme faaliyetlerinin sorunu ortadan kaldıracabileceği ifade edilmiştir. Levhada dönüklük oluşmasında serme hatalarının ve depolamanın etkisi

olduğu düşünölmekte ve serme oran kontrolü, serme enine dağılım kontrolü ile uygun klimatizasyon ve depolama ile sorunun giderilebileceği söylenmiştir.

Üretimde levha yoğunluğunun düşük çıkmasında hammadde karışımının etkisinin olduğu aynı zamanda düşük yoğunluk ile düşük kalınlık sorununun da ortaya çıktığı ifade edilmiştir. Tutkal lekesi oluşumuna blender sisteminde soğutma yetersizliği, temizlik yapılmaması ve nozul ayarsızlığının etkisi olduğu, nozulların sürekli kontrol edilmesi, periyodik temizlik ve uygun soğutma ile sorunun ortadan kalkabileceği söylenmiştir. Levha üretiminde yüksek formaldehit sorunu formaldehit/üre mol oranı düşük tutkal kullanımı ile çözülebileceği söylenmiştir. Literatürde de MDF üretiminde üreformaldehit mol oranının düşürölmesinin formaldehit emisyonunu düşürücü rol oynayacağı ifade edilmektedir [16]. Üretimde karşılaşılan tozlaşma probleminin elek tıkanması, çok düşük hammadde rutubeti ile ilişkili olduğu bu noktada yapılacak düzeltmeler ile sorunun çözüleceği ifade edilmiştir.

IV. SONUC

Yongalevha üretim sorunları, sorunların nedenleri ve çözüm önerileri ile tüketici beklentilerinin tespit edilmesi amacıyla yapılan çalışmaya ilişkin sonuçlar şu şekildedir:

- Tüketiciler yongalevha üretiminde beklentilerini düşük fiyat, hızlı üretim ve hızlı teslimat olarak öne çıkarmıştır.
- Üreticiler yongalevha üretiminde nadiren de olsa belirtilen tüm sorunlarla karşılaştığını ifade etmiştir.
- Üretimde en fazla tutkal lekesi, dönüklük, düşük kalınlık ve gözenekli yüzey ile karşılaştıklarını söylemişlerdir. En az karşılaşılan sorunun ise tablet bezi yanma izi ve üflekle olduğu görölmüştür.
- Yongalevha üretiminde belirtilen sorunların yarattığı etki bakımından öncelik sıralamasında düşük özgül ağırlık, düşük mekanik direnç, yüksek formaldehit emisyonu, yüksek özgül ağırlık ve yüksek şişme miktarının olduğu ifade edilmiştir.

Üretimde karşılaşılan sorunların üreticilerce geliştirilen çözümleri ise sorun bazında değişiklik gösterse de tutkal ünitesi, serme ünitesi ve pres ünitesi üzerinde yoğunlaşmaktadır.

TEŞEKKÜR: Bu çalışmanın yapılmasında emeği geçen ve değerli zamanlarını ayıran yongalevha üretim tesis yetkililerine teşekkür ederiz.

V. KAYNAKLAR

[1] Anonim, "Particleboard—from start to finish," *National Particle-board Association*, Gaithersburg, 1996.

[2] G. Nemli, S. Demirel, "Relationship between the density profile and the technological properties of the particleboard composite," *Journal of Composite Materials*, vol. 41, no. 15, pp. 1793-1802, 2007.

[3] F. A. S. Hansted, A. L. S. Hansted, E. R. D. Padilha, J. C. Caraschi, D. Goveia, I. C. de Campos, "The use of nanocellulose in the production of medium density particleboard panels and the modification of its physical properties," *BioResources*, vol.14, no. 3, pp. 5071-5079, 2019.

[4] FAOSTAT, <http://www.fao.org/faostat/en/#data>, (Erişim 10 Eylül 2021).

[5] C. Yang, C. Xu, J. Su, W. He, Z. Gao, "A new model based on principal component regression-random forest for analyzing and predicting the physical and mechanical properties of particleboard," *BioResources*, vol.16, no. 2, pp. 2448-2471, 2021.

- [6] H. K. Huang, C. H. Hsu, P. K. Hsu, Y. M. Cho, T. H. Chou, Y. S. Cheng, "Preparation and evaluation of particleboard from insect rearing residue and rice husks using starch/citric acid mixture as a natural binder," *Biomass Conversion and Biorefinery*, vol. 1, no. 9, print online, 2020.
- [7] J. G. Boon, R. Hashim, O. Sulaiman, S. Hiziroglu, T. Sugimoto, M. Sato, "Influence of processing parameters on some properties of oil palm trunk binderless particleboard," *European Journal of Wood and Wood Products*, vol. 71, no. 5, pp. 583-589, 2013.
- [8] E. Vasendina, I. Plotnikova, L. Red'ko, N. Zyablova, "Study of types of defects in wood chipboard production," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 81, 2015.
- [9] S. E. Köksal, O. Kelleci, "Yonga levha (sunta) ve mdf kullanan mobilya-dekorasyon firmalarının sorunları; bolu örneği." *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, c. 22, s. 1, ss. 133-143, 2020.
- [10] A. A. Asgedom, M. Bratveit, B. E. Moen, "High prevalence of respiratory symptoms among particleboard workers in ethiopia: a cross-sectional study." *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 16, no. 12, 2158, 2019.
- [11] G., Nemli, G. Çolakoğlu, "Effects of mimosa bark usage on some properties of particleboard." *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, vol. 29, no. 3, pp. 227-230, 2005.
- [12] İ. Özlüsoylu, A. İstek, "Sodyum karboksimetil selüloz (na-cmc) takviyeli üre formaldehit tutkalının yonga levha özellikleri ve formaldehit emisyonuna etkisi," *Turkish Journal of Forestry*, vol. 19, no. 3, pp. 317-322, 2018.
- [13] S. Çolak, H. Öztürk, A. Demir, "Yonga levhaların formaldehit emisyonu üzerine tanen ve kitosanın etkileri." *Selcuk University Journal Of Engineering Sciences*, c. 14, s. 2, ss. 613-622, 2015.
- [14] T. Akbulut, N. Ayrılmış, "Mdf üretiminde dikkate alınması gereken hususlar". *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, c. 51, s. 2, ss. 25-42, 2001.
- [15] M. C. Korkmaz, "Birim hacimdeki yonga miktarının yonga levha kalitesine etkisi" Yüksek Lisans Tezi, Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2020.
- [16] S. Boran, M. Usta, E. Gümüşkaya, "Decreasing formaldehyde emission from medium density fiberboard panels produced by adding different amine compounds to urea formaldehyde resin," *International Journal of Adhesion&Adhesive*, vol. 31, pp. 674-678, 2011.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

EDTA ile Modifiye Edilmiş *Prunus Dulcis L.* Kabukları Kullanılarak Bakır İyonlarının Sulu Çözeltiden Zenginleştirilmesi ve FAAS ile Tayini

 Rukiye SAYGILI CANLIDİNÇ*

*KİMYA Bölümü, FEN EDEBİYAT Fakültesi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: rukiye.saygili@dpu.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.998329

ÖZ

Son yıllarda, tarımsal atık olarak adlandırılan, ucuz ve bol miktarda bulunan meyve ve sebze kabukları gibi doğal atıklar, doğada oluşturdukları depolanma sorunları nedeniyle, metal iyonlarının gideriminde ve zenginleştirilmesinde etkili bir biyosorbent olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada, tarımsal bir atık olarak, düşük maliyetli bir biyosorbent olan *Prunus Dulcis L.* kabukları, etilendinitril tetra asetik asit (EDTA) ile modifiye edilmiş, sulu çözeltilerden bakır iyonlarının zenginleştirilmesi ve atomik absorpsiyon spektrometresi ile tayininde kullanılmıştır. Hazırlanan biyosorbentin karakterizasyonunda taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve fourier dönüşümlü infrared spektroskopisi (FTIR) analizleri kullanılmıştır. Zenginleştirme yöntemi olarak katı faz özütleme yöntemi kolon sisteminde çalışılmış, pH, geri alma çözeltisi, kolon akış hızı, örnek hacmi gibi parametreler optimize edilmiştir. Ortalama geri kazanım ve bağıl standart sapma (RSD) değerleri Cu(II) iyonları için %99,43±1,14 ve %2,23 olarak bulunmuştur. Biyosorbentin kapasitesinin belirlenmesi amacıyla Langmuir ve Freundlich izoterm grafikleri çizilmiştir. Bakır iyonları için en yüksek biyosorbent kapasitesi Langmuir izoterm modelinden ham *Prunus Dulcis L.* kabukları için 34,60 mg g⁻¹ EDTA ile modifiye edilmiş *Prunus Dulcis L.* kabukları için ise 42,19 mg g⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Yöntemin doğruluğunu teyit etmek için sertifikalı referans madde (ERML-CA021a) analizi yapılmış ve kantitatif sonuçlar elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Katı faz özütleme, Bakır, Eser element, *Prunus Dulcis L.* kabukları, EDTA, Zenginleştirme

Preconcentration of Copper Ions from Aqueous Solution using EDTA Modified *Prunus Dulcis L.* Peels and Determination by FAAS

ABSTRACT

In recent years, natural wastes such as cheap and abundant fruit and vegetable peels, which are called agricultural wastes, have been used as an effective biosorbent in the removal and preconcentration of metal ions due to the storage problems they cause in nature. In this study, *Prunus Dulcis L.* peels, a low-cost biosorbent as an agricultural waste, modified with ethylenedinitrilo tetra acetic acid (EDTA) were used for the preconcentration of copper ions from aqueous solutions and for the determination by atomic absorption spectrometry. Scanning electron microscopy (SEM) and Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) analyzes were used for the characterization of the prepared biosorbent. As the preconcentration method, the solid phase extraction method was studied in the column system and parameters such as pH, eluent solution, column flow rate, sample volume were optimized. The mean recovery and relative standard deviation (RSD) values were found to be as 99.4±1.4% and 2.23% for Cu(II) ions. Langmuir and Freundlich isotherm graphs were drawn to determine the capacity of the biosorbent. The highest biosorbent capacity for copper ion was calculated as 34.60 mg g⁻¹ for raw *Prunus Dulcis L.* peels and 42.19 mg g⁻¹ for EDTA modified *Prunus Dulcis L.* peels from the Langmuir isotherm model.

Geliş: 21/09/2021, Düzeltme: 12/10/2021, Kabul: 15/12/2021

Certified reference material (ERML-CA021a) analysis was performed to confirm the accuracy of the method and quantitative results were obtained.

Keywords: Solid phase extraction, Copper, Trace element, Prunus Dulcis L. Peels, EDTA, Preconcentration

I. GİRİŞ

Son yıllarda, yalnızca ülkemizde değil tüm dünyada artan çevre kirliliği, özellikle sular için ağır metallerin oluşturduğu kirlilik giderek artan çalışma konuları arasındadır. Sulardaki ağır metal kirliliği daha çok hava ve topraktaki kirleticilerin suya karışması sonucu ortaya çıkmaktadır [1-2]. Kirliliğin yanında son yıllarda artan kuraklık sonucu su miktarları azalmakta ve kullanılabilir su kaynaklarının korunması önem kazanmaktadır. Özellikle metal kirleticiler çevre ve insan sağlığı için ciddi bir tehdit oluşturmaktadır. Toksik özellik gösteren bazı metaller eser miktarda dahi insan sağlığına zarar vermekte hatta zehirlenmelere neden olabilmektedirler. Bunlar arasında en önemli yeri, kurşun (Pb), kadmiyum (Cd), bakır (Cu), krom (Cr), demir (Fe) gibi ağır metaller almaktadır. Bu metallere biri olan bakır, çevre ve gıda örneklerinde yaygın olarak bulunabilen en önemli temel elementlerden biridir. Hem insan vücudunda metabolizmada önemli görevler alırken hem de yüksek konsantrasyonlarda toksik etkisi olan bir metaldir [3-6]. Bu metallerin sanayi, tarım, otomotiv, boya gibi kaynaklardan çevreye sürekli bir salınımı söz konusu olup bu metallerin seviyelerinin belirlenmesi son derece önemlidir. Üstelik bunların su, gıda, toprak gibi kompleks matris ortamlarında bulunmaları ve eser seviyede olmaları nedeniyle direkt tayinleri zordur [7-9]. Dolayısıyla tayininden önce bir ayırma/zenginleştirme yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu yöntemler arasında katı faz özütleme, sıvı-sıvı özütleme, birlikte çöktürme, vs., gibi yöntemler kullanılmaktadır. Katı faz özütleme tekniği (SPE) basit, ucuz ve hızlı olması nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır [10-12]. Bu yöntemin en önemli adımı katı fazın seçimi olup, bu amaçla çok fazla sayıda katı faz bulunabilir. Buradaki amaç kapasitesi ve zenginleştirme faktörü yüksek, tekrar tekrar kullanılabilen, yüksek seçiciliği olan uygun bir katı fazın bulunmasıdır. Son yıllarda katı faz olarak doğal biyosorbentler hem düşük maliyetli olması hem de atık olarak değerlendirilmesi konusu nedeni ile çok fazla ilgi çekmektedir. Bu biyosorbentler literatürde yaygın olarak ağır metal gideriminde kullanılmaktadır [13-18]. Aynı zamanda bu biyosorbentlerin eser seviyede bulunabilen ağır metallerin zenginleştirilerek tayin edilmesinde de çok etkin sorbentler olduğu görülmektedir [19-20]. Ancak biyolojik kökenli biyosorbent olarak adlandırılan bu materyallerin fonksiyonel gruplarının az olması ve düşük biyosorbent kapasitelerine sahip olmalarından dolayı bir modifikasyon işlemine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu modifikasyon işlemi ile hem biyosorbent kapasitesi artırılmış olmakta hem de biyosorbentin tekrar tekrar kullanılabilirliği, zenginleştirme faktörü gibi parametreleri iyileştirilebilmektedir. Bu amaçla çeşitli asidik ve bazik modifikasyonlar, polimer, amin, karboksil grubu ile fonksiyonlaştırma işlemleri denenmektedir. Özellikle kabuklar gibi biyosorbentlerin modifikasyonunda hidroksil ve amin grupları içeren bazik kimyasal ajanlar kullanılmakta bu sayede metal tutma kapasitelerinin arttığı görülmektedir. EDTA, hem amin gruplarının olması hem de metalle şelat oluşturma kapasitesi yönünden bu amaçla yaygın olarak kullanılan bir ajandır [19-22].

Bu çalışmada, EDTA ile modifiye edilmiş *Prunus Dulcis L.* kabukları kullanılarak sulu çözeltiden bakır iyonlarının zenginleştirilmesi şartları araştırılmıştır. Bu amaçla, pH, geri alma çözeltisi, numune hacmi ve akış hızı gibi çeşitli parametrelerin etkisi incelenmiş ve optimum deneysel koşullar belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar ham *Prunus Dulcis L.* kabuklarının biyosorbent kapasitesinin EDTA ile modifiye edildiğinde ham kabuklarının biyosorbent kapasitesine göre arttığı görülmüş ve literatür verileri ile kıyaslandığında bu modifiye edilmiş biyosorbentin EDTA'nın şelatlama kabiliyeti nedeniyle Cu(II) iyonları için yüksek biyosorpsiyon kapasitesine sahip olduğu görülmüştür.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

A. MATERYAL

A. 1. Kullanılan Cihaz ve Kimyasallar

Kullanılan biyosorbentin karakterizasyon işlemlerinde Fourier dönüşümlü infrared spektroskopisi (FT-IR) (Bruker-Alpha, Almanya) (4 cm resolution) taramalı elektron mikroskobu (SEM) (FEI-Thermo Fisher Scientific, ABD) tekniği kullanıldı. Metal iyon konsantrasyonlarının belirlenmesinde Perkin Elmer marka PinAAcle 900T model alevli atomik absorpsiyon spektrometresi (FAAS) kullanılmıştır. Cu(II) için FAAS cihaz şartları, dalga boyu, istenen akım, slit genişliği, asetilen/hava akış hızı sırasıyla 324.75 nm, 30 mA, 0.7 nm, 2.5/10.0 mL/dk.' dir. pH ölçümleri için Mettler Toledo Seven Compact™ model (Switzerland) pH metre, kolon sistemi için 1x15 cm uzunluğunda cam kolon, kolondan sabit bir akış hızı elde etmek için bir Heidolph 5101 model (Germany) peristaltik pompa kullanılmıştır. Tüm deneysel çalışmalarda kullanılan ultra saf su Millipore Milli-Q (Merck, USA) cihazından elde edilmiştir.

Prunus Dulcis L. kabukları Kütahya yerel pazarlarından temin edilmiştir. Deneylerde kullanılan tüm kimyasallar analitik saflıkta olup, hazırlanan bakır (II) çözeltisi $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (Merck, Almanya) tuzundan hazırlanmıştır. Cu(II) standartları Perkin Elmer marka atomik spektroskopi standart çözeltisinden hazırlanmış ($1000 \mu\text{g mL}^{-1}$) ve istenen değere seyreltilerek kullanılmıştır. Deneylerde nitrik asit (65%), sodyum hidroksit, hidroklorik asit (37%), etil alkol, etilendinitril tetra asetik asit disodyum dihidrat tuzu (Titriplex®-EDTA) (Merck, Almanya), 3-aminopropiltri-metoksisilan (96%) (Sigma-Aldrich, ABD) and 1-etil-3(3-dimetilaminopropil)-carbodiimid (Thermo Fisher Scientific, ABD) kimyasalları kullanılmıştır.

B. YÖNTEM

B. 1. Kullanılan Cihaz Ve Kimyasallar

Prunus Dulcis L. kabukları kullanılmadan önce 24 saat 100°C 'de Binder marka etüvde kurutulmuştur. Kurutulmuş numuneler çeneli kırıcı ile kırılmış daha sonra havanlı öğütücü ile öğütme işlemine tabi tutulmuştur. Safsızlıklardan uzaklaştırmak amacıyla önce $1,0 \text{ mol L}^{-1} \text{HNO}_3$ çözeltisi ile daha sonra da bol miktarda ultra saf su ile yıkanmış, 90°C etüvde kurutulmuş ve $250 \mu\text{m}$ boyutlu elekten geçirilerek elek altı biyosorbent olarak kullanılmıştır. Modifiye edilmiş *Prunus Dulcis L.* kabuklarını hazırlamak için $5,0 \text{ gram Prunus Dulcis L.}$ kabukları $50 \text{ mL } \%1 \text{ HNO}_3$ ile geri soğutucu altında 75°C 'de 24 saat karıştırılmış, süzölmüş, bol su ardından etanol ile yıkanmış ve 90°C 'de kurutulmuştur. Bu katı, 50 mL etanol içinde 200 mg 3-aminopropiltri-metoksisilan çözölmüş çözelti ile 4 saat karıştırılmıştır. Daha sonra bu karışım süzölmüş ve etanol ile yıkanmıştır. Aynı bir beherde 1-etil-3(3-dimetilaminopropil)-carbodiimid ve EDTA (1:2, m/m) ile 50 mL ultra saf su içine çözölmüş ve bu çözelti süzölen katı ile 18 saat karıştırılmıştır. Elde edilen çözelti süzölmüş bol su ile yıkanmış ve 100°C 'de etüvde kurutulmuştur. $250 \mu\text{m}$ boyutlu elekten geçirilerek elek altı biyosorbent olarak kullanılmıştır.

B. 2. Kullanılan Cihaz Ve Kimyasallar

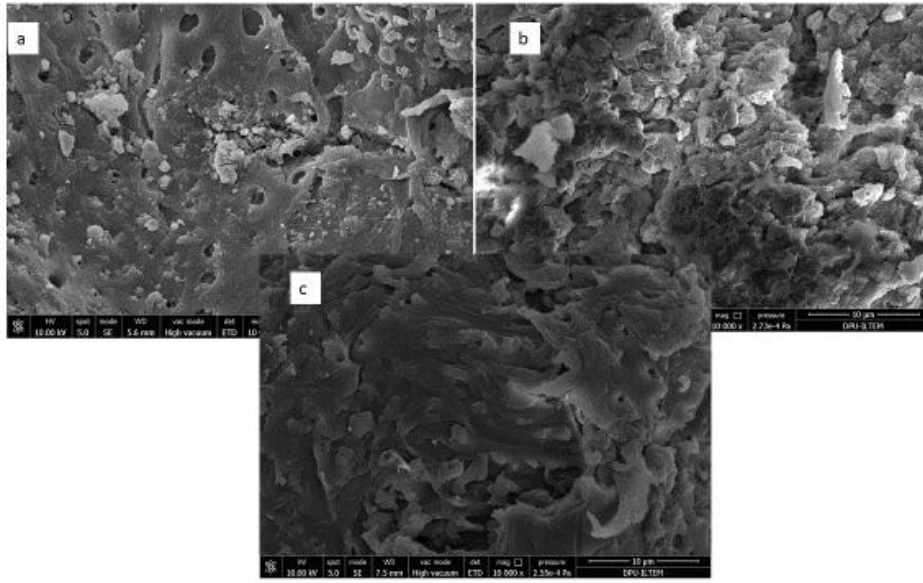
Kolon tekniği: 100 mg olarak tartılan *Prunus Dulcis L.* kabukları, iç çapı 1.0 mm olan boy uzunluğu 15 cm teflon musluklu cam kolona doldurulmuştur. Öncesinde doldurulan biyosorbentin kolondan çıkmasını engellemek için kolonun alt ucuna ve üzerine cam pamuğu yerleştirilmiştir. Hazırlanan kolon kullanılmadan önce, $25 \text{ mL } 1,0 \text{ mol L}^{-1} \text{HNO}_3$ ve bolca ultra saf su ile yıkanmıştır. Seyreltik HCl ve seyreltik NaOH ile istenen pH'a ayarlanan 25 mL ultra saf su ile yapılan şartlandırma işlemiyle kolonun pH'sı örnek çözeltinin pH'sına ayarlanmıştır. $25 \text{ mL } 0,2 \text{ mg L}^{-1} \text{Cu(II)}$ çözeltisi optimum pH değerine ayarlanmış, kolondan geçirilmiş ve geri alma çözeltisi ile alınmıştır. Metal iyon konsantrasyonları FAAS ile belirlenmiştir. Kolon kullanımdan sonra geri alma çözeltisi ve ultra saf su ile yıkanmış ve bir sonraki kullanıma kadar suda bekletilmiştir.

B. 3. Biyosorbentin Karakterizasyonu

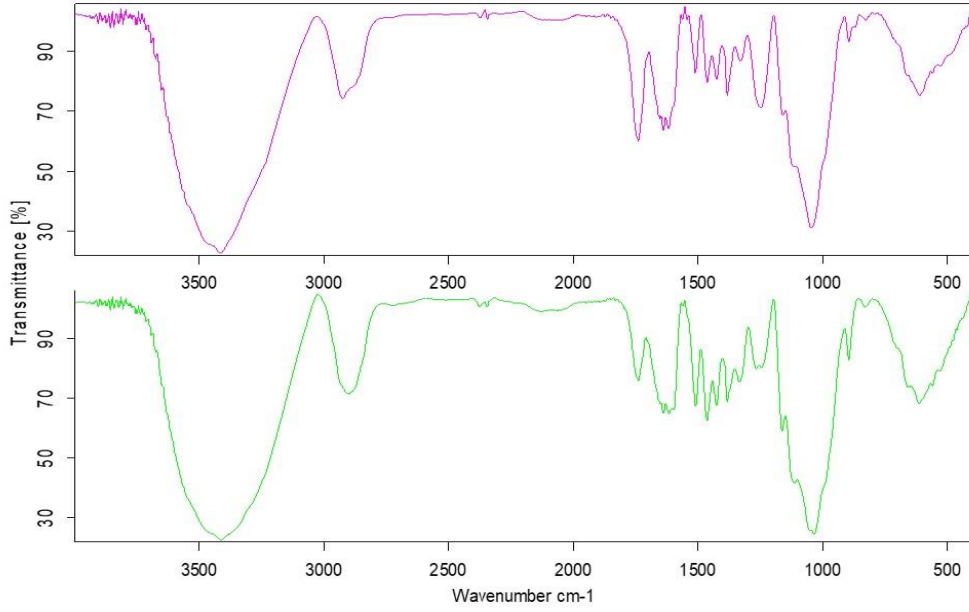
Metallerin farklı sorbentler üzerine adsorpsiyon kapasitesi, hem yüzeyin gözenek yapısına hem de yüzeyde bulunan aktif fonksiyonel grupların varlığına bağlıdır. *Prunus Dulcis L.* kabukları kütlelerinin önemli bir kısmı selüloz, hemiselüloz ve lignin bileşenlerinden oluşan lignoselülozik materyallerdir. Hazırlanan biyosorbentin ham halinin ve de EDTA ile modifikasyonu sonrası gözenek yapısının incelenmesi ve yapıda bulunabilecek grupların incelenmesi nedeniyle SEM ve FTIR analizleri yapılmıştır.

III. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

SEM analizleri incelendiğinde (Şekil 1.) *Prunus Dulcis L.* kabuklarının gözenekli ve heterojen yapısı biyosorpsiyon için uygunluğunu gösterirken modifikasyon sonrası daha homojen yapıya sahip olması ve gözenek yapısında değişiklikler açıkça görülmektedir. Aynı zamanda FTIR spektrumu incelendiğinde (Şekil 2.) kabuk içerisinde bulunan alkol, fenolik, karboksilik asit grupları ve karboksilik asit esterleri gibi fonksiyonel grupların varlığı görülmektedir. Lignin, selüloz ve hemiselüloz yapısına ait OH gruplarına ait pikler $3400-3500\text{ cm}^{-1}$, alifatik CH_2 gruplarına ait gerilme titreşimleri pikleri $2800-2900\text{ cm}^{-1}$, alifatik asit $\text{C}=\text{O}$ gerilme pikleri $1600-1750\text{ cm}^{-1}$ dalga boylarında elde edilmiştir. EDTA modifikasyonu sonrasında bazı pik yapılarındaki ($1500-1750\text{ cm}^{-1}$) kaymalar (NH_2 pikleri) ve $1000-900\text{ cm}^{-1}$ aralığında Si-O-Si ve Si-O-C pikleri modifikasyon sonrası yapıdaki değişikliği göstermektedir. Elde edilen pikler literatürdeki kabuklara ait FTIR spektrumları ile de kıyaslanmıştır [22-23].



Şekil 1. *Prunus Dulcis L.* kabuklarının (a) Modifikasyon öncesi (b) Modifikasyon sonrası (c) Modifikasyon sonrası Cu(II) adsorplanmış SEM görüntüleri.

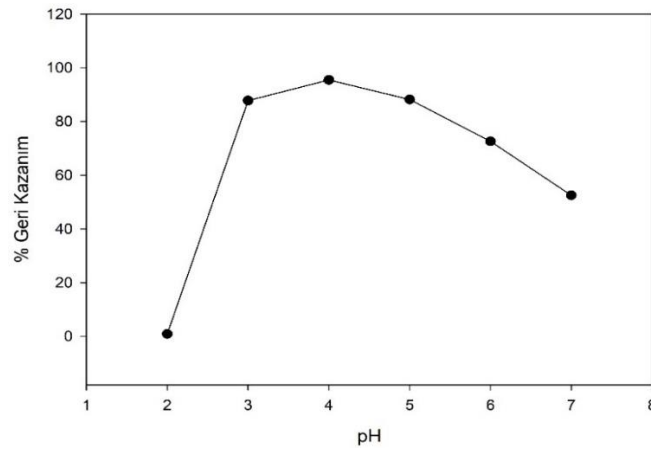


Şekil 2. *Prunus Dulcis L. kabuklarının (a) Modifikasyon öncesi (b) Modifikasyon sonrası FTIR spektrumları.*

B. OPTİMUM DENEYSEL PARAMETRELERİN BELİRLENMESİ

B. 1. pH

Biyosorpsiyon derecesi ve hızında en önemli etkenlerden birisi olan pH, biyosorbentin yüzey yükünü, adsorbatın iyonizasyon derecesini ve formunu etkilemektedir. Çözelti pH'ı, biyosorbent yüzeyindeki negatif yüklü grupları ve metal iyonları ile hidrojen iyonları arasındaki rekabeti de etkilemektedir. Daha düşük pH değerlerinde hidrojen iyonlarının metal katyonları ile yarışmaya başlaması nedeni ile tutunma ve geri kazanım değerleri azalırken daha yüksek pH değerlerinde ise metal hidroksitlerinin çökme eğilimi göstermesi nedeniyle katyonların biyosorpsiyonunda çok düşük pH'lar veya yüksek pH değerleri istenmez. Bu amaçla pH 2-7 aralığında $0,2 \text{ mg L}^{-1}$ Cu(II) içeren sentetik çözeltiler hazırlanmış ve kolondan belli bir akış hızında geçirilerek süzüntülerdeki ve geri alma çözeltilesindeki analit miktarı FAAS ile tayin edilmiştir. Elde edilen geri kazanım değerleri grafiğe geçirildiğinde (Şekil 3.) en yüksek geri kazanım değeri pH=4'te elde edildiği için optimum pH değeri 4 olarak belirlenmiş ve diğer parametreler bu değerde çalışılmıştır.



Şekil 3. *Cu(II) geri kazanım verimine pH etkisi.*

B. 2. Geri Alma Çözeltisi

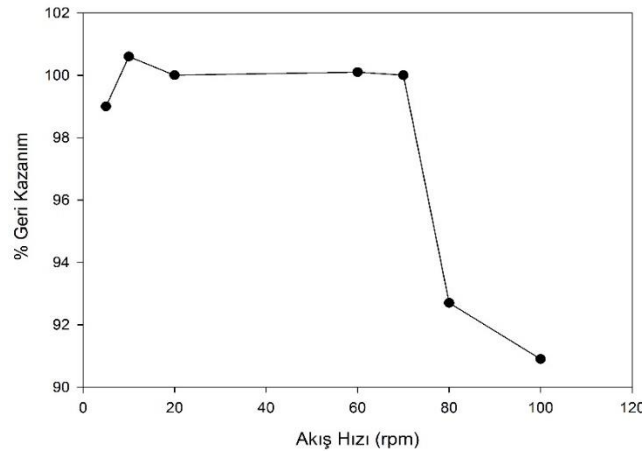
Geri alma işlemi zenginleştirme metodunun belirlenmesi çalışmalarında en önemli parametrelerden birisidir. Kullanılan çözelti ve derişimi geri alma verimini yüksek oranda etkilemektedir. Bu yüzden çalışmanın başında uygun geri alma çözeltisinin belirlenmesi gerekmektedir. Geri alma işlemi için hem HNO₃ hem de HCl çeşitli konsantrasyonlarda denemiş ve elde edilen sonuçlar Tablo 1.'de verilmiştir. En yüksek geri kazanma verimi 0,5 mol L⁻¹ HCl ile elde edilmiş ve bu nedenle optimum geri alma çözeltisi olarak seçilmiştir.

Tablo 1. Cu(II) geri kazanma verimine çeşitli asit ve derişimlerinin etkisi.

Geri alma çözeltisi	Konsantrasyon (mol L ⁻¹)	Geri kazanım* %
HNO ₃	1,0	95,5±0,4
HCl	0,25	96,1±2,6
HCl	0,50	99,0±0,4
HCl	1,0	100,0±1,3

B. 3. Çözelti Akış Hızı Etkisi

Zenginleştirme işleminde bir diğer önemli parametre ise çözelti akış hızıdır. Akış hızı artıkça genellikle hem analitin sorbent yüzeyine tutunması ve buna bağlı olarak da geri kazanım verimi düşme eğilimi göstermektedir. Aslında yüksek akış hızlarında çalışmak zaman yönetimi açısından önemli bir durum olup, bu nedenle optimum akış hızının tespit edilmesi gerekmektedir. Akış hızı parametresinde 10-100 rpm aralığında çalışılmış ve bu akış hızlarında geri kazanma verimleri incelenmiştir. 75 rpm'e kadar numune akış hızında kantitatif geri kazanım elde edilmiştir daha yüksek değerlerde geri kazanma verimi giderek azalmıştır. Bu nedenle, optimum çözelti akış hızı olarak 75 rpm seçilmiş, çözeltinin akış hızının geri kazanma verimine etkisi Şekil 4'te gösterilmiştir.

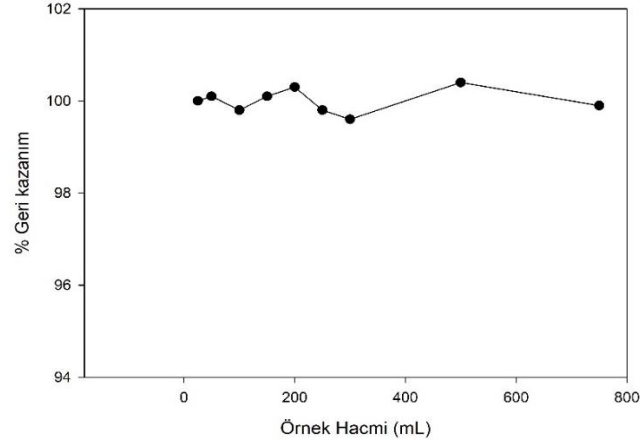


Şekil 4. Cu(II) geri kazanma verimine akış hızının etkisi.

B. 4. Örnek Hacminin Etkisi

Uygulanabilecek en yüksek örnek hacmini belirlemek için analit miktarı sabit tutularak örnek hacmi artırılmıştır. Sırasıyla 5 µg Cu(II) içeren 50, 100, 150, 200, 250, 300, 500 ve 750 mL'lik numune çözeltileri belirlenen optimum koşullarda kolondan geçirilmiş, geri alma işlemi yapılmış ve bakır miktarı FAAS ile belirlenmiştir. Örnek çözelti hacminin bakır iyonları için geri kazanım verimi üzerine etkisi Şekil 5'da verilmiştir. Sonuçlarına bakıldığında 750 mL yüksek hacim değerlerinde bile geri kazanım veriminde azalma görülmemiş ve geri kazanım verimi kantitatif olarak elde edilmiştir (>%95). Buradan zenginleştirme faktörü, en yüksek örnek hacmi (750 mL) ve geri alma çözeltisi hacmi (5 mL)

oranıyla $750/5=150$ bulunmuştur. Zenginleştirme faktörünün büyük olması, gerçek örneklerle çalışıldığı zaman kullanılabilir örnek hacmi miktarının da büyük olmasını sağlayacaktır.



Şekil 5. Cu(II) geri kazanma verimine örnek hacminin etkisi.

B. 5. Biyosorpsiyon Kapasitesi

Biyosorpsiyon izotermi analit ve sorbent arasındaki adsorpsiyon sistemini incelemek ve açıklamak için en önemli parametrelerden birisidir. Denge biyosorbent ve tutunan tür arasındaki etkileşimin türünü incelemek ve biyosorbent maksimum adsorpsiyon kapasitesini belirlemek için, kesikli sistemde çalışılmış Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon izotermi çizilmiştir. Langmuir denklemi [24]:

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_m K} + \frac{C_e}{q_m} \quad (1)$$

C_0 çözültideki başlangıç Cu(II) konsantrasyonu (mg L^{-1}), C_e , denge Cu(II) konsantrasyonu (mg L^{-1}), q_e dengede tutunan Cu(II) miktarını (mg g^{-1}), q_m biyosorbent biyosorpsiyon kapasitesini (mg g^{-1}) ve K , Langmuir sabitini (mg L^{-1}) ifade etmektedir. Deneysel sonuçlar ile doğrusallaştırılmış C_e/q_e 'ye karşı C_e grafikleri çizilmiş (Şekil 6.), eğim ve kesim noktaları kullanılarak Langmuir parametreleri hesaplanmış ve Tablo 2.'de verilmiştir. Freundlich denklemi ise şu şekilde verilmiştir [25]:

$$\log q_e = \log K + \frac{1}{n} \log C_e \quad (2)$$

$\log C_e$, $\log q_e$ 'ye karşı grafiğe geçirilmiş, K ve n Freundlich sabitleri grafikten hesaplanmıştır (Şekil 7.).

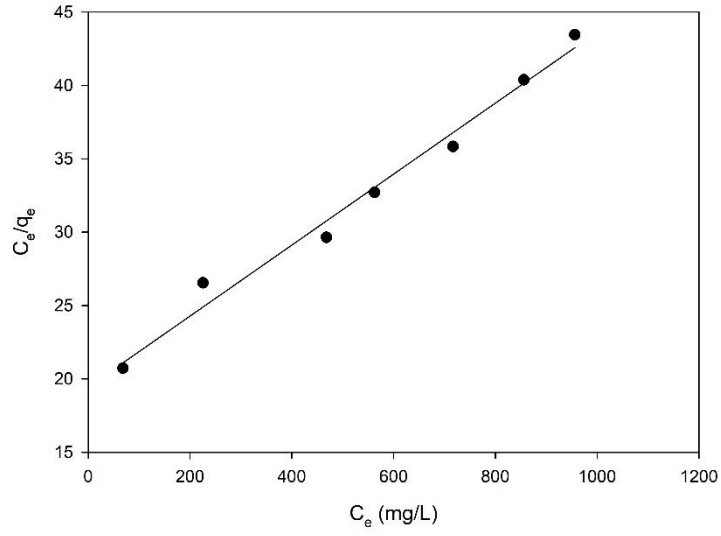
Biyosorpsiyon kapasitesini belirlemek için her biri pH 4'e ayarlanmış 25 mL $10\text{-}1000 \text{ mg L}^{-1}$ Cu(II) çözültisi içeren çözültüler, 50 mg ham *Prunus Dulcis L.* kabukları ve EDTA ile modifiye edilmiş *Prunus Dulcis L.* kabukları ile oda koşullarında 1 saat karıştırılmıştır. Çözültüler katı fazın ayrılması için önce mavi bant süzgeç kâğıdından süzölmüş, elde edilen filtrat daha sonra seyreltilerek metal derişimleri FAAS ile belirlenmiştir. Adsorplanan bakır miktarı aşağıdaki eşitlikten hesaplanmıştır.

$$q_e (\text{mg g}^{-1}) = \frac{(C_0 - C_e) \times V}{m} \quad (3)$$

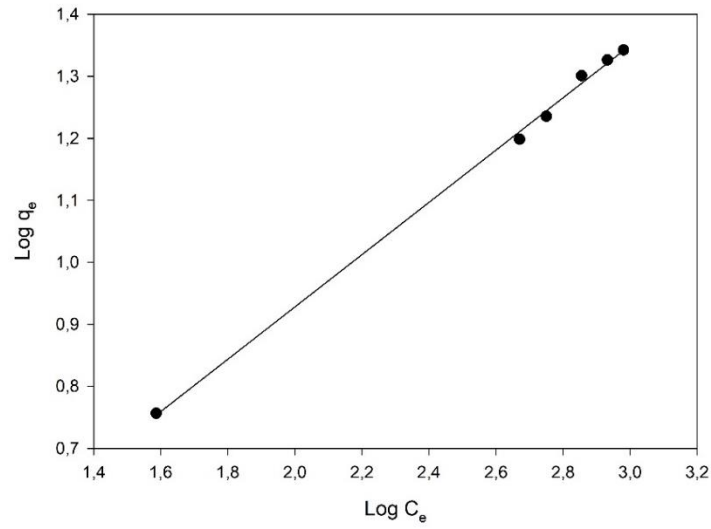
Burada q_e denge biyosorpsiyon kapasitesini (mg g^{-1}), sırasıyla C_0 ve C_e başlangıç ve çözültideki denge bakır konsantrasyonu (mg L^{-1}); V , çözültinin (L) hacmidir ve m , biyosorbentlerin kütlesidir (g).

Biyosorbent kapasitesinin belirlenmesi amacıyla Langmuir ve Freundlich izoterm grafikleri çizilmiştir. Bakır (II) iyonu için en yüksek biyosorbent kapasitesi Langmuir izoterm modelinden ham *Prunus Dulcis L.* kabukları için $34,6 \text{ mg g}^{-1}$ EDTA modifiye edilmiş *Prunus Dulcis L.* kabukları için ise $42,2 \text{ mg g}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır. EDTA ile modifiye edilmiş biyosorbent kapasitesindeki artış

bağlanan fonksiyonel grupların önemini göstermektedir. Ayrıca kullanılan biyosorbent literatürdeki biyosorbentlerle kıyaslandığında da bakır iyonları maksimum biyosorpsiyon kapasitelerinde önemli farklar (Tablo 3.) gözükmemektedir.



Şekil 6. EDTA ile modifiye edilmiş *Prunus Dulcis L.* kabuklarına Cu(II) biyosorpsiyonu Langmuir izoterm grafiği.



Şekil 7. EDTA ile modifiye edilmiş *Prunus Dulcis L.* kabuklarına Cu(II) biyosorpsiyonu Freundlich izoterm grafiği.

Tablo 2. Ham *Prunus Dulcis L.* kabukları ve EDTA ile modifiye edilmiş *Prunus Dulcis L.* kabukları için izoterm sabitleri.

Biyosorbent	Langmuir izoterm			Freundlich izoterm		
	q_m ($mg\ g^{-1}$)	K_L ($L\ mg^{-1}$)	R^2	n	K_F	R^2
<i>Prunus Dulcis L.</i> kabukları	34,60	0,0028	0,99	1,54	3,29	0,99
EDTA ile modifiye edilmiş <i>Prunus Dulcis L.</i> kabukları	42,19	0,00278	0,98	2,35	1,19	0,99

Tablo 3. Bakır iyonları için literatürdeki farklı biyosorbentlerin biyosorpsiyon kapasitelerinin karşılaştırılması.

Biyosorbent	Maksimum biyosorpsiyon kapasitesi ($mg\ g^{-1}$)	Referans
Badem kabuğu (Almond shell)	9,00	[15]
Hindistan cevizi kabuğu (Coconut Shell)	19,89	[23]
Zeytin ezmesi (Olive pomace)	8,00	[26]
Doğal örümcek ipeği (Natural spider silk)	12,73	[27]
Muz kabuğu (Banana Peel)	20,97	[28]
Manyok kökü kabuğu tozu (Cassava root husks powder)	8,90	[29]
<i>Malpighia emarginata</i> tohumları (<i>Malpighia emarginata</i> seeds)	6,54	[30]
<i>Herpetocypris brevicaudata</i> kabuğu (<i>Herpetocypris brevicaudata</i> carapace)	45,12	[31]
Çay atığı (Tea waste)	25,83	[32]
<i>Prunus Dulcis L.</i> kabukları (<i>Prunus Dulcis L.</i> peels)	34,60	Bu çalışma
EDTA ile modifiye edilmiş <i>Prunus Dulcis L.</i> kabukları	42,19	

B. 6. Kolon Çevrimi

Kolonun yeniden kullanılabilirliği SPE'nin önemli parametrelerinden birisidir. Biyosorbent doldurulmuş kolondan sırasıyla şartlandırma çözeltisi, örnek Cu(II) çözeltisi, geri alma çözeltisi ve yıkama çözeltisi ardından bol miktarda ultra saf su geçirilerek bir kolon döngüsü gerçekleştirilir. Bu işlem her tekrarlandığında % geri kazanım değerinde herhangi bir azalma olmaması istenir. Bu sonuçlara dayanarak, hazırlanan kolonun, Cu(II) iyonlarının geri kazanım değerlerinde önemli bir düşüş olmaksızın en az 50 döngüye kadar yeniden kullanılabilir olduğu görülmüştür.

B. 7. Analitik Performans

Yöntemin geçerliliğini test etmek için, lineer çalışma aralığı, doğruluk, kesinlik, tayin sınırı, gözlenebilme sınırı ve zenginleştirme faktörü gibi bazı analitik özellikler hesaplanmıştır. Optimum deneysel şartlar altında bir seri standart çözelti analizi ile hesaplanmıştır. Kalibrasyon eğrisi 0,5-3,0 mg L⁻¹ standart Cu(II) çözeltileri ile lineer olarak elde edilmiş, korelasyon katsayısı 0,9988 olarak bulunmuştur. Önerilen yöntemle Cu(II) iyonları için gözlenebilme sınırı (LOD) ve tayin sınırı (LOQ)

değerleri 3s/m ve 10s/m formüllerinden hesaplanmıştır. Burada m kalibrasyon eğrisinin eğimine karşılık gelirken s, 30 blank çözeltisinin standart sapmasına karşılık gelmektedir. Buradan LOD değeri 6,088 µg L⁻¹ ve LOQ değeri ise 18,265 µg L⁻¹ olarak bulunmuştur. Analitik LOD değeri ise, LOD değerinin zenginleştirme faktörüne (150) bölünmesiyle 0,0406 µg L⁻¹ olarak elde edilmiştir [33-34].

Ayrıca, önerilen yöntemin kesinliği, yapılan tekrarlanabilirlik çalışmalarıyla araştırılmıştır. Tekrarlanabilirliği değerlendirmek için, geri kazanım sonuçları altı tekrarlı ölçüm ile elde edilmiş ve Cu(II) iyonları için % geri kazanım değerleri 99,43±1,14 ve bağıl standart sapma (RSD) değeri ise %2,23 belirlenmiştir (Tablo 4.).

Tablo 4. Önerilen yöntem için kesinlik parametreleri.

Parametre	Değer*
Ortalama geri kazanım (%)	99,43±1,14
RSD %	±2,23
Tekrar sayısı	6

* $\bar{x} \pm \frac{ts}{\sqrt{N}}$ with N=6, %95 Güven seviyesi)

B. 8. Doğruluk ve Analitik Uygulamalar

Önerilen yöntemin doğruluğunu değerlendirmek için sertifikalı referans madde analizi yapılmıştır. Cu(II) iyonları tayini için Soft Drinking Water (ERML-CA021a) isimli su matrisli sertifikalı referans materyali ile çalışılmıştır. Herhangi bir ön işlem yapılmamış olup, deneyler yukarıda belirlenen optimum parametrelerde gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonuçları Tablo 5'te verilmiştir. Görüldüğü gibi, bulunan değerler ile sertifikalı değerler arasında iyi bir uyum olup kantitatif sonuçlar elde edilmiştir. Bu da önerilen yöntemin su gibi karmaşık matrisli numunelerde bakır iyonları için iyi biyosorpsiyon, ayırma ve tayin yeteneğine sahip olduğunu göstermektedir.

Tablo 5. Sertifikalı referans madde için Cu(II) tayini.

Sertifikalı referans madde	Sertikalı değer (µg L ⁻¹)	Bulunan değer* (µg L ⁻¹)	Geri kazanım* %
Soft Drinking Water (ERML-CA021a)	1,975	2,05±0,62	103,75±2,76

*(N=3, %95 Güven seviyesi)

IV. SONUÇ

Son zamanlarda giderek artan metal kirliliği, sadece ülkemiz için değil dünya çapında en büyük çevre sorunlarından birisidir. Özellikle bu metallerin suya karışması günümüzde kullanılabilir su kaynaklarının azaldığı göz önüne alındığında daha ciddi önem arz etmektedir. Bu metaller çevreye birçok farklı kaynaktan salınabilmektedir. Hem esansiyel hem de toksik metal sınıfında yer alan bakır, suda bulunabilen ve fazlası zehirli olan eser sınıfında bir ağır metaldir. Bu nedenle eser miktardaki seviyelerinin belirlenmesi son derece önemlidir. Bu çalışmada, Cu(II) iyonlarının tayini için katı faz özütleme yöntemi seçilmiş ve katı faz olarak EDTA ile modifiye *Prunus Dulcis L.* kabukları kullanılarak sulu çözeltiden zenginleştirme koşulları araştırılmış, optimum deneysel koşullar belirlenmiştir. Bu kabuklar katı faz olarak literatürde kullanılan diğer biyosorbentlerle kıyaslandığında daha ucuz olup, fazla miktarlarda bulunmaları ve çoğu tarımsal üretimden veya sanayinin yan ürünlerinden elde edildikleri için de kolayca erişilebilirlerdir. Bu amaçla tarımsal bir atık olan *Prunus Dulcis L.* kabukları bakır iyonlarının zenginleştirilerek tayininde biyosorbent olarak kullanılmıştır. Literatürdeki biyosorbentler ile karşılaştırıldığında biyosorbent kapasitesi açısından daha yüksek sonuçlar alınmış ve

EDTA ile modifiye *Prunus Dulcis L.* kabuklarının ham *Prunus Dulcis L.* kabuklarına göre biyosorbent kapasitesinin daha iyi olduğunu görülmüştür. Yöntemin doğruluğunu teyit etmek için sertifikalı referans madde (ERML-CA021a) analizi yapılmış ve kantitatif sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen bu sonuçlarda yöntemin su numunelerinde bakır iyonlarının tayinin için uygulanabilir bir yöntem olduğunu göstermektedir. Böylece, hem bu düşük maliyetli tarımsal atıklar değerlendirilmiş olup, hem de toksik etkisi olan metallerin gideriminde ve eser miktarlarının tayininde etkin bir biyosorbent olarak kullanılabilir olduğu görülmüştür.

V. KAYNAKLAR

- [1] S. Kuppusamy, P. Thavamani, M. Megharaj, K. Venkateswarlu, Y. B. Lee, R. Naidu, “Oak (*Quercus robur*) acorn peel as a low-cost adsorbent for hexavalent chromium removal from aquatic ecosystems and industrial effluents,” *Water Air Soil Pollution*, vol. 227, no. 62, pp. 1-11, 2016.
- [2] N. E. Gümüş, B. Aőıkkutlu, H. B. Keskinaya, C. Akköz, “Comparison of heavy metal absorption of some algae isolated from Altınapa Dam Lake (Konya),” *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, no. 1, pp. 50-56, 2021.
- [3] P. Liang, Q. Ding, F. Song, “Application of multiwalled carbon nanotubes as solid phase extraction sorbent for preconcentration of trace copper in water samples,” *Journal of Separation Science*, vol. 28, pp. 2339–2343, 2005.
- [4] N. Ozkantar, E. Yılmaz, M. Soylak, M. Tuzen, “Pyrocatechol violet impregnated magnetic graphene oxide for magnetic solid phase microextraction of copper in water, black tea and diet supplements,” *Food Chemistry*, vol. 321, pp. 126737, 2020.
- [5] N. Al-Masoud, M. Habila, Z. A. AlOthman, T. S. S. Alomara, N. Alraqıbah, M. Sheikh, A. A. Ghfar and M. Soylak, “Nano-clay as solid phase microextractor of copper, cadmium and lead for ultra-trace quantification by ICP-MS,” *Analytical Methods*, vol. 12, pp. 4949-4955, 2020.
- [6] S. Kilic, M. Kilic and M. Soylak, “The determination of toxic metals in some traditional cosmetic products and health risk assessment,” *Biological Trace Element Research*, vol. 199, pp. 2272–2277, 2021.
- [7] W. A Khan, M. B Arain and M. Soylak, “Nanomaterials-based solid phase extraction and solid phase microextraction for heavy metals food toxicity,” *Food and Chemical Toxicology*, vol.145, pp. 111704, 2020.
- [8] M. Tuzen, A. Elik, B. Hazer, S. Őımőek, N. Altunay, “Poly(styrene)-co-2-vinylpyridine copolymer as a novel solid-phase adsorbent for determination of manganese and zinc in foods and vegetables by FAAS,” *Food Chemistry*, vol. 333, pp. 127504, 2020.
- [9] N. Altunay, B. Hazer, M. Tuzen, A. Elik, “A new analytical approach for preconcentration, separation and determination of Pb(II) and Cd(II) in real samples using a new adsorbent:Synthesis, characterization and application,” *Food Chemistry*, vol. 359, pp. 129923, 2021.
- [10] Ö. Yalçınkaya, O. M. Kalfa, and A. R. Türker, “Chelating agent free-solid phase extraction (CAF-SPE) of Co(II), Cu(II) and Cd(II) by new nano hybrid material (ZrO₂/B₂O₃),” *Journal of Hazardous Materials*, vol. 195, pp. 332-339, 2011.
- [11] M. Soylak, O. Ozalp and F. Uzcan, “Magnetic nanomaterials for the removal, separation and preconcentration of organic and inorganic pollutants at trace levels and their practical applications: A

review,” *Trends in Environmental Analytical Chemistry*, vol. 29, pp. e00109, 2021.

[12] E. Ay, Z. Tekin, N. Özdoğan and S. Bakırdere, “Zirconium nanoparticles based vortex assisted ligandless dispersive solid phase extraction for trace determination of lead in domestic wastewater using flame atomic absorption spectrophotometry”, *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 2021. <https://doi.org/10.1007/s00128-021-03318-0>.

[13] Y. Bulut and Z. Tez, “Adsorption studies on ground shells of hazelnut and almond,” *Journal of Hazardous Material*, vol. 149, pp. 35–41, 2007.

[14] E. Pehlivan, T. Altun, S. Cetin, M. I. Bhangar, “Lead sorption by waste biomass of hazelnut and almond shell,” *Journal of Hazardous Material*, vol. 167, pp. 1203–1208, 2009.

[15] A. Ronda, M. A. Martí'n-Lara, E. Dionisio, G. Blazquez, M. Calero, “Effect of lead in biosorption of copper by almond shell,” *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, vol. 44, pp. 466–473, 2013.

[16] N. N. Rudi, M. S. Muhamad, L. T. Chuan, J. Alipal, S. Omar, N. Hamidon, N. H. Abdul Hamid, N. M. Sunar, R. Ali, H. Harun, “Evolution of adsorption process for manganese removal in water via agricultural waste sorbents,” *Heliyon*, vol. 6, no. 9, pp. e05049, 2020.

[17] S. İnan and B. Ozkan, “Sorption of cobalt and nickel on narcissus tazetta l. leaf powder”, *Journal of the Turkish Chemical Society Section A: Chemistry*, vol. 8, no. 3, pp. 705–714, 2021.

[18] E. H. Gürkan, “Ağır metal iyonlarının tarımsal atıklar ile biyosorpsiyonunun araştırılması,” *Niğde Ömer Halisdemir University Journal of Engineering Sciences*, c. 10, s. 2, ss. 712-722, 2021.

[19] M. Kazemipour, M. Ansari, S. Tajrobehkar, M. Majdzadeh, H. R. Kermani, “Removal of lead, cadmium, zinc, and copper from industrial wastewater by carbon developed from walnut, hazelnut, almond, pistachio shell, and apricot stone,” *Journal of Hazardous Material*, vol. 150, pp. 322–327, 2008.

[20] H. Özkalkan and R. Saygılı Canlidinç, “Investigation of the conditions for preconcentration of cadmium ions by solid phase extraction method using modified *Juglans regia l.* shells,” *Journal of AOAC International*, vol. 104, pp. 1246-1254, 2021.

[21] M. M. Kabir, S. S. P. Mouna, S. Akter, S. Khandaker, M. Didar-ul-Alam, N. M. Bahadur, “Tea waste based natural sorbent for toxic pollutant removal from waste samples,” *Journal of Molecular Liquids*, vol. 322, pp. 115012, 2021.

[22] P. N. Fotsing, N. Bouazizi, E. D. Woumfo, N. Mofaddel, F. Le Derf, J. Vieillard, “Investigation of chromate and nitrate removal by adsorption at the surface of an amine-modified cocoa shell sorbent,” *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 9, pp. 104618, 2021.

[23] B. Singha, S. K. Das, “Adsorptive removal of Cu(II) from aqueous solution and industrial effluent using natural/agricultural wastes,” *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, vol. 107, pp. 97–106, 2013.

[24] I. Langmuir, “The adsorption of gases on plane surfaces of glass, mica and platinum,” *Journal of the American Chemical Society*, vol. 40, no. 9, pp. 1361-1403, 1918.

[25] H. M. F. Freundlich, “Über die adsorption in lösungen,” *Zeitschrift für Physikalische Chemie* vol. 57, pp. 385-470, 1906.

[26] A. H. El-Sheikh, J.A. Sweileh and M. I. Saleh. “Partially pyrolyzed olive pomace sorbent of high permeability for preconcentration of metals from environmental waters,” *Journal of Hazardous*

Materials, vol. 169, no. 1-3, pp. 58–64, 2009.

[27] L. Pelit, F. N. Ertaş, A. E. Eroğlu, T. Shahwan, H. Tural, “Biosorption of Cu(II) and Pb(II) ions from aqueous solution by natural spider silk,” *Bioresource Technology*, vol. 102, no. 19, pp. 8807–8813, 2011.

[28] R. S. D. Castro, L. Caetano, G. Ferreira, P. M. Padilha, M. J. Saeki, L. F. Zara, M. A. U. Martines and G.R. Castro, “Banana peel applied to the solid phase extraction of copper and lead from river water: Preconcentration of metal ions with a fruit waste,” *Industrial & Engineering Chemistry Research*, vol. 50, pp. 3446–3451, 2011.

[29] A. O. Jorgetto, R. I. V. Silva, M. J. Saeki, R.C. Barbosa, M. A. U. Martines, S. M. A. Jorge, A. C. P. Silva, J. F. Schneider, G. R. Castro, “Cassava root husks powder as green adsorbent for the removal of Cu(II) from natural river water,” *Applied Surface Science*, vol. 288, pp. 356–362, 2014.

[30] A. C. P. Silva, A. O. Jorgetto, M. H. P. Wondracek, R. M. Galera, J. F. Schneider, M. J. Saeki, V. A. Pedrosa, L. F. Zara, G. R. Castro, “Properties, characteristics and application of grinded *Malpighia emargiata* seeds in the removal of toxic metals from water,” *Groundwater for Sustainable Development*, vol. 6, pp. 50-56, 2018.

[31] B. Topuz, F. Batmaz, O. Külköylüoğlu, Ç. Çapraz, “First usage of ostracod species (*Herpetocypris brevicaudata*) carapace as a biosorbent with XAD-4 resin to determine Co(II), Cu(II) and Mn(II) trace metal ions,” *Microchemical Journal*, vol. 167, pp. 106335, 2021.

[32] Ş. Aslan, S. Yıldız, M. Öztürk, “Sentetik atıksulardan atık çay sorbentine Cu+2 biyosorpsiyonu: kinetikler, eşitlikler ve termodinamik”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 27, s. 3, ss. 359-367, 2021.

[33] A. Tunçeli, A. Ulaş, O. Acar, A. R. Türker, “Solid phase extraction of cadmium and lead from water by Amberlyst 15 and determination by flame atomic absorption spectrometry,” *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, vol. 102, pp. 297–302, 2019.

[34] R. A. Zounr, M. Tuzen, N. Deligonul, M. Y. Khuhawar, “A highly selective and sensitive ultrasonic assisted dispersive liquid phase microextraction based on deep eutectic solvent for determination of cadmium in food and water samples prior to electrothermal atomic absorption spectrometry,” *Food Chemistry*, vol. 253 pp. 277–283, 2018.



Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

Optimization Oxygen and Hydrogen Input Velocities by Golden Section Method with 3D Multifluid Model in COMSOL for PEMFCs

 Ezgi BAYRAKDAR ATES^{a,*},  Ahmet EGE^a

^a Energy Systems Engineering Department, Faculty of Engineering, Yalova University, Yalova, TURKEY

* Corresponding author's e-mail address: ezgi.bayrakdar@yalova.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.995420

ABSTRACT

A three dimensional (3D), gas-liquid multi-phase flow and transport model in COMSOL Multiphysics has been developed to simulate flow and transport phenomena in a proton exchange membrane fuel cell (PEMFC) with several operational parameters. The effects of changes in oxygen and hydrogen input velocities on concentration change at electrodes, current density in polymeric membrane and cell performance have been investigated in PEMFC. The simulations, made in COMSOL for numerical method, were presented with an emphasis on the physical and fundamental insight afforded by distributions of velocity vector, local current density, overpotential, oxygen and water concentrations. Using Golden Section Method, optimization of the change in the speed vector was made based on the numerical models for velocity values. Results showed that computational and numerical methods are in great harmony. The polarization curve, which is used as a measure of efficiency in cell performance, were supportive with results. The data show that the power density obtained for the optimum model is higher, with such a model performance of 92.87%. Compared to the currently used PEMFC, while hydrogen saving achieved between 4.2% and 7.1%, electrical efficiency increase were between 1% and 2.4%.

Keywords: Fuel cell, CFD analysis, water management, golden section method, Comsol Multiphysics, optimization

PEMYH için COMSOL'da Üç Boyutlu Çoklu Akış Modeliyle Altın Oran Yöntemi ile Oksijen ve Hidrojen Giriş Hızlarının Optimizasyonu

ÖZ

Üç boyutlu (3D), gaz-sıvı çok fazlı bir akış ve taşıma modeli, birkaç farklı operasyonel parametre ile bir proton değişim membranlı yakıt hücresinde (PEMFC) akış ve taşıma olaylarını simüle etmek için COMSOL Multiphysics'te geliştirilmiştir. Oksijen ve hidrojen giriş hızlarındaki değişikliklerin elektrotlardaki konsantrasyon değişikliği, polimerik membrandaki akım yoğunluğu ve hücre performansı üzerindeki etkileri PEMFC'de incelenmiştir. Sayısal yöntem için COMSOL'da yapılan simülasyonlar, hız vektörü, yerel akım yoğunluğu, aşırı potansiyel, oksijen ve su konsantrasyonlarının dağılımlarının sağladığı fiziksel ve temel anlayışa vurgu yapılarak sunulmuştur. Altın Oran Yöntemi kullanılarak, hız vektöründeki değişimin optimizasyonu hız değerleri için sayısal modellere dayalı olarak yapılmıştır. Sonuçlar, hesaplamalı ve sayısal yöntemlerin büyük bir uyum içinde olduğunu göstermiştir. Hücre performansında verimliliğin bir ölçüsü olarak kullanılan polarizasyon eğrisi, sonuçları destekleyici niteliktedir. Veriler, optimum model için elde edilen güç yoğunluğunun % 92,87 gibi bir model

Received: 14/09/2021, Revised: 20/12/2021, Accepted: 02/02/2022

başarımı ile daha yüksek olduğunu göstermektedir. Mevcut kullanılan PEMFC ile karşılaştırıldığında % 4,2 ile % 7,1 arasında hidrojen tasarrufu sağlanırken, elektrik verimliliği artışı %1 ile %2,4 arasında olmuştur.

Anahtar Kelimeler: Yakıt hücresi, HAD analizi, su yönetimi, altın oran metodu, Comsol Multifizik, optimizasyon

I. INTRODUCTION

There is a significant need to understand of internal processes (reactions, mass transport, heat transport) in a PEMFC [1]. Considering PEMFC durability, design and optimization, one of the key challenges and crucial aspect is water management [2, 3]. Therefore, water management, that is responsible to both water flooding at electrodes and remaining dry of the membrane, has been extensively investigated as experimentally and numerically to control the especially liquid water transport characteristics in PEMFC for the last years [4, 5]. Management of the high amount of water is quite crucial when performed at high current densities, excessive water passes through the membrane and as a result of water generation at the cathode causes in water flooding and thus increasing on concentration losses. Otherwise, quite little water is insufficient and causes dehydration of the membrane at anode side when operating at low current densities [6, 7]. The water management categorized into three subsections such as water management in a membrane, water management in gas diffusion layers, and water management in reactant flow channels. Different numerical models have preferred for lots of the two-phase flows' studies in the perspective of water management [8]. For the last decades, computational fluid dynamics (CFD) based models have been mostly preferred due to their success in providing specific solution of process components such as concentration, pressure distributions, temperature gradients, electrical potentials and current density in the each parts of the unit cell [9, 10]. Although the beginning applications of CFD for PEMFCs performed with two dimensional models [11, 12]. The improvement of more appropriate models, which is considering fluid, thermal and electrochemical transportation management, 3D geometries (consist of flow and cooling channels, and two-phase transportation), have improved due to existence of CFD and developed transport models in recent times. A physical model approach formulated and numerically given a place into multi-dimensional CFD framework to describe free liquid water transportation through the polymer membrane managed by liquid pressure difference [13]. A single-phase 3D PEMFC model developed and examined the impacts of liquid water flooding on cell performance parameters [14]. A two phase CFD Volume of Fluid (VOF) method utilized for simulating water droplet movement and slug formation in PEMFC mini channels. They concluded that too much water in mini channels resourced from the collision and coalescence of droplets could easily cause slugs in PEMFCs [15]. For liquid water management, a basic 3D unsteady model designed and concentrated with detailed thermo-electrochemistry, multispecies and two-phase effects with the interface tracking by using the method was applied on the CFD software package fluent. The impacts of liquid water on fuel cell with serpentine channels were examined [16].

In this study, by providing water management with simulation and modeling processes, it was planned to avoid flooding in order to prevent the corrosion caused by water on the membrane surface and obtain the extension of the cell life. It was also aimed to use a little amount of oxygen and hydrogen. According to these targets, 3D, multi-phase flow and transport model has been developed to investigate oxygen and hydrogen velocities on concentration (hydrogen at anode, oxygen at cathode, water at anode and cathode) and the cell performance investigated under various operating conditions considering water management. In here, an investigation from the perspective of stoichiometry and flow transfer were made. Operations were performed for cell and mass, energy and momentum balances were applied. In this study, PEMFC has been simulated with COMSOL programme and CFD has been examined. Previously, the effects of concepts such as stoichiometry and flow transfer on cell performance were investigated. While most of them examine the flow rate only at the anode or cathode only, few of these researches have studied and compared the performance effects for both electrodes. In studies conducted, it was observed that the effects on relative humidity, diffusion, temperature, pressure or performance of cell geometry on the electrodes are reflected in the results. The performance of PEMFC evaluated (anode and cathode) at a stoichiometric flow rate in their study about two dimensional PEMFC. When they

increase the flow rate to a higher amount, the increase in the current density has slightly changed, and after a while, the effect of the increase in the flow rate on the current density has become almost negligible [17]. The flow occurring along the flow channels were examined in their study. According to their findings, oxygen use and cell tension increased, and the current density on the stalk structure decreased. As a result, it was observed that the cell warms up and the losses increase. This study shows that the losses in the cell change in direct proportion to the current density [18]. The effects of excess air volume investigated on the cathode and current density along the channel for a two-dimensional PEMFC in their study [19]. Water management on a two dimensional and multi flow PEMFC was examined. They concluded that partial water floods occurring inside the cell decreased efficiency and had a negative impact on concentration and stable work. It was determined that the change in concentration caused a decrease in current density and blockages on GDL. They observed that downstream causes more flooding in PEMFCs, and this negative effect is higher in PEMFCs operating at high current densities. This article emphasizes that, like us, "water distribution, mass distribution and temperature control" must be analyzed together. We tried to offer solution by using velocity change as the base to perform this process in our study [20]. An experimental and numerical model developed to control water management in PEMFC. They repeated the flow on their parallel-serpentine with various variables. In their studies, they reported that liquid water floods had a negative effect on the cell and that these effects occurred in a similar way in the parallel-serpentine [21]. This article advocates the following view, similar to our study: "If the water is excessive, water control becomes difficult, if the water is low, the temperature control becomes difficult". An intermediate cell operation condition should be provided for the control of these parameters. This is only possible with an optimization in the current conditions. Our study is about the study of the flow in PEMFC shows great compatibility with the mentioned publications above. Conversely, different from all the articles, an optimization study was carried out to obtain the maximum power value for hydrogen and oxygen input velocities in this study. In addition, simulations using COMSOL were confirmed by the Golden Section Method [21]. The most important difference from the studies in the literature is the use of the Golden Section Method. Our study is about the study of the flow in PEMFC shows great compatibility with the current publications. Our study contributes to the literature by investigating the stoichiometry and flow transfer on cell performance and confirming the simulations by Golden Section Method. As mentioned below, despite there are limited researches which studied and compared the performance effects for both electrodes, there are many studies on examining the flow rate only at the anode or cathode only. This article investigated the changes on performances of both electrodes.

II. MODEL DESCRIPTION

A. MODEL FEATURES AND ASSUMPTIONS

The 3D computational domain and mesh of PEMFC for this article were presented in Figure 1, which comprised of channels, gas diffusion layers for cathode and anode (GDLs), cathode and anode parts, anode catalyst layer (ACL), cathode catalyst layer (CCL) and membrane. The structural properties as well as material characteristics were given in Table 1. The mathematical model has been created based on the assumptions as written below, without having lose any significant effect in the cell performance:

1. Isothermal condition- any temperature variation was not considered in the simulations. The anode, cathode and membrane are the same temperature (62 °C).
2. The voltage between the two electrodes is 0.4 Volt.
3. The GDL is modeled as homogenous porous media without taking into consideration detailed pore structure. Therefore, liquid water passages from the porous areas in the GDL layer were omitted.
4. Nafion was used as polymer membrane and platinum was utilized as catalyst. Nafion® membrane was only permeable to proton and dissolved water.

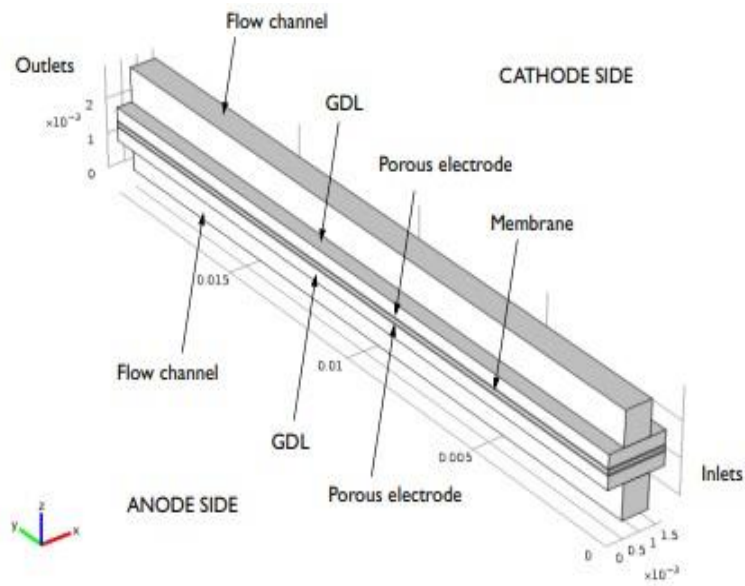


Figure 1. Computational domain and mesh of the studied PEMFC [22].

5. Liquid water could exist in both the electrodes, containing catalyst layers, GDLs and channels. This study examined the hydrogen and oxygen input velocities effects on PEMFC in the perspective of stoichiometry. PEMFC, which worked at optimum conditions, was formed at the end of the performed analysis. The algorithm belongs to obtained model is given in Figure 2.

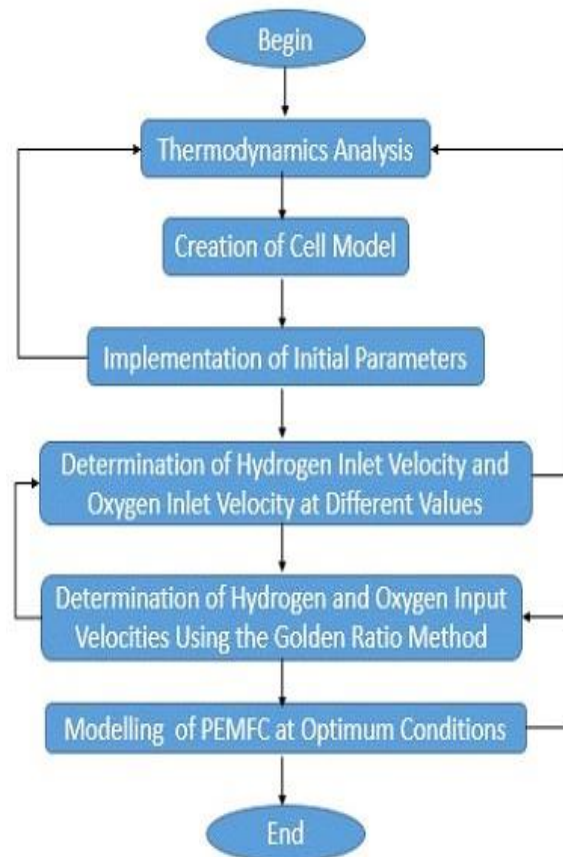


Figure 2. Flow diagram of the solution algorithm.

Table 1. Structural parameters and material properties of the PEMFCs.

References	Parameters	Symbol	Unit	Value
[23, 24]	Channel height	H_{ch}	m	0.001
[23, 24]	Channel width	W_{ch}	m	$0.7874e^{-3}$
[23, 24]	Cell length	L	m	0.02
[23, 24]	Rib width	W_{rib}	m	$0.90932e^{-3}$
[23, 24]	GDL width	W_{GDL}	m	$380e^{-6}$
[25, 26]	Porous electrode thickness	t_{elec}	m	$50e^{-6}$
[25, 26]	Membrane thickness	t_{memb}	m	$100e^{-6}$
[24]	GDL porosity	ε_{GDL}	-	0.4
[24]	GDL permeability	kp_{GDL}	m^2	$1.18e^{-11}$
[24, 27]	GDL electric conductivity	S_{GDL}	$S.m^{-1}$	222
[26, 27]	Inlet H_2 mass fraction	$w_{H_2 in}$	-	0.743
[26, 27]	Inlet H_2O mass fraction	$w_{H_2O in}$	-	0.023
[26, 27]	Inlet O_2 mass fraction	$w_{O_2 in}$	-	0.0228
[13, 24]	Anode inlet flow velocity	$U_{in-anode}$	$m.s^{-1}$	0.2
[13, 26]	Cathode inlet flow velocity	$U_{in-cathode}$	$m.s^{-1}$	0.5
[24, 27]	Anode viscosity	μ_{anode}	Pa.s	$1.19e^{-5}$
[24, 27]	Cathode viscosity	$\mu_{cathode}$	Pa.s	$2.46e^{-5}$
[28, 29]	Hydrogen molar mass	m_{H_2}	$kg.mol^{-1}$	0.002
[28, 29]	Water molar mass	m_{H_2O}	$kg.mol^{-1}$	0.018
[28, 29]	Oxygen molar mass	m_{O_2}	$kg.mol^{-1}$	0.032
[27, 28]	$H_2 - H_2O$ Binary diffusion coefficient	$D_{H_2-H_2O}$	$m^2.s^{-1}$	$1.0662e^{-4}$
[27, 28]	$O_2 - H_2O$ Binary diffusion coefficient	$D_{O_2-H_2O}$	$m^2.s^{-1}$	$3.2674e^{-5}$
[23, 24]	Cell temperature	T	K	335.15
[23, 24]	Reference pressure	P_{ref}	Pa	101325
[26, 29]	Cell voltage	V_{cell}	V	0.4
[29]	Oxygen Reference Concentration	$C_{O_2 ref}$	$mol.m^{-3}$	40.88
[29]	Hydrogen Reference Concentration	$C_{H_2 ref}$	$mol.m^{-3}$	40.88
[27, 28]	Electrolyte phase volume fraction	ϵ_l	-	0.3
[27, 28]	Permeability (porous electrode)	kp_{cl}	m^2	$2.36e^{-12}$
[27, 28]	Membrane conductivity	σ_m	$S.m^{-1}$	9.825

B. MODELING METHOD AND PROCEDURE

In the simulation of PEMFC, different simulations such Modeling Method and Procedures Membrane Electrode Interface, CL and GDLs were performed for cell sections. Expressions such as:

- Regional mass concentrations for hydrogen, oxygen and water
- Tension intensity occurring locally
- Voltage occurs in anode-membrane and cathode-membrane interface.
- Current density on the membrane surface were analyzed according to parameter of velocity.

Polarization curve is formed by examining the responses of PEMFC for multi-phase flow systems by creating different geometries for three dimensions. Thermal management is also provided due to carrying out the water management. In this study, COMSOL programme was utilized in CFD analysis for PEMFC. For modelling PEMFC; chemical matter conduction module, electrochemistry module, fluids module, heat transfer modules, batteries and fuel cell modules were used among from 13 different modules of COMSOL designed for ease of analysis in different engineering fields. While simulation of PEMFC with COMSOL approach steps; system simplification, geometry, equation, boundary

conditions, initial value, mesh creation, solution method were followed as simulation steps to be followed.

C. SECONDARY CURRENT DISTRIBUTION

Secondary current distribution was used to model current density and cell voltage that occur as a result of electrochemical reaction. If any current does not flow through the cell, the voltage is max capacity in here. When a load is connected onto the cell, the current begins to transfer and the cell voltage begins to drop. This changing situation between current and voltage gives the power characteristic polarization curve in the cell.

The electrodes developed for PEMFC are metallic conductors. For the essential equation in this case, utilizing OHM Law is sufficient. Conversely, the electrons released due to reactions occurred inside the cell make this law insufficient. For this reason, the equations formed considering the change in the cell are shown as below [29]. Current density changes in membrane (Nernst-Planck Equation);

$$\nabla \times -(\sigma_I \times \nabla \Phi_I) = Q_I \quad (1)$$

where Q_I is equilibrium potential in ionic region, $\sigma_I (S.m^{-1})$ shows the electrical conductivity in ionic media, Φ_I (Volt) is ionic potential.

Faradic currents that occur reverse to normal of surface were neglected;

$$-n \times i_s = 0 \quad (2)$$

In this equation, $-n$ points the direction of surface normal, i_s (Ampere) shows the current caused by electrodic potential.

$$\nabla \times i_I = Q_I + i_{v,total}, \quad i_I = (\sigma_{I,eff} \times \nabla \Phi_I) \quad (3)$$

where i_I is current sourced from ionic potential, Q_I points the equilibrium potential in ionic region, $\sigma_{I,eff}$ shows the electrical conductivity that is effectively used in ionic media, Φ_I is ionic potential, $i_{v,total} (A.m^{-2})$ is total current density in cell.

$$\nabla \times i_s = Q_s - i_{v,total}, \quad i_s = -\sigma_s \times \nabla \Phi_s \quad (4)$$

In here, i_s is current based on electrodic potential, Q_s points the equilibrium potential in electrodic region, $i_{v,total} (A.m^{-2})$ is total current density in cell, $\sigma_s (S.m^{-1})$ is electrical conductivity in electrodic media, Φ_s shows the electrodic potential.

$$i_{v,total} = \sum m \times i_{v,m} \quad (5)$$

where $i_{v,total} (A.m^{-2})$ is total current density in cell and $\sum m \times i_{v,m} (A.m^{-2})$ is the total current density amount on membrane. The sum of the change in current density at the anode electrode and the change in current density at the cathode electrode is equal to the total charge change between the two electrodes.

$$\eta = \Phi_s - \Phi_i - E_{eq} \quad (6)$$

In here, η is over potential (V), E_{eq} points the equilibrium potential (V).

The efficiency of the electrochemical reaction is limited to electrical conductivity and never occurs at 100% efficiency. This formula is among the important equivalents and was written because of the entropy change.

D. MASS TRANSPORTATION AT ELECTRODES

Mass transportation at electrodes is used in PEMFC where hydrogen is oxidized and forms water. The resulting water is generally present in different phases depending on the cell temperature and pressure. Liquid-Gaseous water requires a advantageous analysis and the calculation of the moisture content. Diffusion, conduction and convection effects are observed thanks to physics. In this study, assuming that the mole fraction in the cell is not changed, it is separately applied for Anode GDL and Cathode GDL.

The effects of liquid and gaseous water in PEMFCs on polymer membranes and electrodes were observed. It was determined that the thickness of the electrode and the thickness of the polymer membrane substantially effected the cell efficiency of the study with the PEMFC. The most important factor in the fuel cell was found to be membrane humidity. Liquid water, which was formed inside the cell, caused pressure on the membrane surface, reduces and destroys the efficiency of polymer membrane.

Various studies have been carried out on a large number of components in order to achieve realistic results in simulation. Different types of boundary conditions have been indicated in simulations which is examining PEMFC operation. This is the section where the top and bottom points were determined for PEMFC. Upper limit value changed according to PEMFC efficiency.

In order to obtain results in PEMFC, the initial value must be entered into the programme. Initial value is the first value given in the boundary conditions to control COMSOL. Another step used in modeling is the mesh creation process. With the use of mesh, the fuel cell is divided into so different parts and the results of the main part are examined by combining separate results for the solution. Golden Section Method was used for the shapes and densities of these grids. In the modeling of the PEMFC, the simulation was solved for the structured and unstructured mesh. The structured mesh was preferred as appropriate mesh in here. The mesh of the polymer membrane was preferred in a finer manner, while a coarse mesh was preferred for the anode electrode. In general, a fuel cell has two electrodes (anode, cathode) and one electrolyte. In addition, advanced fuel cells consist of CL, GDL, bipolar plates and support layers. PEMFC was modeled using Finite Element Method and Finite Volume Method in this study. According to this method, a large number of mesh were formed in the cell and divided into small pieces. Structured mesh was used in 3D modeling of PEMFC. The mesh points for the mesh vary according to the structure and parts of the PEMFC. The mesh points formed in this case are more numerous on the surface of the polymer electrolyte membrane, although less frequently in the channel. The last part of the simulation is the solution method which shows how close we are to real systems. In order to make the simulation performed in COMSOL give parallel values to the experimental results, it should be compared with suitable mathematical methods and validation process should be performed. All acceptances were applied to cell after equations are introduced to programme. When all operations are true, the result could be waited. If there is a wrong in operations, solution could not substantiate and the reason of error is stated.

III. RESULTS AND DISCUSSION

The PEMFC was examined theoretically and required numerical model was performed. The model was evaluated using COMSOL and then modelling of a 3D, multiphase PEMFC as a simulation was basically performed. Three simulations: (I) changing only the hydrogen input velocity, (II) changing only the oxygen input rate, (III) simultaneous change of hydrogen and oxygen input velocities were run on the created model. As a result of the simulations performed; hydrogen concentration in anode, oxygen concentration in cathode, water concentration in anode, water concentration in cathode, current density on polymeric membrane were examined. Each simulation was repeated at different velocity values. A PEMFC operating under optimum conditions was obtained based on the performed simulations. For simulation, experimental parameters in the literature were considered. Changeable and unchanging

expressions were determined on the parameters. Current Density–Polarization Curve was formed by evaluating simulation results for 0.4 V while it was studied at constant temperature and atmospheric pressure. General expressions as physical and geometrical parameters utilized in this study are shown in Table 1. In the initial parameters, the hydrogen inlet velocity was accepted as 0.2 m.s^{-1} while the oxygen inlet velocity was accepted as 0.5 m.s^{-1} . Simulations were repetitively run for 62°C temperature, 1 atm pressure and 0.4 V. The simulation results for the initial parameters are shown in Figure 3 and Figure 4a. For the initial parameters.

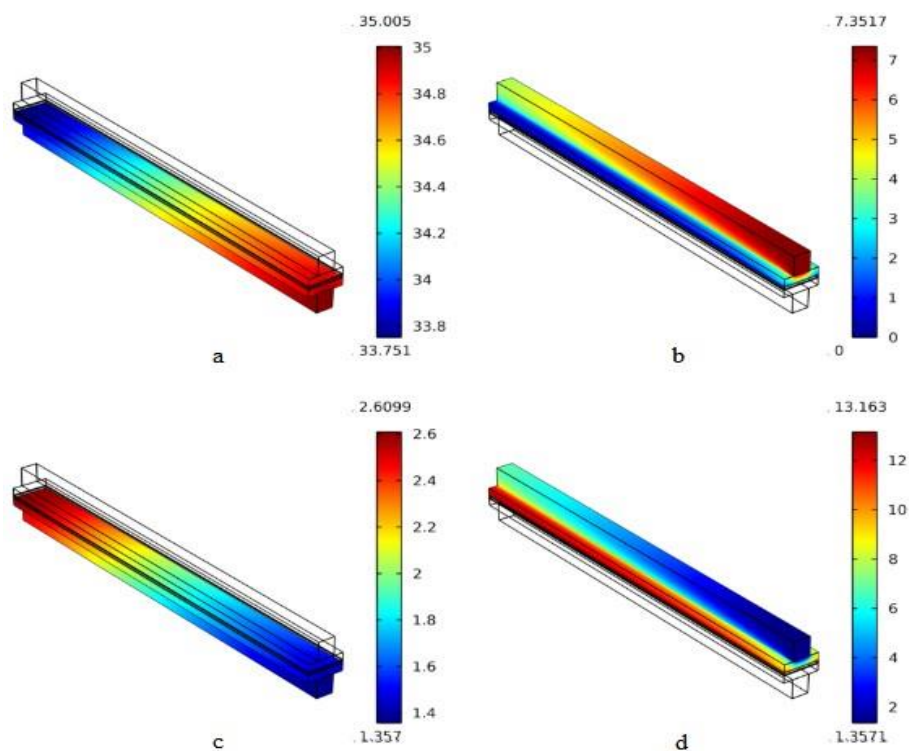


Figure 3. Investigation of changes in PEMFC by application of initial parameters: a) Hydrogen concentration at anode, b) Oxygen concentration at cathode, c) water concentration at anode, d) Water concentration at cathode.

Hydrogen inlet velocity was 0.2 m.s^{-1} and oxygen inlet velocity was 0.5 m.s^{-1} hydrogen concentration in anode electrode was between 33.751 and $35.005 \text{ mol.m}^{-3}$ oxygen concentration in cathode electrode was between 0 and $7.3517 \text{ mol.m}^{-3}$, water concentration in anode electrode was between 1.357 and $2.6099 \text{ mol.m}^{-3}$, water concentration in cathode electrode was between 1.3571 and $13.163 \text{ mol.m}^{-3}$, current density in the polymeric membrane was between 8336 - 17328 A.m^{-2} .

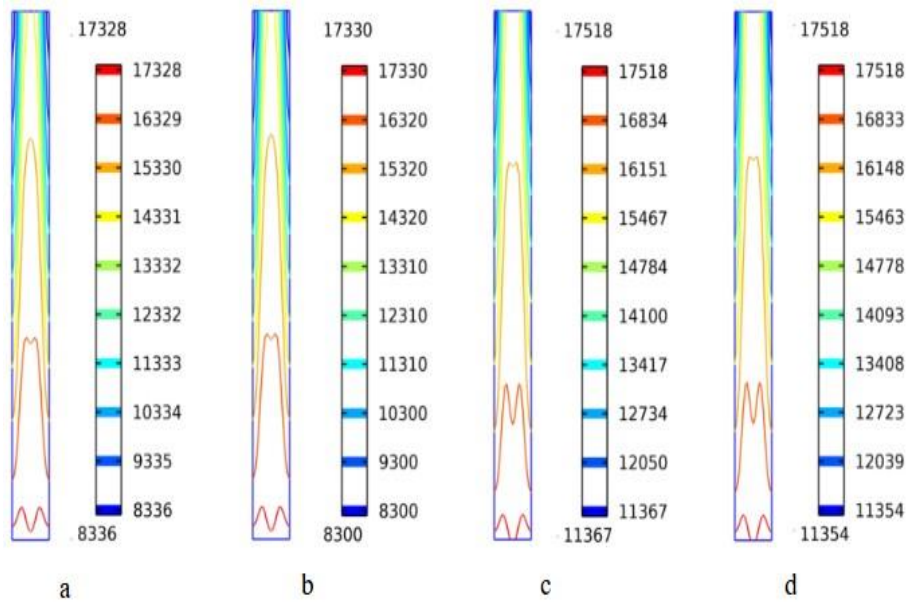


Figure 4. Current density change in polymeric membrane: (a) Investigation of changes in PEMFC by application of initial parameters; (b) Investigation of changes in the PEMFC with the increase of the hydrogen input velocity; (c) Investigation of changes in the PEMFC with the increase of the oxygen input velocity; (d) Investigation of changes in the PEMFC with the increase of the hydrogen and oxygen input velocities.

A. INVESTIGATION OF CHANGES IN PEMFC DUE TO THE INCREASING HYDROGEN INPUT VELOCITY

With increasing hydrogen velocity, hydrogen concentration in anode, oxygen concentration in cathode, water formation in anode, water formation in cathode and current density change in electrolyte membrane were respectively examined for PEMFC operated at 62 °C and 1 atm. All simulation results were evaluated for 0.4 V. Hydrogen input velocity was increased from 0.2 $m.s^{-1}$ to 0.3 $m.s^{-1}$ and no changes were made for oxygen velocity $m.s^{-1}$. Simulation results of changing the hydrogen input velocity at the anode input are shown in Figure 5 and Figure 4b.

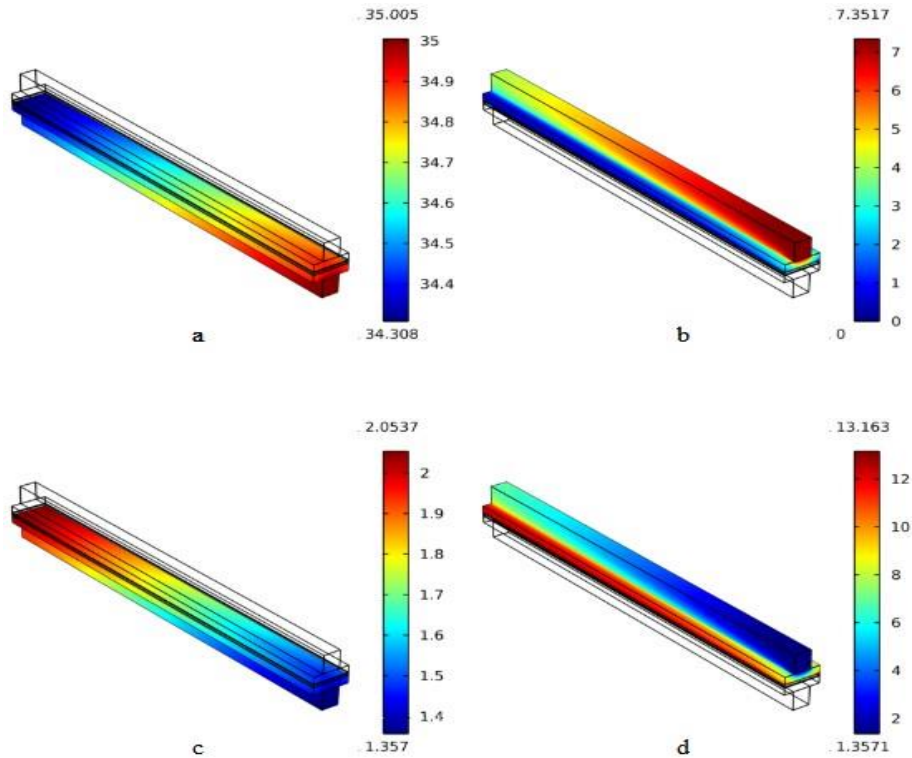


Figure 5. Investigation of changes in the PEMFC with the increase of the hydrogen input velocity a) hydrogen concentration in the anode, b) oxygen concentration in the cathode, c) water concentration in the anode, d) water concentration in the cathode.

For the initial parameters hydrogen inlet velocity was 0.3 m.s^{-1} and oxygen inlet velocity was 0.5 m.s^{-1} ; hydrogen concentration in anode electrode was between 34.308 and $35.005 \text{ mol.m}^{-3}$, oxygen concentration in cathode electrode was between 0 and $7.3517 \text{ mol.m}^{-3}$, water concentration in anode electrode was between 1.357 and $2.0537 \text{ mol.m}^{-3}$, water concentration in cathode electrode was between 1.3571 and $13.163 \text{ mol.m}^{-3}$, current density in the polymeric membrane was between $8300 - 17330 \text{ A.m}^{-2}$. When hydrogen distribution at anode was examined, input concentration was the same for two simulations and it is 0.3 m.s^{-1} . When investigated the hydrogen distribution in anode, beginning concentration was 35.1 mol.m^{-3} for the two simulations. This value is in the anode input region and decreases as it moves away from the input region. A decrease in minimum hydrogen amount at anode electrode was observed. Since the anode inlet region was constant size, the amount of hydrogen fed increased by the ratio of $3/2$. This rise increased the minimum amount of hydrogen in the concentration. Conversely, all of these values are valid for molecular hydrogen. No such reduction was observed for ionic hydrogen. While molecular hydrogen was decreasing, ionic hydrogen increased. The ionic hydrogen moved away from this region to the cathode electrode. Negatively charged electrodes, which begin to accumulate in the anode, were sent to a load by means of a low resistance conductor. In this case, it was expected that when the input velocity of hydrogen increases, the amount of hydrogen input in the anode and the amount of electrons to be released will increase. As the flow velocity increased, initially the ionic hydrogen tended to increase in the perspective of concentration, although remained at a constant concentration after a certain point. The regions where the minimum hydrogen amount existed in anode part were cell boundary and hydrogen output points. The hydrogen distribution was $33.751 \text{ mol.m}^{-3}$ for 0.2 m.s^{-1} , while the concentration was around $34.308 \text{ mol.m}^{-3}$ where the velocity was 0.3 m.s^{-1} . These data showed that the concentration amount would increase when the input rate of hydrogen increased. Any change was not observed in the oxygen concentration simulation at the cathode. A reduction in the water concentration at the anode was observed when hydrogen input velocity was increased. Maximum water concentration was $2.6099 \text{ mol.m}^{-3}$ for m.s^{-1} (hydrogen input velocity), while water concentration was $2.0537 \text{ mol.m}^{-3}$ for 0.3 m.s^{-1} (hydrogen input velocity). The reason for the decrease in water concentration was that the amount of hydrogen increases while the amount of oxygen remains constant. The insufficient amount of oxygen for the new situation causes insufficient oxidation.

Conversely, this is a pioneering information for controlling water in the anode region [4]. The increase was numerically examined in cell performance by controlling water transport in PEMFC. With their CFD analysis, they modeled the change in current density caused by different temperature values. In addition, the studies were performed to create a high efficiency PEMFC by controlling the variables such as pressure, temperature, relative humidity and channel size that may occur along a flow channel in PEMFC [18]. In conclusion, they suggested that thermal and water control within the cell affect performance. This study is showing that the amount of hydrogen fed into the cell is an important factor for this control. In the simulation of increasing hydrogen input velocity, any change in both water concentration in the cathode region and current density on the polymeric membrane was not observed. This was expected situation when considered that there are two separate electrodes. In addition, any change was not observed in the Contour diagram when the hydrogen input velocity was increased. The value of current density varied between 8300 and 17730 $A.m^{-2}$ in both simulations. The minimum current density was 8336 $A.m^{-2}$ for the other simulation and decreased to 8300 $A.m^{-2}$ in this simulation. Conversely, the maximum current density was 17328 $A.m^{-2}$ for the other simulation and increased to 17330 $A.m^{-2}$ in this simulation. Since the simulations were performed under constant voltage 0.4 V, the power density was determined to be constant. When the amount of fuel and oxygen increased, the current density increased slightly, conversely, after a certain level, no matter how much the amount of fuel and oxygen increase, current density did not increase since water would not be formed. For a consistent increase in current density, only hydrogen speed increase or oxygen rate increase is not effective. The feed rates of both molecules should increase at a certain rate.

B. INVESTIGATION OF CHANGES IN PEMFC DUE TO THE INCREASING OXYGEN INPUT VELOCITY

The concentration change on the anode and cathode and the change in the current density in the membrane were investigated with the increase of oxygen input velocity in the PEMFC. The oxygen input velocity was changed from 0.5 $m.s^{-1}$ to 0.8 $m.s^{-1}$. The hydrogen velocity was taken to the initial value of 0.2 $m.s^{-1}$ and all simulation results were evaluated for 0.4 V. The simulation results for changing the oxygen input velocity at the cathode input are given in Figure 6 and Figure 4c.

For the initial parameters hydrogen inlet velocity was 0.2 $m.s^{-1}$ and oxygen inlet velocity was 0.8 $m.s^{-1}$; hydrogen concentration in anode electrode was between 33.54 and 35.005 $mol.m^{-3}$, oxygen concentration in cathode electrode was between 0.0048 and 7.3521 $mol.m^{-3}$, water concentration in anode electrode was between 1.357 and 2.8211 $mol.m^{-3}$, water concentration in cathode electrode was between 1.3572 and 13.101 $mol.m^{-3}$, current density in the polymeric membrane was between 11367 - 17518 $A.m^{-2}$. In the simulations carried out by increasing the oxygen input velocity in the cathode, any change for the amount of hydrogen concentration in the anode and water concentration in the anode was not observed. The concentration of water and hydrogen were in balance for both two simulations. Conversely, the situation varied for the cathode electrode. By increasing the oxygen input velocity, the minimum oxygen concentration increased from 0 $mol.m^{-3}$ to 0.0048 $mol.m^{-3}$. The maximum oxygen concentration increased from 7.3517 $mol.m^{-3}$ to 7.3521 $mol.m^{-3}$. Simulations also showed that the maximum oxygen concentration was in the input region for both cases. As we moved away from the inlet region and came near the membrane surface, the oxygen was brought together with hydrogen. Conversely, in the simulation of the increase in oxygen velocity, it was observed that this will occur to a saturation and be stabilized when the hydrogen molecules are depleted.

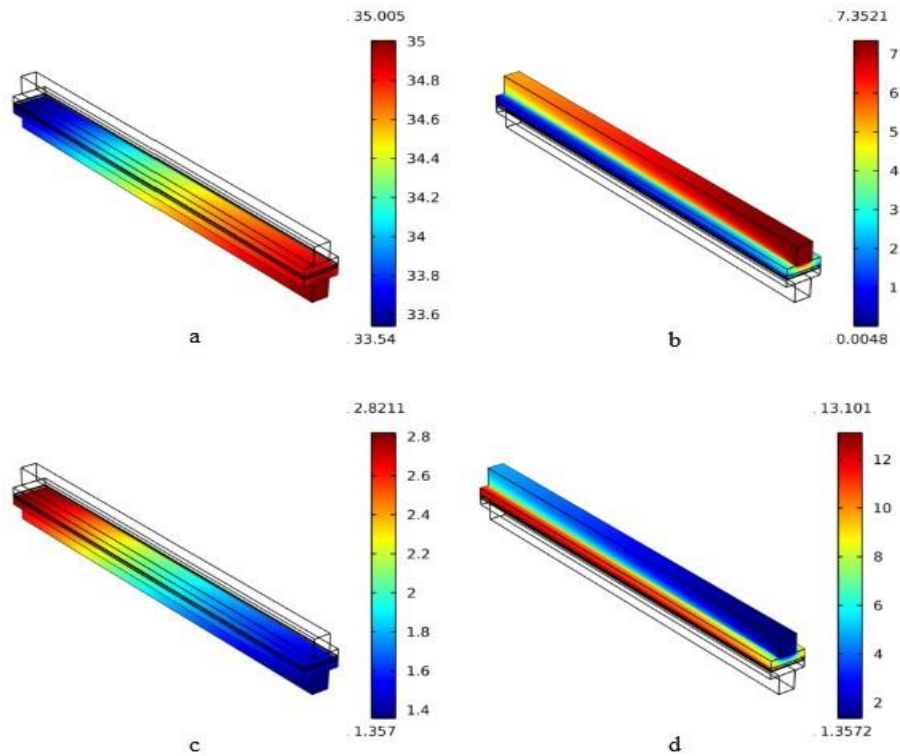


Figure 6. Investigation of changes in the PEMFC with the increase of the oxygen input velocity: a) hydrogen concentration in the anode, b) oxygen concentration in the cathode, c) water concentration in the anode, d) water concentration in the cathode.

The simulation of examining the water concentration in the cathode region clearly demonstrated this situation. Observations on Figure 4c show that the minimum water concentration is $1.3572 \text{ mol.m}^{-3}$ in both two simulations. Conversely, there was a reduction in the maximum water concentration. This value decreased from $13.163 \text{ mol.m}^{-3}$ to $13.101 \text{ mol.m}^{-3}$ compared to the initial state. This value indicated that all of the hydrogen was oxidized and there was any hydrogen to oxidize anymore. After this, it is known that water cannot be formed and will remain completely as oxygen for every speed increase in the cathode region. In addition, for both two simulations, the formation of water firstly started quickly and steadily continued when it reached saturation. The polymeric membrane current density in this modeling differs according to the initial parameters and simulations of only the increase in hydrogen velocity. This difference is the minimum current density. The minimum current density was 8336 A.m^{-2} for the other simulation and increased to 11367 A.m^{-2} in this simulation. With this simulation, it is clear that more current could be obtained at constant voltage and thus more energy could be produced. In addition to this, water transport will be facilitated and cell life will be prolonged by a decrease in water concentration. Conversely, the strength properties of membrane material are among the limiting factors in energy production. Simulation of only changing the rate of oxygen input showed that an increase in the amount of oxygen impinging on the membrane surface. In this simulation, any more water could not be formed because all of the hydrogen were depleted, and the oxygen that has excess molecular weight was constantly contacting the membrane causing physical erosion [30]. In their work with NCPM fuel cell (NC:Nanocomposite), membranes produced from different types of nanocomposite materials have been examined. Studies showed that cell life increases with increased membrane strength. With the only change of the oxygen input velocity simulation, it was observed that the amount of unreacted oxygen decreased to minimum and subsequently the membrane life prolongs. In addition to all of them, temperature rise in the cell will occur due to the decrease in water concentration in the cathode electrode and thermal control will be difficult [31]. The negative effects of temperature rise were examined on PEMFC. For PEMFC, it was determined that the cell yield increases with increasing temperature although cell life was shortened. Our study shows that thermal control on PEMFC can be changed only

by changing the oxygen input velocity. Consequently, the advantages and constraints of the new situation should be taken into account for more energy production.

C. INVESTIGATION OF CHANGES IN PEMFC DUE TO THE INCREASING HYDROGEN AND OXYGEN INPUT VELOCITY

Various observations have been made by simultaneously increasing the hydrogen velocity entering the anode and oxygen velocity entering the cathode in the PEMFC. In this simulation, hydrogen inlet velocity was measured for 0.3 m.s^{-1} and oxygen inlet velocity was 0.8 m.s^{-1} . Simulations of hydrogen distribution in the anode, oxygen distribution in the cathode, water formation in the anode, water formation in the cathode, current density change in the polymeric membrane were examined and simulation results were shown in Figure 7 and Figure 4d.

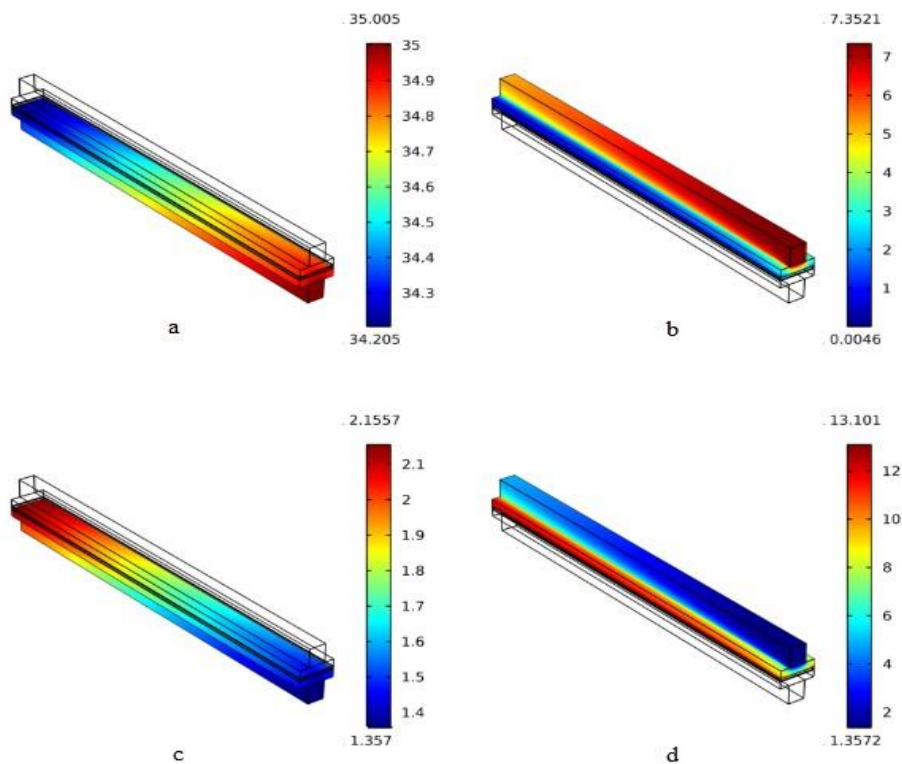


Figure 7. Investigation of changes in the PEMFC with the increase of the hydrogen and oxygen input velocities: a) hydrogen concentration in the anode, b) oxygen concentration in the cathode, c) water concentration in the anode, d) water concentration in the cathode.

For the initial parameters hydrogen inlet velocity was 0.3 m.s^{-1} and oxygen inlet velocity was 0.8 m.s^{-1} ; hydrogen concentration in anode electrode was between 34.205 and $35.005 \text{ mol.m}^{-3}$, oxygen concentration in cathode electrode was between 0.0046 and $7.3521 \text{ mol.m}^{-3}$, water concentration in anode electrode was between 1.357 and $2.1557 \text{ mol.m}^{-3}$, water concentration in cathode electrode was between 1.3572 and $13.101 \text{ mol.m}^{-3}$, current density in the polymeric membrane was between $11354 - 17518 \text{ A.m}^{-2}$. A simultaneous concentration change in the anode and cathode electrodes were observed in the simulation of the simultaneous changing of the hydrogen and oxygen inlet velocities. In addition, this concentration change directly influenced the current density in the polymeric membrane. The minimum hydrogen concentration in the anode electrode increased to $34.205 \text{ mol.m}^{-3}$. For this case, the maximum hydrogen concentration at the anode remained constant at $35.005 \text{ mol.m}^{-3}$. The minimum oxygen concentration in the cathode electrode increased from 0 mol.m^{-3} to $0.0046 \text{ mol.m}^{-3}$, while the maximum oxygen concentration in the cathode electrode increased from $2.6099 \text{ mol.m}^{-3}$ to $2.1557 \text{ mol.m}^{-3}$. Simulations showed that the increases in the velocity of hydrogen fed by the anode and the

oxygen fed by the cathode did not affect the maximum hydrogen in the anodes. Conversely, it caused an increase in the minimum hydrogen concentration in the anode electrode and the minimum oxygen concentration in the cathode electrode at feed velocities. This increase showed that hydrogen and oxygen were fed more than it should be.

For this case, the minimum water concentration at the anode remained constant at 1.357 mol.m^{-3} . This value was the same as the minimum water concentration in the simulation of changing the only hydrogen inlet velocity. The maximum water concentration in the anode electrode decreased from $2.6099 \text{ mol.m}^{-3}$ to $2.1557 \text{ mol.m}^{-3}$. These values were a pioneer for minimization of floods in the anode electrode which occurred by simultaneously changing the hydrogen and oxygen inlet velocities. The minimum water concentration in the cathode electrode increased from $1.3571 \text{ mol.m}^{-3}$ to $1.3572 \text{ mol.m}^{-3}$. The maximum water concentration decreased from 13163 mol.m^{-3} to 13101 mol.m^{-3} . These values were at the same level as the simulation of changing the only oxygen input velocity. The minimum current density in the polymeric membrane increased from 8336 A.m^{-2} to 11354 A.m^{-2} and the maximum current density increased from 17328 A.m^{-2} to 17518 A.m^{-2} . This change indicates the increase in current density with simultaneous increase of hydrogen and oxygen inlet velocities. The results showed that the simulation of simultaneous changing of hydrogen and oxygen inlet velocities is more stable than simulations of changing the only hydrogen inlet velocity and changing the only oxygen inlet velocity. The hydrogen concentration in the anode region increased with the increase of the only hydrogen input velocity. Since the input velocity of oxygen fed by the cathode remained constant, the water formation velocity in the cathode increased first and then remained constant. The fact that the rate of water formation stayed in balance indicates that the reaction is no longer equilibrium and cannot generate more currents. From this simulation, it was observed that only the increase in the velocity of hydrogen input increases the amount of pure hydrogen used, although it was not effective in power generation. The oxygen concentration in the cathode region increased only with the increase of oxygen input velocity. Since the rate of hydrogen supplied by the anode stayed in balance, the rate of water formation in the cathode increased first and then were in balance. The fact that the rate of water formation was in balance indicates that the reaction is no longer equilibrium and cannot generate more currents. The increase in the minimum current density was resulted from the initial parameters. The hydrogen inlet velocity in the initial parameters was accepted as 0.2 m.s^{-1} and the oxygen inlet velocity was accepted as 0.5 m.s^{-1} . In the ideal combustion equation, 2 moles of hydrogen and 1 mol of oxygen are sufficient for the formation of water. Conversely, irreversibility occurs in real combustion. Here, it was desired to burn all of the reacted hydrogen by obtaining an excess of oxygen in order to achieve complete combustion. The excess oxygen content in the initial parameters was assumed to be 25%. It was expected that an increase in the minimum current density is initially expected when the amount of oxygen given to burn 1 mol of hydrogen is increased only in the simulation of increasing the oxygen velocity. Conversely, the simulation also showed an increase in the amount of oxygen in the cathode. This result indicated that there was any more hydrogen not to react and that oxygen was supplied at an excessive rate. This increase in velocity would cause wear on the membrane surface during operation, thus shortening the cell life. Simulation of simultaneous changing of hydrogen and oxygen input velocities increased the hydrogen concentration in the anode electrode and the oxygen concentrations in the cathode electrode. This simulation showed that the rate of water formation could be changed depending on the ratio of the hydrogen and oxygen input velocities. Floods and water leaks could be controlled by controlling the water in the cell. By controlling water with a certain temperature value, thermal control could be facilitated. In order to perform this process, it was determined that the hydrogen velocity at the anode inlet and the oxygen velocity at the cathode inlet should be simultaneously changed in PEMFC. Using the obtained results, the amount of excess oxygen to be used for a PEMFC having 1 atm pressure, 62°C temperature and 0.4 V voltage value was calculated as 23.62%. In a PEMFC with an anode inlet velocity of 0.2 m.s^{-1} , the oxygen inlet velocity should be 0.4945 m.s^{-1} . When these speed values were applied, the power density that could be obtained from PEMFC was 3820 W.m^{-2} and the cell yield was 58.77%. Since the different materials were not needed in the developed modellings and all velocity tests could be done in simple ways, it is superior to the existing studies. Since HTPEMFCs operating at high temperatures have a high vapor loss which leading to erroneous results, alternative solutions should be sought for using these modellings. Developed modellings could be easily applied in all fuel cells operating at low temperatures and forming water as a product. A numerical analysis for hydrogen and oxygen feed velocities has been developed

to minimize the use in a PEMFC that feeds pure hydrogen at the anode inlet and pure oxygen at the cathode inlet, to ensure water control, thermal control and prolong cell life by reducing membrane wear. In this analysis, the results of different speed parameters from COMSOL programme were used. Then, we aimed to check its accuracy by indirectly optimizing this model with a numerical method such as Golden Section Method. The error analysis was performed by comparing the results in each analysis with the previous one. By repeating the processes performed, current density and power density were obtained for optimum hydrogen and oxygen rates. The golden ratio number is an irrational number and is considered to be approximately 0.61803.

$$\frac{\sqrt{5}-1}{2} \cong 0.61803 \quad (7)$$

Representation of the Golden Section Method:

$$d = \left(\frac{\sqrt{5}-1}{2}\right) \times (X_U - X_L) \quad (8)$$

In here, U = upper, L= low

$$X_1 = X_L + d \quad (9)$$

$$X_2 = X_U - d \quad (10)$$

$$\text{If } f(X_1) > f(X_2), X_2 \text{ is new } X_L, \text{ If } f(X_2) > f(X_1), X_1 \text{ is new } X_U \quad (11)$$

The Golden Section Method was possible to see the reality value of convergence by making error analysis after all the operations. It could be said that convergence is sufficient by ensuring continuity in error analysis. When the current density of the hydrogen velocity at the anode in PEMFC was examined, the limit values were determined first. In these values, X_L was equal to stoichiometric combustion. Then, the hydrogen inlet velocity at the anode was gradually increased on COMSOL. It has been observed that, after a certain increase, only the increase of the hydrogen input velocity at the anode has any effect on the current density. The reason for this was that there is less oxygen than the amount that could burn hydrogen. The speed value in the province with this process constituted the X_U value and referred to the maximum hydrogen value that could be burned with a limited amount of oxygen. X_1 and X_2 values were obtained by applying the 1st step of the Golden Section Method for the current limit values. The optimum hydrogen velocity in the anode was determined by performing error analysis on the required processes. The same processes were valid for the oxygen rate at the cathode. With all these processes, the analysis made for the hydrogen inlet velocity at the anode and oxygen inlet velocity at the cathode had the most realistic results. The change obtained as a result of the transactions is shown in Figure 8. Total combustion Equation (12) occurred in PEMFC;

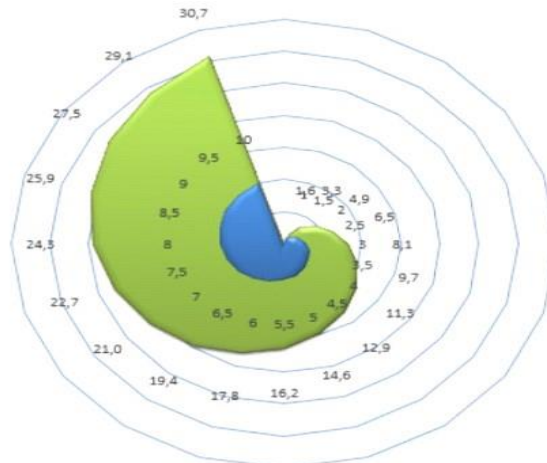


Figure 8. Hydrogen and oxygen feed velocity graphic obtained with Golden Section Method.



For this equation, the coefficient of the hydrogen in the molecular state is (a) and the coefficient of the molecular oxygen is (b), and the ideal combustion is 1 and $(\frac{1}{2})$ respectively, at total combustion. Conversely, it is not possible to achieve this balance in reality. For this reason, it is desired to realize total combustion with excess air by using a large amount of oxygen. For this process to take place, it must be $b > \frac{1}{2}$. Conversely, a restrictor is needed for the desired value. In addition, it is desired to preserve the (a) coefficient in minimum for the (b) coefficient to be obtained. Both of these sequential processes directly affect the combustion efficiency in the reaction. For this reason, it is possible to provide combustion under the best conditions by changing the number of (a) and (b) coefficients. Under the current PEMFC study conditions, numerous iterations have been performed by choosing coefficients upper or down the ideal (a) and (b) coefficients for combustion of hydrogen. By applying the golden ratio on the equation obtained from all these iterations, the ranges of (a) and (b) coefficients were restricted. As a result of each iteration carried out, error analysis was performed and optimum study efficiency was calculated. Velocity equations created for PEMFC operating in optimum conditions are shown below. Of these equations, first one is valid for the anode and second one is valid for the cathode.

$$U_{a_{in}} = \lambda_a \times \frac{I}{2F} \times X_{H_2} \times \frac{R \times T}{P \times S} \quad (13)$$

$$U_{c_{in}} = \lambda_a \times \frac{I}{4F} \times X_{O_2} \times \frac{R \times T}{P \times S} \quad (14)$$

In these equations, $U_{a_{in}}$ and $U_{c_{in}}$ are anode and cathode input velocities, respectively. λ_a is stoichiometric ratio and S is cross-sectional area while I is current density and F is Faraday constant. R is ideal gas constant, P is pressure and T is absolute temperature. In first equation X_{H_2} points the hydrogen mass fraction, while X_{O_2} Equation 13, while f_2 function represents Equation 14.

In Figure 9 the polarization curve for the reference model and the optimum model is given. Based on this curve, it is possible to comment on power density and cell resistance. The polarization curve was made for the results obtained for a voltage between 0.4V - 0.9V. While creating the graph, the average current density change in a cell was evaluated. The results show that the current density and the voltage changed inversely in the cell. At the beginning, any current did not flow through the cell. The potential difference in this case shows the maximum voltage V_{max} . As the current density increases within the cell, the voltage shows a logarithmic decrease. As the area under the polarization curve increases, the power density obtained increases. The data obtained shows that the power density obtained for the optimum model was higher. It also showed the value $R^2 = 0.9287$ for the regression analysis for this process. This result shows that when combined with our decreasing graph in error analysis, we have made an accurate modeling.

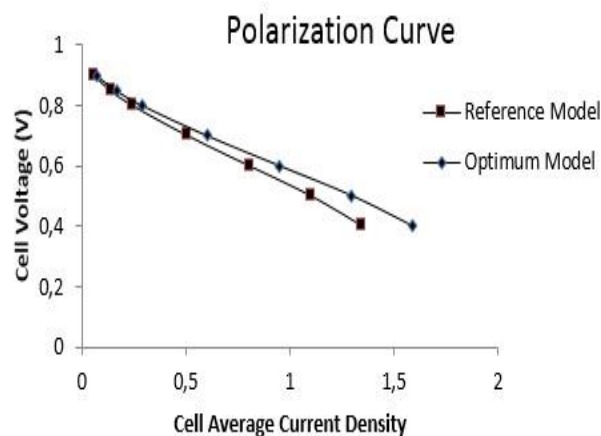


Figure 9. Polarization curve for the reference model and the optimum model.

IV. CONCLUSIONS

In this study, a 3D PEMFC was examined using COMSOL Multiphysical Programme. The studies have been simulated based on mathematical and numerical models using COMSOL. For PEMFC, stoichiometric total combustion, partial combustion, total combustion states were examined respectively. According to the results obtained here, minimum use of hydrogen and oxygen was aimed and achieved for maximum cell performance. The compliance of the findings in the future studies is very easy to perform. Moreover, it is certain that this model for a cell will show similar characteristics as quality in the stalk structure. Modeling approaches were performed to minimize the loss of activation, ohmic and concentration in the cell. Modeling was compatible with mathematical data and other studies. By applying model approaches, velocity effect was investigated to prolong membrane life by preventing membrane wear due to excessive speed. The pressure changes were tried to minimize in the cell by simulation. It was tried to optimize the amount of water that may occur in the cathode. (Too much leads to flooding, and less causes the membrane to heat up, adversely affecting performance). By simulation, it was aimed to preserve the molecular hydrogen in the anode to a minimum ensuring maximum current density. Determining the optimum PEMFC performing conditions by simulations, it was obtained to minimize the use of pure hydrogen which is present in trace amounts for pure form in nature and is generally derived from other hydrocarbon compounds. Thanks to simulations, maximum cell performance was achieved by providing water management and thermal management within the cell. Gas leaks, which might occur, could be minimized with a stable combustion. As mentioned before, confirming the simulations by Golden Section Method makes an important contribution to the literature.

V. REFERENCES

- [1] D. S. Falcão, P. J. Gomes, V. B. Oliveira, C. Pinho, and A. M. F. R. Pinto, "1d and 3d numerical simulations in PEM fuel cells," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 36, no. 19, pp. 12486–12498, 2011.
- [2] D. Cheddie and N. Munroe, "Review and comparison of approaches to proton exchange membrane fuel cell modeling," *Journal of Power Sources*, vol. 147, no. (1-2), pp. 72–84, 2005.
- [3] Z. X. Chen, D. B. Ingham, M. S. Ismail, L. Ma, K. J. Hughes, and M. Pourkashanian, "Dynamics of liquid water in the anode flow channels of PEM fuel cells: a numerical parametric study," *Journal of the Energy Institute*, vol. 92, no. 6, pp. 1956–1967, 2019.
- [4] H. Meng, B. Han, and B. Ruan, "Numerical modeling of liquid water transport inside and across membrane in PEM fuel cells," *Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering*, vol. 8, no. 1, pp. 104–114, 2013.
- [5] P. Quan and M. C. Lai, "Numerical study of water management in the air flow channel of a PEM fuel cell cathode," *Journal of Power Sources*, vol. 164, no. 1, pp. 222–237, 2007.
- [6] I. khazae and H. Sabadbafean, "Effect of humidity content and direction of the flow of reactant gases on water management in the 4-serpentine and 1-serpentine flow channel in a PEM (proton exchange membrane) fuel cell," *Energy*, vol. 101, pp. 252–265, 2016.
- [7] G. Zhang and K. Jiao, "Multi-phase models for water and thermal management of proton exchange membrane fuel cell: A review," *Journal of Power Sources*, vol. 391, pp. 120–133, 2018.

- [8] V. Lakshminarayanan and P. Karthikeyan, "Investigation of pemfc performance with various configurations of serpentine and interdigitated flow channel," *Progress in Computational Fluid Dynamics, an International Journal*, vol. 19, no. 5, pp. 328–336, 2019.
- [9] D. Harvey, J. G. Pharoah, and K. Karan, "A comparison of different approaches to modelling the pemfc catalyst layer," *Journal of Power Sources*, vol. 179, no.1, pp. 209–219, 2008.
- [10] S. O. Obayopo, T. Bello-Ochende, and J. P. Meyer, "Three-dimensional optimisation of a fuel gas channel of a proton exchange membrane fuel cell for maximum current density," *International Journal of Energy Research*, vol. 37, no. 3, pp. 228–241, 2013.
- [11] D. Singh, D. M. Lu, and N. Djilali, "A two-dimensional analysis of mass transport in proton exchange membrane fuel cells," *International Journal of Engineering Science*, vol. 37, no. 4, pp. 431–452, 1999.
- [12] S. Um, C-Y. Wang, and K. S. Chen, "Computational fluid dynamics modeling of proton exchange membrane fuel cells," *Journal of the Electrochemical Society*, vol. 147, no. 12, pp. 4485–4493, 2000.
- [13] A. Z. Weber and J. Newman, "Transport in polymer-electrolyte membranes: I. physical model," *Journal of the Electrochemical Society*, vol. 150, no. 7, pp. A1008- A1015, 2003.
- [14] J. E. Dawes, N. S. Hanspal, O. A. Family, and A. Turan, "Three-dimensional CFD modelling of PEM fuel cells: an investigation into the effects of water flooding," *Chemical Engineering Science*, vol. 64, no. 12, pp. 2781–2794, 2009.
- [15] J. G. Carton, V. Lawlor, A. G. Olabi, C. Hochenauer, and G. Zauner, "Water droplet accumulation and motion in PEM (proton exchange membrane) fuel cell mini-channels," *Energy*, vol. 39, no. 1, pp. 63–73, 2012.
- [16] A. D. Le and B. Zhou, "A general model of proton exchange membrane fuel cell," *Journal of Power Sources*, vol. 182, no. 1, pp. 197–222, 2008.
- [17] L. Xing, Q. Cai, X. Liu, C. Liu, K. Scott, and Y. Yan, "Anode partial flooding modelling of proton exchange membrane fuel cells: Optimisation of electrode properties and channel geometries," *Chemical Engineering Science*, vol. 146, pp. 88–103, 2016.
- [18] J. S. Yi, J. D. Yang, and C. King, "Water management along the flow channels of PEM fuel cells," *AIChE Journal*, vol. 50, no. 10, pp. 2594–2603, 2004.
- [19] S. Chevalier, J-C. Olivier, C. Josset, and B. Auvity, "Polymer electrolyte membrane fuel cell operating in stoichiometric regime," *Journal of Power Sources*, vol. 440, pp. 227100-227109, 2019.
- [20] J. Shen, L. Xu, H. Chang, Z. Tu, and S. H. Chan, "Partial flooding and its effect on the performance of a proton exchange membrane fuel cell," *Energy Conversion and Management*, vol. 207, pp. 112537-112544, 2020.
- [21] M. Hasheminasab, M. J. Kermani, S. S. Nourazar, and M. H. Khodsiani, "A novel experimental based statistical study for water management in proton exchange membrane fuel cells," *Applied Energy*, vol. 264, pp. 114713-114728, 2020.
- [22] M. Jourdani, H. Mounir, and A. Marjani. "Three-dimensional PEM fuel cells modeling using comsol multiphysics." *The International Journal of Multiphysics*, vol. 11, no. 4, pp. 427–442, 2017.

- [23] G. Zhang, L. Fan, J. Sun, and K. Jiao, "A 3d model of PEMFC considering detailed multiphase flow and anisotropic transport properties," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 115, pp. 714–724, 2017.
- [24] T. Berning, D. M. Lu, and N. Djilali, "Three-dimensional computational analysis of transport phenomena in a PEM fuel cell," *Journal of Power Sources*, vol. 106, no.1-2, pp. 284–294, 2002.
- [25] W-Y. Lee, G-G. Park, T-H. Yang, Y-G. Yoon, and C-S. Kim, "Empirical modeling of polymer electrolyte membrane fuel cell performance using artificial neural networks," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 29, no. 9, pp. 961–966, 2004.
- [26] T. Berning and N. Djilali. "Three-dimensional computational analysis of transport phenomena in a PEM fuel cell—a parametric study," *Journal of Power Sources*, vol. 124, no. 2, pp. 440–452, 2003.
- [27] J. C. Amphlett, R. M. Baumert, R. F. Mann, B. Aç Peppley, P. R. Roberge, and T. J. Harris, "Performance modeling of the ballard mark IV solid polymer electrolyte fuel cell: I. mechanistic model development," *Journal of the Electrochemical Society*, vol. 142, no. 1, pp. 1-8, 1995.
- [28] M. M. Hussain, J. J. Baschuk, X. Li, and I. Dincer, "Thermodynamic analysis of a PEM fuel cell power system," *International Journal of Thermal Sciences*, vol. 44, no. 9, pp. 903–911, 2005.
- [29] I. Dincer, "Technical, environmental and exergetic aspects of hydrogen energy systems," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 27, no. 3, pp. 265–285, 2002.
- [30] P. Choi, N. H. Jalani, T. M. Thampan, and R. Datta, "Consideration of thermodynamic, transport, and mechanical properties in the design of polymer electrolyte membranes for higher temperature fuel cell operation," *Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics*, vol. 44, no. 16, pp. 2183–2200, 2006.
- [31] F. Barbir, "PEM electrolysis for production of hydrogen from renewable energy sources," *Solar Energy*, vol. 78, no. 5, pp. 661–669, 2005.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Güve-Alev Optimizasyon Algoritması Kullanarak *Pleurotus cornucopiae* var. *citrinopileatus* Mantarı Ekstraksiyon Koşullarının Optimizasyonu

 Ayşenur GÜRGEN *

Orman Endüstri Mühendisliği, Orman Fakültesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: ayşenur.yilmaz@ktu.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1053119

ÖZ

Bu çalışmanın amacı, *Pleurotus cornucopiae* var. *citrinopileatus* mantarı ekstraksiyon koşullarının yapay zekâ metodlarıyla optimize edilmesidir. Bu amaç doğrultusunda %0, 30, 60, 90 etanol oranı kullanılarak, 1, 2 ve 4 mg/mL ekstrakt konsantrasyonunda elde edilen ekstraktların, 1,2, 3, 4,2 ve 6 pH koşullarındaki antioksidan aktiviteleri mevcut bir deneysel çalışmadan elde edilmiştir. Ekstraksiyon koşullarının modellenmesi Yapay Sinir Ağları (YSA) ile yapılmış ve Güve-Alev Optimizasyon (GAO) algoritması kullanılarak optimize edilmiştir. En iyi tahmin modelini elde etmek için farklı gizli nöron sayıları denenmiş ve en uygun gizli nöron sayısı 5 olarak bulunmuştur. Elde edilen bu modelin hata karelerinin ortalaması ve ortalama mutlak yüzde hatası tüm veri seti için sırasıyla 1,79 ve %3,24 olarak bulunmuştur. Optimizasyon süreci sonrasında maksimum antioksidan aktivite %56,76 olarak bulunmuştur ve bu sonucu elde etmek için optimum ekstraksiyon parametreleri %66,34 etanol oranı, 4 mg/mL ekstrakt konsantrasyonu ve 2,36 pH olarak belirlenmiştir. Bu çalışma, YSA ve GAO algoritmasının birlikte kullanılması ile ekstraksiyon koşullarının optimizasyonunda zaman, emek ve maliyet verimliliği sağlandığını ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: Ekstraksiyon koşulları, Güve-Alev Optimizasyon Algoritması, *Pleurotus cornucopiae* var. *citrinopileatus*, Yapay Sinir Ağları

Optimizing *Pleurotus cornucopiae* var. *citrinopileatus* Mushroom Extraction Conditions Using Moth-Flame Optimization Algorithm

ABSTRACT

The aim of this study is to optimize the extraction conditions of *Pleurotus cornucopiae* var. *citrinopileatus* using artificial intelligence methods. For this purpose, the antioxidant activities of the extracts -which were prepared 1, 2 and 4 mg/mL extract concentrations using 0, 30, 60, 90 % ethanol ratio- at 1,2, 3, 4.2 and 6 pH conditions were obtained from an previous experimental study. The extraction conditions were modelled using Artificial Neural Networks (ANN) and optimized using Moth-Flame Optimization (MFO) algorithm. In order to obtain the best prediction model, different numbers of hidden neurons were tried and the optimal number of hidden neurons was found to be 5. The mean of squares of error and mean absolute percent error of this model were found to be 1.79 and 3.24%, respectively, for the all data set. After the optimization process, the maximum antioxidant activity was found to be 56.76%, and the optimum extraction parameters were determined as 66.34% ethanol ratio, 4 mg/mL extract concentration and 2.36 pH to obtain this result. This study revealed that the use ANN and MFO algorithm integration provides time, labor and cost efficiency in the optimization of extraction conditions.

Keywords: Extraction conditions, Moth-Flame Optimization algorithm, *Pleurotus cornucopiae* var. *citrinopileatus*, Artificial Neural Network

I. GİRİŞ

Makrofunguslar, eski çağlardan beri dünya çapında değerli bir besin kaynağı ve geleneksel ilaçlar olarak kullanılmaktadırlar [1]. Doğada iki binden fazla mantar türü olmasına karşın yaygın olarak kullanılanların sayısı yaklaşık 25 olup bunların çok azı ticari olarak yetiştirilmektedir [2]. İstiridye mantarları *Pleurotus* spp., dünyada en çok üretilen üçüncü yenilebilir mantardır [3]. Bu mantarlar, hidrolize edici ve oksitleyici enzimleri salgılama [4] ve tarımsal atıklardan oluşan karmaşık organik bileşiklere ve endüstriyel yan ürünlere geniş bir dönüşüm adaptasyonu kabiliyetine sahiptirler [5]. Dolayısıyla, istiridye mantarlarının üretimi, bertarafı sorun haline gelen diğer organik atıkların yönetimine oranla daha az problem teşkil etmektedir. [6]. Polisakkaritler, diyet lifi, ergosterol, B vitaminleri, D vitamini ve mineraller dahil olmak üzere çeşitli biyoaktif bileşikler içeren istiridye mantarlarının besin değeri oldukça yüksektir [7], [8]. Ayrıca istiridye mantarlarının antioksidan, antimikrobiyal, antiviral, antibakteriyel, antitümör, antiinflamatuar, antikanser, antidiyabetik gibi çok çeşitli tıbbi özelliklere sahip oldukları yapılan birçok çalışma ile kanıtlanmıştır [9], [15].

Pleurotus türleri arasında, *Pleurotus cornucopiae*, mantar bünyesinden tıbbi metabolitlerin izolasyonu ile cins içinde önemli bir tür olarak ortaya çıkmaktadır [16]. Yapılan bir çalışmada *Pleurotus* cinsinin 18 farklı türünün antioksidan, antitümörjenik, antihipertansif, antitrombotik, antidiyabetik ve antiinflamatuar özellikleri araştırılmıştır. Aynı çalışmada mantarların amino asit, β -glukan ve polifenol içerikleri de ölçülmüştür. Çalışmaya konu olan türler arasında, *Pleurotus cornucopiae* var. *citrinopileatus* (sarı istiridye) mantarının en yüksek β -glukan içeriğine ve DPPH (1,1-Difenil-2-pikrilhidrazil radikali) süpürme oranı verilerine göre en yüksek antioksidan aktiviteye sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca bu mantar anjiyotensin dönüştürücü enzim (ACE) aktivitesi üzerinde en yüksek inhibitör etkiyi göstermiştir. Son olarak, sarı istiridye, anti-diyabetik ve antiinflamatuar özellikler sergilemiştir. Çalışılan tüm mantarlar arasında, araştırmacılar sarı istiridyenin umut verici fonksiyonel bir gıda potansiyelinde olduğunu vurgulamışlardır [17].

Mantarların yapılan çalışmalar ile kanıtlanan tıbbi özellikleri bünyelerinde bulduklarını biyoaktif bileşikler sayesinde ve biyoaktif bileşiklerin ekstraksiyonu, bu bileşikleri kullanmada ilk adımdır [18]. Biyoaktif bileşiklerin ekstraksiyonu için en yaygın olarak kullanılan solventler etanol, metanol, aseton gibi çözücüler veya bunların su ile karışımının kullanıldığı çözeltilerdir [19]. Ayrıca bu bileşiklerin ekstraksiyonunun, ekstraksiyon sıcaklığı, zamanı, solvent türü ve oranı, ekstraksiyon konsantrasyonu, solvent-katı oranı, partikül boyutu ve pH gibi farklı ekstraksiyon koşullarından etkilendiği yapılan birçok çalışma ile bildirilmiştir [20], [24]. Dolayısıyla ekstraksiyon koşullarının optimize edilmesi, hedef bileşiklerden en verimli şekilde yararlanmak için çok önemli bir adımdır.

Araştırmacılar ekstraksiyon koşullarını optimizasyon çalışmalarında cevap yüzey metodunu sıklıkla kullanılmaktadırlar [21], [25], [26]. Bu metot, uygulanabilir alanın küçük bölümleri üzerinde bazı polinom tahminleri yoluyla orijinal problemi basitleştirmeye çalışır, fakat gerçek dünya problemleri genellikle çok karmaşık olduğundan, polinom tahmini, amaç fonksiyonunun temsiliyi sağlamada iyi performans göstermeyebilir. Ayrıca yerel minimum ya da yerel maksimum içinde sıkışıp kalmak bu metodun dezavantajlarından birisidir [29]. Bu sorunları aşmak için optimizasyon çalışmalarında yapay zekâ tekniklerinden biri olan Yapay Sinir Ağları (YSA) kullanımı alternatif bir çözüm olabilir. YSA, verilerden öğrenme, genellemeler yapma, sınırsız sayıda değişkenle çalışma gibi birçok önemli özelliğe sahiptir ve oldukça karmaşık, doğrusal olmayan problemleri ele almak için etkili bir yöntemdir [30], [32]. Ayrıca yüksek doğrulukta tahmin etme yeteneği birçok çalışma tarafından kanıtlanmıştır [33], [35].

Optimizasyon teknikleri, makineler ile optimum tasarımları bulmada kullanılan en iyi araçlardan biri olarak kabul edilmektedir. Genel olarak algoritmalar deterministik ve stokastik algoritmalar olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Deterministik algoritmalar, benzer başlangıç noktasına sahip belirli bir problem için aynı cevabı güvenilir bir şekilde belirleyebilmektedir. Bununla birlikte, bu davranış, deterministik optimizasyon teknikleri için bir dezavantaj olarak kabul edilebilecek yerel optimal tuzağa neden olmaktadır. Yerel optimal durgunluk, bir algoritmanın yerel çözümlerde tuzağa

düşmesine ve sonuç olarak gerçek global optimumu bulunamamasına sebep olmaktadır. Gerçek problemler çok fazla sayıda yerel çözüme sahip olduğu için deterministik algoritmalar genellikle tercih edilmemektedir. Metasezgisel algoritmalar, stokastik operatörlere sahip algoritma ailesini ifade etmektedir. Rastgelelik, stokastik algoritmaların temel özelliğidir. Bu, arama alanlarında global optimumu ararken rastgele operatörler kullandıkları anlamına gelmektedir. Bu tür tekniklerin rastgele doğası, her çalışmada benzer bir çözüm elde etmede onları güvenilir hale getirirse de yerel çözümlerden deterministik algoritmalarla göre çok daha kolay kaçınılabilmektedirler. Stokastik davranış ayrıca her çalışmada belirli bir problem için farklı çözümler elde edilmesiyle sonuçlanmaktadır. Bu tür yaklaşımlar, sorunları kara kutular olarak ele alır ve en uygun tasarımlara yaklaşmaktadırlar. Stokastik algoritmalarda optimizasyon süreci, belirli bir problem için bir dizi rastgele aday çözümle başlamakta ve bunları, önceden tanımlanmış adımlarla geliştirmektedir. Meta sezgisel algoritmalar birkaç kez çalıştırıldığında daha iyi bir çözüm elde etme olasılığı artmakta ve global optimuma yaklaşmaktadır [36].

Meta sezgisel algoritmalar bireysel tabanlı algoritmalar ve popülasyona dayalı algoritmalar olarak ikiye ayrılır. Bireysel tabanlı algoritmalarda optimizasyon süreci tek bir rastgele çözümle başlar ve yinelemeler üzerinden devam eder. Bireysel tabanlı algoritmaların işlev değerlendirmesi ve hesaplama maliyeti, popülasyon tabanlı algoritmalarla göre daha düşüktür. Bununla birlikte erken yakınsama en büyük dezavantaj olarak karşımıza çıkmaktadır. Erken yakınsama ile algoritma yerel optimuma takılarak global optimumun elde edilmesini zorlaştırır. Popülasyon tabanlı algoritmalar, erken yakınsama sorununun üstesinden daha kolayca gelmektedir. Ayrıca aday çözümlerin arama alanlarındaki farklı zorlukların üstesinden gelmelerine yardımcı olan bilgiler arasında bilgi alışverişi yapabilir. Genetik algoritma en popüler popülasyon tabanlı optimizasyon algoritmalarından biridir. Bununla beraber No Free Lunch [37] teoremine dayanarak her yıl literatüre onlarca yeni algoritma eklenmektedir. Bu teoreme göre herhangi bir algoritma tüm optimizasyon problemlerinde üstün performans sağlamayı garanti etmemektedir [38].

Ekstraksiyon koşullarının öneminin bilinmesiyle ekstraksiyon parametrelerinin optimizasyonu ile ilgili çalışmalar her geçen gün artmaktadır. Bu çalışmanın amacı *Pleurotus* türleri arasında önemli bir yeri olan *Pleurotus cornucopiae* var. *citrinopileatus* mantarının ekstraksiyon koşullarının yapay zeka teknikleri kullanılarak optimize edilmesidir. Bunun için gerekli veriler, daha önce gerçekleştirilmiş deneysel bir çalışmadan elde edilmiş veriler önce YSA ile modellenmiş ve en iyi ağ seçilmiştir. Daha sonra popülasyon tabanlı güncel bir algoritma olan Güve-Alev Optimizasyon (GAO) algoritması kullanılarak optimizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

A. VERİ SETİ

Çalışmanın veri setini, daha önce yapılan bir çalışmanın deneysel verilerinin bir kısmı oluşturmaktadır. Bu çalışmaya konu olan verilerin elde edilişi kısaca şu şekilde özetlenebilir. Lee vd. [37] nin yaptığı bir çalışmada *Pleurotus cornucopiae* Rolland var. *citrinopileatus* mantarının antioksidan aktivitelerine farklı ekstraksiyon şartlarının etkilerini araştırılmıştır. Çalışmada mantar kuru halde satın alınmış ve bir karıştırıcı ile toz haline getirilmiştir. Ekstraksiyon ise bir mikrodalga ekstraksiyon cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kuru mantar ağırlığın solvante oranı 1:50 ve ekstraksiyon solventinin konsantrasyonu su, %30, %60 ve %90 etanol olacak şekilde ekstraktlar hazırlanmıştır. Mikrodalga ekstraksiyon koşulları, 90 watt'lık enerji kapasitesi ve 5 dakikalık ekstraksiyon süresi ile aynı koşullar altında ekstrakte edilmiştir. Ayrıca her ekstraktın 1, 2 ve 4 mg/mL konsantrasyondaki ekstraktları hazırlanmıştır ve farklı pH koşulları altında (1,2, 3,0, 4,2 ve 6,0) antioksidan aktiviteleri araştırılmıştır. Antioksidan aktivite olarak elde edilen ekstraktların nitrit süpürme aktivitesi Gray ve Dugan [38] metoduna göre ölçülmüştür ve sonuçlar yüzde (%) cinsinden rapor edilmiştir.

B. YAPAY SİNİR AĞLARI

Basit bilgi işlem birimlerine sahip bir yapay sinir ağı, edinilen bir bilgiyi depolayarak daha sonra kullanıma sunan ve büyük ölçüde paralel dağıtılmış bir işlemci olarak nitelendirilmektedir. Dolayısıyla bir YSA, insan beyni ile iki açıdan paralellik göstermektedir [39];

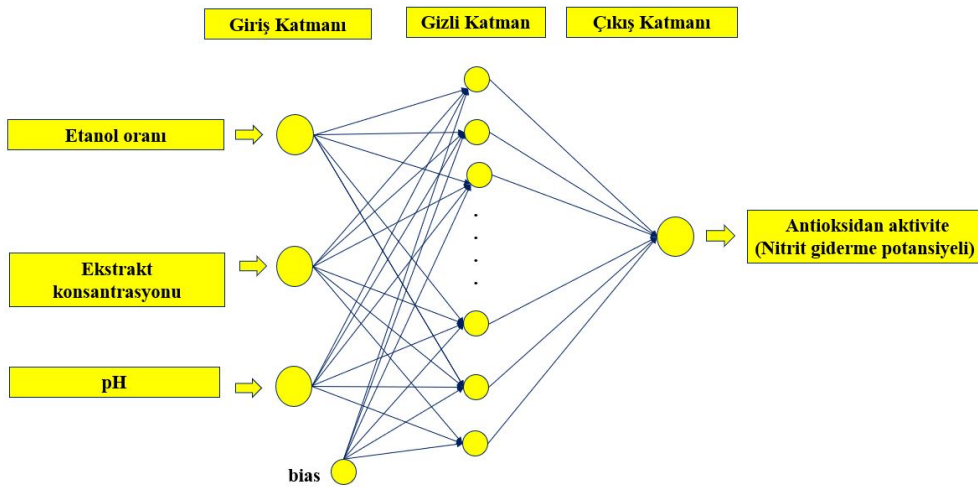
- Bilginin dış ortamdan elde edilmesinde öğrenme süreci devreye girmektedir
- Nöron bağlantı kuvvetleri, edinilen bilgiyi depolamak için kullanılmaktadır.

YSA, girdi, ağırlıklar, toplama fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve çıktı olmak üzere beş temel elemandan oluşmaktadır. Çevreden veya başka bir hücreden alınan bilgiler, girdi olarak tanımlanmaktadır. Ağırlıklar, mevcut bilginin hücre üzerindeki etkisini gösteren elmanlardır. Hücreye gelen bütün girdileri işleyerek net girdiyi hesaplamak için toplama fonksiyonu kullanılmaktadır. Toplama fonksiyonu için toplam, çarpım, maksimum ve minimum gibi fonksiyonlar bulunmakla beraber literatürde en yaygın olan Denklem 1’de gösterilen toplam fonksiyonudur.

$$Net = \sum_{i=1}^n X_i * W_i \quad (1)$$

burada X girdi değerini, W ilgili girdinin ağırlık değerini ve n girdi sayısını göstermektedir. Girdiler, ilgili ağırlıklar ile çarpılır ve tüm değerler toplanarak net girdi hesaplanır. Toplama fonksiyonundan gelen net girdi, aktivasyon fonksiyonunda işlenerek hücrenin bu girdiye karşılık üreteceği çıktı belirlenmektedir. Toplama fonksiyonunda olduğu gibi aktivasyon fonksiyonu için de farklı alternatifler bulunmaktadır. YSA’nın son elmanı olan çıktı, aktivasyon fonksiyonu tarafından üretilen nihai çıktı değeridir. Üretilen çıktı ya dış dünyaya ya da başka bir hücreye girdi olarak gönderilebilmektedir.

YSA temel olarak girdi, gizli ve çıktı katmanı olmak üzere 3 katmandan oluşmaktadır. Bununla beraber yalnızca doğrusal problemleri çözebilen, girdi ve çıktı katmanında oluşan basit YSA modelleri de bulunmaktadır. Fakat bu basit YSA türleri günümüz mühendislik problemlerini çözmek için yetersiz kalmaktadır. Dolayısıyla bir veya daha fazla gizli katmana sahip karmaşık YSA modelleri kullanılmaktadır. Bu çalışmanın girdilerini etanol oranı, ekstrakt konsantrasyonu ve pH değerleri oluştururken, çıktısını antioksidan aktivite (nitrit giderme potansiyeli) oluşturmaktadır. Çalışmadaki YSA modelinin katmanları Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. YSA modelinin katmanları.

YSA ile modelleme işlemi MATLAB programında yapılmıştır. Problemin yapısına uygun olarak tek bir gizli katman kullanılarak oluşturulan modellerin eğitim sürecinde Levenberg-Marquardt algoritması öğrenme algoritması olarak belirlenmiştir. Yapılan çalışmalarda 20 farklı (1:20) gizli nöron sayısı denenerek en uygun nöron sayısı belirlenmeye çalışılmıştır. Öğrenme katsayısı ve momentum katsayısı 0,5, maksimum iterasyon sayısı 100, doğrulama kontrol sayısı 50 ve hata değeri 1×10^{-6} olarak seçilmiştir. Ayrıca her bir nöron sayısında 1000 farklı model oluşturularak en uygun ağ elde edilmiştir. Deneysel çalışmadan alınan verilerin %80'i eğitim, %10'u doğrulama ve %10'u test için kullanılmıştır. YSA ile modelleme sürecinde kullanılan parametreler Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. YSA modellerinde kullanılan parametreler.

Parametre	Değer
Eğitim algoritması	Levenberg–Marquardt
Performans fonksiyonu	Ortalama hata karesi
Gizli katman aktivasyon fonksiyonu	Lojistik sigmoid fonksiyon
Çıktı katman aktivasyon fonksiyonu	Doğrusal fonksiyon
Gizli katman sayısı	1
Gizli katman nöron sayısı	1:20
Maksimum doğrulama sayısı	50
Maksimum hata oranı	1×10^{-6}
Maksimum iterasyon sayısı	100
Toplam çalışma sayısı	1000
Veri setinin bölünmesi	%80 eğitim; %10 doğrulama; %10 test

Ağın eğitimi sürecindeki performans fonksiyonu olarak Denklem 2'de gösterilen hata karelerinin ortalaması (MSE) kullanılmıştır. Ayrıca modelin tahmin yeteneğini ortaya koyan yüzde ortalama mutlak hata (MAPE) değerleri de Denklem 3'te gösterildiği gibi hesaplanmıştır.

$$MSE = \frac{1}{n} \sum (T_i - D_i)^2 \quad (2)$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum \left| \frac{D_i - T_i}{D_i} \right| * 100 \quad (3)$$

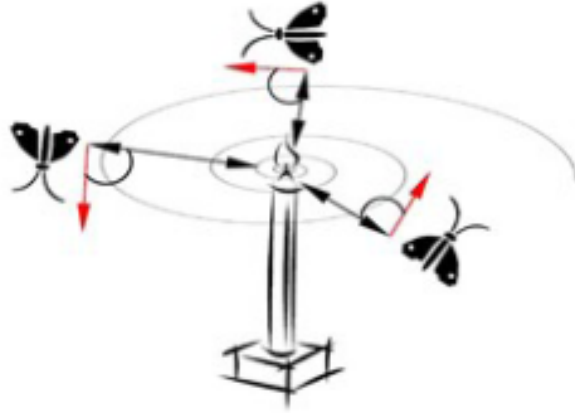
Burada T ve D sırasıyla YSA tarafından sunulan tahmin ve deneysel sonuçları göstermektedir. Eğitimi tamamlanmış YSA modellerinin performansını ölçmek için R değerleri de hesaplanmıştır.

C. GÜVE-ALEV OPTİMİZASYON ALGORİTMASI

Bu çalışmada, optimizasyon sürecinde güncel algoritmalarından biri olan [40] ve Seyedali Mirjalili tarafından geliştirilen GAO algoritması kullanılmıştır [41]. Doğada enine yönelim olarak bilinen güvelerin uçuş mekanizması, bu algoritmanın ana ilham kaynağı olmuştur.

Güveler geceleri uçmak için ay ışığını kullanmaktadırlar. Uçuş için kullandıkları mekanizmada, bir güve aya göre sabit açıyı koruyarak düz bir yolda uzun mesafeler uçabilirler. Güve ile ay arasındaki mesafenin oldukça fazla olması güvelerin düz bir yolda ilerlemesini sağlamaktadır. Enine yönelim etkinliğine rağmen, genellikle güvelerin ışıklar etrafında spiral olarak uçtuğu gözlemlenir. Güveler yapay bir ışık kaynağında da aynı mekanizmayı kullanarak düz bir çizgide uçmaya çalışırlar. Böylesi bir ışık ay ile

karşılaştırıldığında son derece yakın olduğu için ışık kaynağına benzer bir açı sağlamak, güvelerin yollarından çıkmasına sebep olmaktadır. Yapay bir ışık kaynağının varlığında güvelerin hareketi Şekil 2’deki olmaktadır.



Şekil 2. Güverlerin spiral uçuş yolu.

GAO algoritmasında aday çözümler güveler tarafından temsil edilirken, problem değişkenleri güvelerin uzaydaki konumu olmaktadır. Bu yüzden, güveler konum vektörlerini değiştirerek problem boyutundaki bir uzayda uçabilirler. Popülasyon tabanlı bir algoritma olan GAO algoritmasında güveler kümesi aşağıdaki gibi bir matrisle ifade edilmektedir.

$$G = \begin{bmatrix} g_{1,1} & g_{1,2} & g_{1,3} & \dots & g_{1,d} \\ g_{2,1} & g_{2,2} & g_{2,3} & \dots & g_{2,d} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ g_{n,1} & g_{n,2} & g_{n,3} & \dots & g_{n,d} \end{bmatrix} \quad (4)$$

burada, G güveleri, n güvelerin sayısını d ise değişkenlerin sayısını ifade etmektedir. Güvelerin konumuna karşılık gelen uygunluk fonksiyonu değerleri dizisi aşağıdaki gibi bir matrisle temsil etmektedir.

$$G = \begin{bmatrix} OG_1 \\ OG_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ OG_n \end{bmatrix} \quad (5)$$

Bu algoritmadaki bir diğer önemli bileşen alevlerdir ve güve matrisine benzer bir matris ile aşağıdaki gibi gösterilmektedir.

$$A = \begin{bmatrix} a_{1,1} & a_{1,2} & a_{1,3} & \dots & a_{1,d} \\ a_{2,1} & a_{2,2} & a_{2,3} & \dots & a_{2,d} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ a_{n,1} & a_{n,2} & a_{n,3} & \dots & a_{n,d} \end{bmatrix} \quad (6)$$

burada, A alevleri, n güvelerin sayısını d ise değişkenlerin sayısını ifade etmektedir. Alevlerin konumuna karşılık gelen uygunluk fonksiyonu değerleri dizisi ise aşağıdaki gibi bir matrisle temsil etmektedir.

$$A = \begin{bmatrix} OA_1 \\ OA_2 \\ \vdots \\ OA_n \end{bmatrix} \quad (7)$$

Bu algoritmada, hem güveler hem de alevler çözümleri temsil etmekte olup aralarındaki tek fark, her iterasyonda bunların işleme biçimi ve güncellenmesidir. Güveler arama uzayında spiral uçuş mekanizmasına göre dolaşan temel arama elemanları iken alevler ilgili iterasyona kadar elde edilen güvelerin en iyi pozisyonlarını ifade etmektedir. Diğer bir deyişle, alevler arama uzayında güvelerin bıraktığı bayraklar olarak düşünülebilir. Böylece her bir güve iterasyonlar boyunca bir bayrak arar ve daha iyi bir çözüm bulması durumunda ise mevcut bayrağı günceller. Bu sayede herhangi bir güve, en iyi çözümü asla kaybetmez.

GAO algoritmasının matematiksel gösterimi aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$GAO = (I, P, T) \quad (8)$$

burada; I , rastgele bir güveler topluluğu ve karşılık gelen uygunluk değerlerini üreten bir fonksiyondur. P , ana fonksiyondur ve güveleri arama alanının etrafına taşır, T ise fonksiyonun sonlandırma kriteridir.

Yukarıda belirtildiği gibi bu algoritmanın ilham kaynağı enine yönelimdir. Bu davranışı matematiksel olarak modellemek için her bir güvenin konumu aşağıdaki denklem kullanılarak bir aleve göre güncellenir.

$$G_i = S(A_i, G_j) \quad (9)$$

Denklemde, G_i , i . güveyi, S , spiral fonksiyonu, A_i , i . alevi, G_j ise j . güveyi temsil etmektedir.

Bu algoritmada, güvelerin ana güncelleme mekanizması olarak bir logaritmik spiral kullanılmaktadır ve matematiksel gösterimi aşağıdaki gibidir.

$$S(G_i, A_j) = D_i \cdot e^{bt} \cdot \cos(2\pi t) + A_j \quad (10)$$

Denklemde, b , logaritmik bir spiralin şeklini tanımlamak için bir sabittir. t , -1 ve 1 arasında rastgele bir sayıdır. D_i , j . alev için i . güvenin mesafesini temsil etmektedir ve aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$D_i = |A_j - G_i| \quad (11)$$

Denklemde A_j , j . alevi, G_i , i . güveyi temsil etmektedir. GAO algoritmasının sözde kodu Şekil 3'te verilmiştir.

1	Başlama
2	Güvelerin pozisyonlarını rastgele oluştur
3	while (t<mak. iterasyon)
4	Alev sayısını güncelle
5	OG=UygunlukFonksiyonu(G)
6	if iterasyon==1
7	A=sırala(G);
8	OA=sırala(OG)
9	else
10	A=sırala(G _{t-1} , G _t);
11	OA=sırala(OG _{t-1} , OG _t)
12	end
13	for i=1:n
14	for j=1:d
15	r ve t'yi güncelle
16	İlgili güvenin konumuna göre D'yi hesapla
17	İlgili güvenin konumuna göre G(i,j)'yi güncelle
18	end
19	end
20	end
21	Bitiş

Şekil 3. GAO algoritmasının sözde kodu.

Bu çalışmada mantar ekstraktlarının antioksidan aktivitesini maksimum veren ekstraksiyon koşullarını belirlemek için GAO algoritması kullanılmıştır. Çalışmanın amaç fonksiyonu Denklem 12'de verilmiş ve çalışmanın kısıtları Tablo 2'de gösterilmiştir.

$$\text{Amaç fonksiyonu} = \text{Mak}(\text{Antioksidan aktivite}) \quad (12)$$

Tablo 2. Çalışmanın kısıtları.

Kısıtlar	Alt limit	Üst limit
Etanol oranı (%)	0	90
Ekstrakt konsantrasyonu (mg/mL)	1	4
pH	1,2	6

Çalışmada popülasyon sayısı 30, iterasyon sayısı ise 60 olarak seçilmiştir. Global optimuma yaklaşmak için çalıştırma sayısı 10 olarak belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan GAO algoritmasında kullanılan parametreler Tablo 3'te özetlenmiştir.

Tablo 3. GAO algoritmasında kullanılan parametreler.

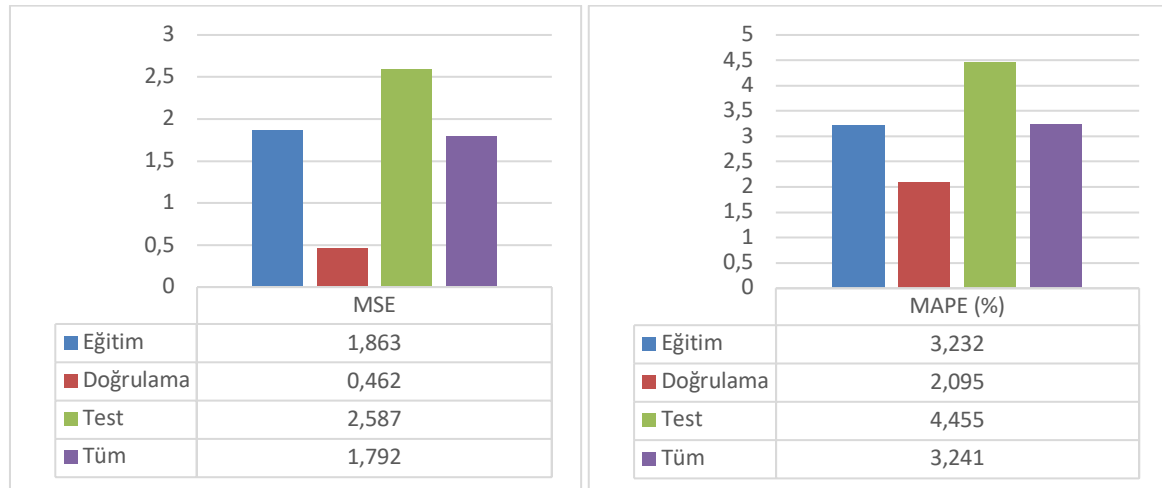
Parametre	Sayı
Popülasyon sayısı	30
İterasyon sayısı	60
Çalıştırma sayısı	10

III. ARAŞTIRMA BULGULARI

A. YSA İLE MODELLEME

Mantar ekstraktlarının antioksidan aktivitesini tahmin eden model YSA metodu ile elde edilmiştir. En iyi tahmin modelini bulmak için gizli nöron sayıları 1 ile 20 arasında denenmiş ve nihai model, aday modellerin performans değerlerine bakılarak seçilmiştir. YSA ile modelleme işleminde veriler eğitim, doğrulama ve test olarak üçe ayrılmıştır. Bu bölümlerden eğitim seti ağı öğrenme faaliyeti için, doğrulama seti ise modelin ezberlemesini engelleyici bir durdurma kriteri olarak kullanılmıştır. Son olarak test veri seti, eğitimi tamamlanmış ağı istenen performansını belirlemek için kullanılmıştır. Eğitim sonunda kurulan tahmin modelin performans değerleri eğitim, doğrulama, test ve tüm veri seti için ayrı ayrı elde edilmiştir.

Kurulan tahmin modelleri arasından 3-5-1 yapısındaki ağ en iyi tahmin modeli olarak seçilmiştir. 3-5-1 yapısı, 3 girdisi, 5 gizli nöronu ve 1 çıktısı olan ağı ifade etmektedir. YSA modelinin gizli nöronu her probleme özeldir ve uygun sayıda gizli nöron bulunması modelin tahmin yeteneği için önemli bir faktördür. Çok fazla gizli nöron, eğitim yerine verilerin ezberlenmesine neden olabilir ve ağı karmaşıklığını artırırken, çok az gizli nöron modelin genelleme yeteneğini azaltabilir. Seçilen en iyi modelin MSE ve MAPE değerleri Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Ağın MSE ve MAPE değerleri.

Şekil 4'ten görüldüğü üzere modelin MSE değerleri eğitim, doğrulama, test ve tüm değerler için sırasıyla 1,863, 0,462, 2,587 ve 1,792 olarak bulunmuştur. MAPE değeri, modelin tahmin yeteneği ile ilgili bilgi veren bir çıktıdır. Bu çalışmada seçilen modelin MAPE değerleri eğitim, doğrulama, test ve tüm değerler için sırasıyla %3,232, %2,095, %4,455 ve %3,241 olarak bulunmuştur. Bu değerler elde edilen modelin, makul hatayla antioksidan aktivite değerlerini tahmin ettiğini göstermektedir.

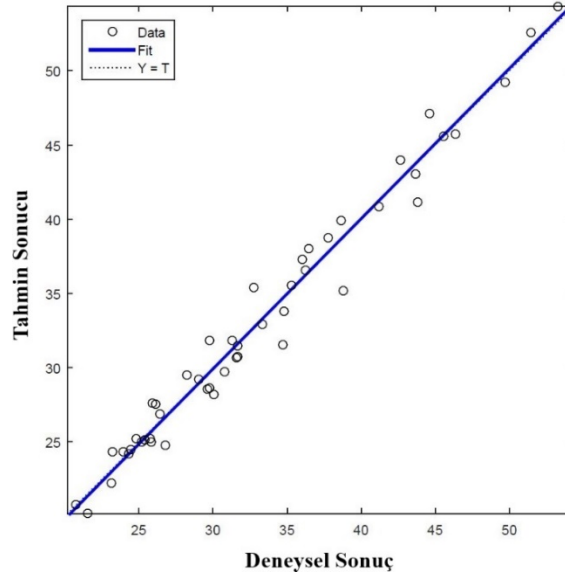
DeneySEL çalışmalardan elde edilen gerçek değerler ile YSA modelinin tahmin değerleri Tablo 4'te karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.

Tablo 4. Gerçek değerler ile YSA modelinin tahmin değerleri.

Etanol oranı (%)	Ekstrakt konsant.(mg/mL)	pH	Gerçek değerler	Tahmin değerleri	Mutlak Hata
0	1	1,2	31,86	29,75	2,11
0	2	1,2	31,52	34,71	-3,19
0	4	1,2	47,11	44,62	2,49
30	1	1,2	24,98	25,86	-0,88
30	2	1,2	30,66	31,61	-0,95
30	4	1,2	43,07	43,63	-0,56
60	1	1,2	24,18	24,27	-0,09
60	2	1,2	31,86	31,30	0,56
60	4	1,2	45,62	45,55	0,07
90	1	1,2	22,26	23,13	-0,87
90	2	1,2	28,61	29,73	-1,12
90	4	1,2	41,18	43,78	-2,6
0	1	3	29,75	30,79	-1,04
0	2	3	38,04	36,45	1,59
0	4	3	45,76	46,32	-0,56
30	1	3	35,39	32,77	2,62
30	2	3	35,19	38,77	-3,58
30	4	3	49,22	49,67	-0,45
60	1	3	36,56	36,26	0,3
60	2	3	43,98	42,60	1,38
60	4	3	54,35	53,29	1,06
90	1	3	35,55	35,31	0,24
90	2	3	40,88	41,17	-0,29
90	4	3	52,54	51,40	1,14
0	1	4,2	29,24	29,05	0,19
0	2	4,2	31,45	31,67	-0,22
0	4	4,2	37,32	36,01	1,31
30	1	4,2	29,49	28,26	1,23
30	2	4,2	30,71	31,63	-0,92
30	4	4,2	38,71	37,75	0,96
60	1	4,2	28,56	29,58	-1,02
60	2	4,2	32,96	33,29	-0,33
60	4	4,2	39,93	38,60	1,33
90	1	4,2	27,55	26,09	1,46
90	2	4,2	28,2	30,05	-1,85
90	4	4,2	33,81	34,75	-0,94
0	1	6	25,23	24,82	0,41
0	2	6	25,23	25,78	-0,55
0	4	6	25,11	25,38	-0,27
30	1	6	24,48	24,43	0,05
30	2	6	26,88	26,38	0,5
30	4	6	27,63	25,89	1,74
60	1	6	25,02	25,20	-0,18
60	2	6	24,78	26,80	-2,02
60	4	6	24,31	23,94	0,37
90	1	6	20,16	21,56	-1,4
90	2	6	24,33	23,20	1,13
90	4	6	20,75	20,73	0,02

Tablo 4 incelendiğinde YSA modelinin oluşturduğu tahmin değerlerinin gerçek değerlere oldukça yakın olduğu görülmektedir.

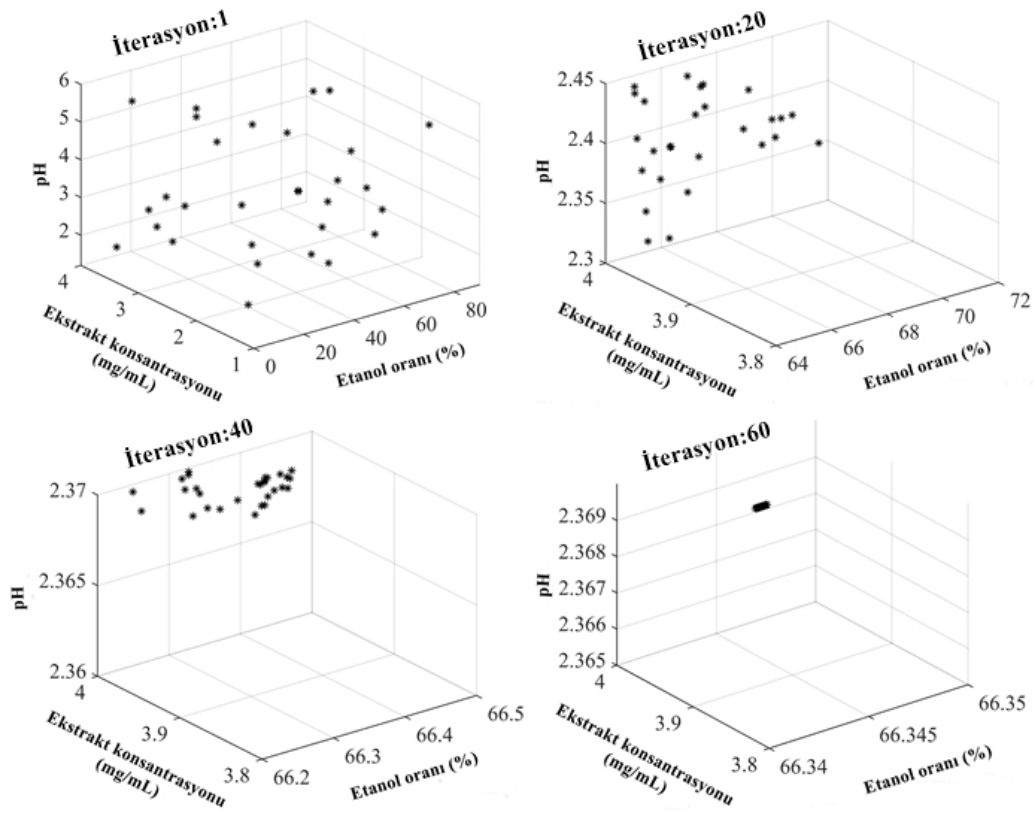
Diğer bir performans göstergesi olan, korelasyon katsayıları (R) değeri, model tarafından tahmin edilen değerler ile gerçek değerler arasındaki ilişki hakkında bilgi verir. R değeri ne kadar yüksek ve 1'e yakınsa, modelin tahmin edilen değerleri gerçek değerlere o kadar yakın demektir. Bu çalışmada seçilen tahmin modelinin R değerleri eğitim, doğrulama, test ve tüm veri seti için sırasıyla 0,985, 0,991, 0,991 ve 0,987 olarak bulunmuştur ve tüm veri seti için korelasyon grafiği değeri Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. Tahmin modelinin korelasyon grafiği.

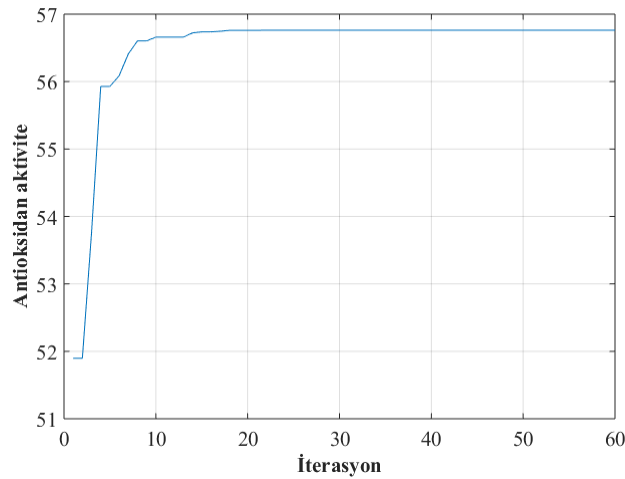
B. GAO İLE OPTİMİZASYON

Kurulan YSA modelleri arasından en iyi model seçildikten sonra, bu model optimizasyon sürecinde amaç fonksiyonunu temsil etmek için kullanılmıştır. Bu çalışmadaki amaç, farklı ekstraksiyon koşulları altında ekstrakte edilmiş mantar ekstraktlarının antioksidan aktivitesinin maksimizasyonudur. GAO algoritması kullanılarak yapılan optimizasyon çalışmasında farklı iterasyon sayıları denenmiş ve 60 iterasyonun yeterli olduğu belirlenmiştir. İterasyonlar boyunca algoritmanın ürettiği aday çözümler yani karar değişkenlerinin değerleri aşamalı olarak Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6. İterasyonlar boyunca algoritmanın aday çözümleri.

Şekil 6 incelendiğinde, ilk iterasyonda aday çözümler rastgele dağılmıştır. 20. iterasyonda aday çözümlerin uygunluk değerlerine göre kötü aday çözümleri elenmiş ve iyi aday çözümleri saklanmaya devam ederek sürekli iyileştirme yapılmıştır. 40. iterasyonda en uygun aday bulunmuş olsa da komşuluk araması devam etmektedir. 60. iterasyonda ise en iyi amaç fonksiyonu değerini veren nihai çözüm bulunmuştur. Algoritmanın yakınsama eğrisi Şekil 7’de verilmiştir.



Şekil 7. Algoritmanın yakınsama eğrisi

Şekil 7 incelendiğinde, birinci iterasyonda en iyi amaç fonksiyonu değeri %51,95 olarak bulunmuş ve iterasyonlar boyunca iyileştirmeler yapılarak belirli bir iterasyonda amaç fonksiyonu değeri %56,76’ya ulaşmış ve sabit kalmıştır. Ayrıca Şekil 7, iterasyon sayısının arama işlemini tamamlamak için yeterli olduğunu göstermektedir.

Sonuç olarak optimizasyon işlemi sonrası en iyi amaç fonksiyonu değeri %56,76 olarak bulunmuş ve bu değeri sağlayan optimum ekstraksiyon parametreleri (karar değişkenleri) Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Optimum ekstraksiyon parametreleri.

Parametre	Optimum Değer
Etanol oranı (%)	66,34
Ekstrakt konsantrasyonu (mg/mL)	4
pH	2,36

Tablo 5'ten görüldüğü gibi optimizasyon işlemi sonrasında, Güve-Alev Optimizasyon algoritmasının sunduğu optimum ekstraksiyon parametreleri şu şekildedir: %66,34 etanol oranı, 4 mg/mL ekstrakt konsantrasyonu ve 2,36 pH değeri.

IV. SONUÇ

Bu çalışmada *Pleurotus cornucopiae* var. *citrinopileatus* mantarının antioksidan aktivite değerini maksimum yapan ekstraksiyon koşullarının belirlenmesi yapay zekâ teknikleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Gerekli veriler daha önce gerçekleştirilmiş deneysel bir çalışmadan elde edilmiştir. Verilerin modellenmesi YSA metodu ile yapılmış ve bir tahmin modeli oluşturulmuştur. Seçilen en iyi model güncel algoritmalarından birisi olan GAO algoritması kullanılarak optimizasyon işleminde kullanılmıştır. Modelleme ve optimizasyon işlemleri sonrası görülmüştür ki YSA-GAO entegrasyonu bu tarz optimizasyon işlemlerinde rahatlıkla ve yüksek güvenilirlikte kullanabilmektedir. Özellikle kimya tabanlı bu tarz çalışmaların modellenmesi ile çalışılan sınırlar içindeki parametrelerle, çalışılmayan diğer parametrelerdeki çıktıları tahmin etmek mümkün olmaktadır. Böylece, kimyasal malzeme, maliyet, zaman ve emek tasarrufu sağlanmaktadır. Optimizasyon süreci sonrası ekstraksiyon parametrelerinin belirlenmesi ile de ekstraktlardan elde edilen verim, hedeflenen amaca göre maksimum seviyeye çıkarılmıştır.

Gelecek çalışmalarda farklı amaç fonksiyonlarının kullanıldığı optimizasyon çalışmaları gerçekleştirilebilir. Bunun yanında her yıl literatüre kazandırılan farklı optimizasyon teknikleri kullanılarak algoritma performans analizleri yapılabilir.

V. KAYNAKLAR

- [1] S.P. Wasser and A.L. Weis, "Medicinal properties of substances occurring in higher basidiomycetes mushrooms: current perspectives". *International Journal of Medicinal Mushrooms*, vol. 19, no.1, pp. 31-62, 1999.
- [2] M.E. Valverde, T. Hernández-Pérez, and O. Paredes-López, "Edible mushrooms: improving human health and promoting quality life". *International Journal of Microbiology*, vol. 2015, pp. 1-14, 2015.
- [3] Y. Liu, X.X. Xie, S.A. Ibrahim, S.G. Khaskheli, H. Yang, Y.F. Wang, and W. Huang, "Characterization of *Lactobacillus pentosus* as a starter culture for the fermentation of edible oyster mushrooms (*Pleurotus* spp.)". *LWT-Food Science Technology*, vol. 68, pp. 21-26, 2016.
- [4] L. Pathmashini, V. Arulnandhy, and R. Wijeratnam, "Efficacy of different spawn types on sawdust media". *Tropical Agricultural Research Extension*, vol. 11, pp. 55-59, 2010.
- [5] M. Ritota and P. Manzi, "Pleurotus spp. cultivation on different agri-food by-products:

Example of biotechnological application". *Sustainability*, vol. 11, no.18, pp. 5049, 2019.

[6] J. Raman, K.Y. Jang, Y.L. Oh, M. Oh, J.H. Im, H. Lakshmanan, and V. Sabaratnam, "Cultivation and nutritional value of prominent *Pleurotus* spp.: An overview". *Mycobiology*, vol. 49, no.1, pp. 1-14, 2021.

[7] P. Kalač, "Chemical composition and nutritional value of European species of wild growing mushrooms: A review". *Food chemistry*, vol. 113, no.1, pp. 9-16, 2009.

[8] G. Cardwell, J.F. Bornman, A.P. James, and L.J. Black, "A review of mushrooms as a potential source of dietary vitamin D". *Nutrients*, vol. 10, no.10, pp. 1498, 2018.

[9] H.J.M.H.J. Masri, P.M.P. Maftoun, R. Abd Malek, A.Z. Boumehira, A. Pareek, S.Z. Hanapi, O.M. Ling, and H. El Enshasy, "The edible mushroom *Pleurotus* spp.: II. Medicinal values". *International Journal of Biotechnology for Wellness Industries*, vol. 6, no.1, pp. 1-11, 2017.

[10] G. Chilanti, K. Todescatto, L.B. Andrade, C.S. Branco, M. Salvador, M. Camassola, R.C. Fontana, and A.J. Dillon, "Polyphenolic Content and Antioxidant Activity of Mycelia and Basidiomes of Oyster Mushrooms *Pleurotus* spp.(Agaricomycetes) from Brazil". *International Journal of Medicinal Mushrooms*, vol. 23, no.6, pp. 13-23, 2021.

[11] D. Roy, S. Ansari, A. Chatterjee, A. Lukanini, S. Ghosh, and N. Chakraborty, "In Vitro Search for Antiviral Activity against Human Cytomegalovirus from Medicinal Mushrooms *Pleurotus* sp. and *Lentinus* sp". *Journal of Antivirals & Antiretrovirals* vol. 12, no.3, pp. 1-12, 2020.

[12] M. Özdal, Ö. Gülmez, Ö.G. Özdal, and Ö.F. Algur, "Antibacterial and antioxidant activity of mycelial extracts of different *Pleurotus* species". *Food Health*, vol. 5, no.1, pp. 12-18, 2019.

[13] V. Mishra, S. Tomar, P. Yadav, and M. Singh, "Promising anticancer activity of polysaccharides and other macromolecules derived from oyster mushroom (*Pleurotus* sp.): An updated review". *International Journal of Biological Macromolecules*, vol. 182, pp. 1628-1637, 2021.

[14] I. Golak-Siwulska, A. Kałużewicz, T. Spizewski, M. Siwulski, and K. Sobieralski, "Bioactive compounds and medicinal properties of Oyster mushrooms (*Pleurotus* sp.)". *Folia Horticulturae*, vol. 30, no.2, pp. 191-201, 2018.

[15] N. Doğan, and C. Doğan, "İstiridyeye Mantarının (*Pleurotus ostreatus*) Farklı Flaş Zamanlarına Göre Antioksidan Aktivitesinin ve Hiperglisemide Anahtar Enzim Rolü Olan α -amilaz ve α -glukozidaz İnhibisyon Potansiyelinin Belirlenmesi". *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, vol. 24, no.6, pp. 1177-1186, 2021.

[16] S.J. Wang, L. Bao, J.J. Han, Q.X. Wang, X.L. Yang, H.A. Wen, L.D. Guo, S.J. Li, F. Zhao, and H.W. Liu, "Pleurospiroketals A–E, Perhydrobenzannulated 5, 5-Spiroketal Sesquiterpenes from the edible mushroom *Pleurotus cornucopia* e". *Journal of Natural Products*, vol. 76, no.1, pp. 45-50, 2013.

[17] S.N. Um, G.E. Jin, K.W. Park, Y.B. Yu, and K.M. Park, "Physiological activity and nutritional composition of *Pleurotus* species". *Korean Journal of Food Science Technology*, vol. 42, no.1, pp. 90-96, 2010.

[18] J. Dai and R.J. Mumper, "Plant phenolics: extraction, analysis and their antioxidant and anticancer properties". *Molecules*, vol. 15, no.10, pp. 7313-7352, 2010.

[19] P. Garcia-Salas, A. Morales-Soto, A. Segura-Carretero, and A. Fernández-Gutiérrez, "Phenolic-compound-extraction systems for fruit and vegetable samples". *Molecules*, vol. 15, no.12,

pp. 8813-8826, 2010.

[20] S. Jiang, S. Liu, and M. Qin, "Effects of extraction conditions on crude polysaccharides and antioxidant activities of the lion's mane medicinal mushroom, *Hericium erinaceus* (Agaricomycetes)". *International Journal of Medicinal Mushrooms*, vol. 21, no.10, pp. 1007-1018, 2019.

[21] H.S. Yim, F.Y. Chye, S.M. Koo, P. Matanjun, S.E. How, and C.W. Ho, "Optimization of extraction time and temperature for antioxidant activity of edible wild mushroom, *Pleurotus porrigens*". *Food Bioproducts Processing*, vol. 90, no.2, pp. 235-242, 2012.

[22] J.A. Michiels, C. Kevers, J. Pincemail, J.O. Defraigne, and J. Dommès, "Extraction conditions can greatly influence antioxidant capacity assays in plant food matrices". *Food Chemistry*, vol. 130, no.4, pp. 986-993, 2012.

[23] G. Nguyen and T. Nguyen, "Effect of extraction conditions (temperature, pH and time) by cellulase on chemical properties of dried oyster mushroom (*Pleurotus sajor-caju*) extract". *Food Research*, vol. 5, no.3, pp. 351-358, 2021.

[24] N. Doğan, C. Doğan and Atila, F. "Parts from life-cycle of *H. erinaceus*: response surface methodology approach to optimize extraction conditions and determination of its antioxidant, antidiabetic and antimicrobial effect". *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, vol. 10, no.6, pp. e3703-e3703, 2021.

[25] J.H. Maeng, H. Muhammad Shahbaz, K. Ameer, Y. Jo, and J.H. Kwon, "Optimization of microwave-assisted extraction of bioactive compounds from *Coriolus versicolor* mushroom using response surface methodology". *Journal of Food Process Engineering*, vol. 40, no.2, pp. e12421, 2017.

[26] J.Y. Cho, N.B. Sadiq, J.C. Kim, B. Lee, M. Hamayun, T.S. Lee, H.S. Kim, S.H. Park, C.W. Nho, and H.-Y. Kim, "Optimization of antioxidant, anti-diabetic, and anti-inflammatory activities and ganoderic acid content of differentially dried *Ganoderma lucidum* using response surface methodology". *Food Chemistry*, vol. 335, pp. 127645, 2021.

[27] B. Abbasi and H. Mahlooji, "Improving response surface methodology by using artificial neural network and simulated annealing". *Expert Systems with Applications*, vol. 39, no.3, pp. 3461-3468, 2012.

[28] P. Poonnoy, A. Tansakul, and M. Chinnan, "Estimation of moisture ratio of a mushroom undergoing microwave-vacuum drying using artificial neural network and regression models". *Chemical Product Process Modeling*, vol. 2, no.3, pp. 2007.

[29] A. Tarafdar, N.C. Shahi, and A. Singh, "Freeze-drying behaviour prediction of button mushrooms using artificial neural network and comparison with semi-empirical models". *Neural Computing Applications*, vol. 31, no.11, pp. 7257-7268, 2019.

[30] V.M. Šimić, K.M. Rajković, S.S. Stojičević, D.T. Veličković, N.Č. Nikolić, M.L. Lazić and I.T. Karabegović, "Optimization of microwave-assisted extraction of total polyphenolic compounds from chokeberries by response surface methodology and artificial neural network". *Separation and Purification Technology*, vol. 160, pp. 89-97, 2016

[31] K.M. Rajković, J.M. Avramović, P.S. Milić, O.S. Stamenković and V.B. Veljković, "Optimization of ultrasound-assisted base-catalyzed methanolysis of sunflower oil using response surface and artificial neural network methodologies". *Chemical Engineering Journal*, vol. 215, pp. 82-89, 2013.

- [32] E. Betiku and S.O. Ajala, "Modeling and optimization of *Thevetia peruviana* (yellow oleander) oil biodiesel synthesis via *Musa paradisiacal* (plantain) peels as heterogeneous base catalyst: A case of artificial neural network vs. response surface methodology". *Industrial Crops and Products*, vol. 53, pp. 314-322, 2014.
- [33] M. Rebollo-Hernanz, S. Cañas, D. Taladrid, V. Benítez, B. Bartolomé, Y. Aguilera, and M.A. Martín-Cabrejas, "Revalorization of Coffee Husk: Modeling and Optimizing the Green Sustainable Extraction of Phenolic Compounds". *Foods*, vol. 10, no.3, pp. 653, 2021.
- [34] S. Mirjalili, "The ant lion optimizer". *Advances in Engineering Software*, vol. 83, pp. 80-98, 2015.
- [35] D.H. Wolpert and W.G. Macready, "No free lunch theorems for optimization", *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, vol. 1, no.1, pp. 67-82, 1997.
- [36] S. Mirjalili, S.M. Mirjalili, and A. Lewis, "Grey wolf optimizer". *Advances in Engineering Software*, vol. 69, pp. 46-61, 2014.
- [37] H.J. Lee, J.R. Do, M.Y. Chung, and H.K. Kim, "Antioxidant activities of *Pleurotus cornucopiae* extracts by extraction conditions". *Journal of the Korean Society of Food Science Nutrition*, vol. 43, no.6, pp. 836-841, 2014.
- [38] J. Gray and L. Dugan Jr, "Inhibition of n-nitrosamine formation in model food systems". *Journal of Food Science*, vol. 40, no.5, pp. 981-984, 1975.
- [39] S. Haykin, *Neural Networks: A Comprehensive Foundation*, New York: Macmillan, 1994.
- [40] M. Karakoyun, and A. Özkış, "Transfer Fonksiyonları Kullanarak İkili Güve-Alev Optimizasyonu Algoritmalarının Geliştirilmesi ve Performanslarının Karşılaştırılması". *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, vol. 3, no.2, pp. 1-10, 2021.
- [41] S. Mirjalili, "Moth-flame optimization algorithm: A novel nature-inspired heuristic paradigm". *Knowledge-based systems*, vol. 89, pp. 228-249, 2015.



Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

Improvement and Analysis of Phase-Phase Failure of Double Feed Induction Generator Using Maximum Power Monitoring Method

 Mustafa DURSUN ^{a,*}

^a Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

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

DOI: 10.29130/dubited.1052660

ABSTRACT

This study presents an analysis and control method for the doubly fed induction generator (DFIG) based wind energy production under the conditions of sudden grid voltage dips. The control aims are as follows: limiting the rotor currents, suppressing the fluctuations in the torque and suppressing the dc-link voltage fluctuation via the converter controls and ensuring maximum power point tracking. Rotor side converter (RSC) and grid side converter (GSC) structures have been given in the article and their limitations have been specified. Maximum power tracking control block has also been included in the system and its structure has been given. In this study; while RSC is controlled in a way that it will suppress the fluctuations in the torque and rotor currents, GSC is controlled in a way that it will suppress the fluctuations in dc-link voltage while taking the rotor power impact into consideration. Crowbar unit has been used in the rotor side to minimize these impacts. This unit is activated at the moment when a grid dip occurs and deactivates the RSC side. In this way, RSC side will not be affected by the high current fluctuations. The detailed results of the study were carried out in the MATLAB/Simulink environment, and the effectiveness of the proposed method was supported by the graphic results.

Keywords: DFIG, Voltage dips, Rotor side converter (RSC), Grid side converter (GSC), MATLAB/Simulink.

Maksimum Güç İzleme Yöntemi Kullanılan Çift Beslemeli Asenkron Generatörün Faz-Faz Arızasının İyileştirilmesi ve Analizi

Öz

Bu çalışma, ani şebeke gerilim düşüşleri koşullarında çift beslemeli endüksiyon generatörü (ÇBAG) tabanlı rüzgar enerjisi üretimi için bir analiz ve kontrol yöntemi sunmaktadır. Kontrol amaçları şunlardır: Rotor akımlarının sınırlandırılması, torktaki dalgalanmaların bastırılması ve konvertör kontrolleri aracılığıyla dc-link voltaj dalgalanmasının bastırılması ve maksimum güç noktası takibinin sağlanması. Makalede rotor tarafı dönüştürücü (RTD) ve şebeke tarafı dönüştürücü (ŞTD) yapıları verilmiş ve sınırlamaları belirtilmiştir. Maksimum güç takip kontrol bloğu da sisteme dahil edilmiş ve yapısı verilmiştir. Bu çalışmada; RTD, tork ve rotor akımlarındaki dalgalanmaları bastırarak şekilde kontrol edilirken, ŞTD, rotor güç etkisi dikkate alınarak dc-bara gerilimindeki dalgalanmaları bastırarak şekilde kontrol edilir. Bu etkileri en aza indirmek için rotor tarafında crowbar ünitesi kullanılmıştır. Bu ünite, şebeke geriliminde bir düşüş meydana geldiği anda etkinleştirilir ve RTD tarafını devre dışı bırakır. Bu sayede RTD tarafı yüksek akım dalgalanmalarından etkilenmeyecektir. Çalışmanı detaylı sonuçları MATLAB/Simulink ortamında gerçekleştirilerek, önerilen metodun etkinliği grafik sonuçları ile desteklenmiştir.

Anahtar Kelimeler: ÇBAG, Gerilim düşümü, Rotor tarafı dönüştürücü (RTD), Şebeke tarafı dönüştürücü (ŞTD), MATLAB/Simulink.

I. INTRODUCTION

When compared to other energy sources; wind energy being from the renewable energy sources is an energy which is clean and produced by using directly the wind in the nature with no cost of raw material and transportation. Wind turbines are separated into two groups as constant-speed and variable-speed according to their operational principles when the speed of the wind is taken as the basis. Constant speed wind turbines are used in the places where the wind speed is constantly at a certain range ($\pm 1\%$) and are connected to the grid directly. The variable speed wind turbines are convenient for the places where the wind speed is variable ($\pm 30\%$) and are connected to the grid with the help of a grid interface [1]. The wind turbines used today are mostly produced as variable speed ones; because, the kinetic energy owned by the wind is not constant and variable speed wind turbines are used to be able to transmit this variable energy owned by the wind to the output in maximum level [2]. Doubly Fed Induction Generator (DFIG) being one of the types of generators used in the variable speed wind turbines is widely used in recent years due to its advantages such as being able to operate within $\pm 30\%$ speed range of the synchronous speed and the converter power of the power electronics to be by the ratio of 30% of the generator power [3]. DFIG consists of two different windings as stator and rotor which are electrically insulated from each other. While the stator windings of DFIG are directly connected to the grid, the rotor windings are connected to the grid upon the converter of power electronics consisting of two voltage-based inverters in which there could be bidirectional current flow [4].

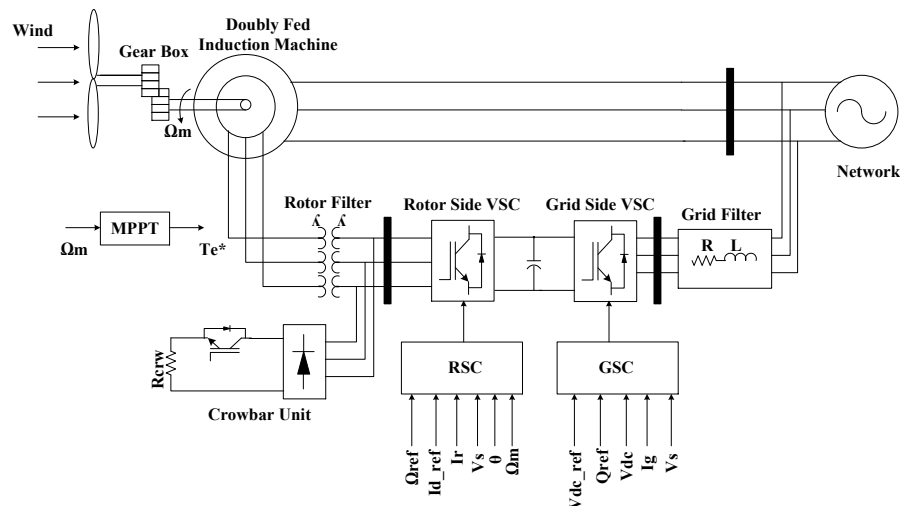


Figure 1. Grid connected control model of DFIG based wind turbine.

The schematic model of DFIG system is shown in Figure 1. The inverter in rotor side inspects the active and reactive power of the stator and provides the reactive power needed by the generator. The grid side inverter keeps the DC bus bar voltage stable [5].

LVRT method known as low voltage rehabilitation method is frequently used to ensure stability in grid failures [22-26]. The advantages such as the partial operation of the power converters and variable speed processes provide opportunities for DFIG to be commonly used in the wind energy conversion system [6]. In addition; the stator of DFIG is directly connected to the grid; for this reason, its delicacy against grid failures increases. High stator current may occur due to the voltage failures in the grid [7, 8, 9, 10].

Many LVRT techniques have been suggested in the literature to develop the LVRT capacity of DFIG system have generally been given place [11,12,13]. Many converters [11]-[14] are recommended for low voltage recovery in a DFIG system. Among these, the use of crowbars is recommended to limit the high currents and voltages in the rotor currents of DFIG for wind turbines used in industry in most of the application-oriented protection methods [15] - [16]. In case of faults occurring in the grid, this crowbar circuit is triggered and the rotor side control unit keeps and maintains the rotor current between the specified limits. As a result, DFIG works as a generator that draws reactive power from the grid

during grid faults [17]. In the case of LVRT [12] - [18] some advanced crowbar circuits have been proposed to increase the performance of the DFIG system. The impact of voltage dips on wind turbine generator was worked in [11]. The behavior of DFIG during the balanced dips was worked in the references [7,9,10]. The theoretical analysis ways in [7,9,10] are applied in wide range in the related studies, but how DFIG reacts has not been examined when a dip occurs at the moment of the maximum power tracing [12].

In studies in the literature, one of the biggest problems for LVRT is the occurrence of overcurrents in transient analysis. While determining the maximum power point in wind turbines, the use of the crowbar unit becomes very important against these temporary situations. In this study, we developed the crowbar unit in order for the wind turbine to work effectively in case of failure at maximum power points, as well as maximum power monitoring.

In this study, in chapter 2 maximum power point tracking (MPPT) algorithm, in chapter 3 the model of DFIG system and grid connected operation by vector control technique, crowbar unit and in the last chapter the response to the voltage dip during MPPT was investigated. Detailed graphics are given.

II. MODELLING

DFIG system contains back-to-back converters together with a wind turbine, generator, grid side control and rotor side control systems and is connected to the grid upon the transformer (as seen in Figure 1). The control system consists of two systems: wind turbine (WT) control and converter controls. The WT adjusts the rotor speed of the DFIG by generating a reference torque value. It also controls the mechanical power of the wind turbine according to the angle of inclination. The two-level control strategy was used above and below the nominal speed [19].

A. WIND TURBINE AERODYNAMIC MODEL

The energy coming from the wind is mechanically caught by the wings in the DFIG based variable speed wind turbines and after that, it is converted into electrical energy by DFIG and finally, this energy is transmitted to the mains [20]. Momentum theory is used to examine the behavior of the wind turbine. Power could be attained from wind under some ideal assumptions.

$$P_t = \frac{1}{2} \rho \pi R^2 V_w^3 C_p \quad (1)$$

Here; ρ is the air density. R is the wing diameter of the wind turbine. V_w is the wind speed and C_p is a non-dimensional parameter expressing the activity of the wind turbine for transforming the kinetic energy of the wind into mechanic energy. This coefficient is a function of the wind speed, rotation speed of the wind turbine Ω_t and the pitch angle β for a certain wind turbine. C_p is generally given as $C_p = f(\lambda, \beta)$ as a λ function of terminal velocity.

$$\lambda = \frac{\Omega_t R}{V_w} \quad (2)$$

Theoretically, the maximum value of C_p is given with Betz limits: $C_{p_theo_max} = 0.44$ Figure 2 shows the value of the C_p curve as the graphics used in this study.

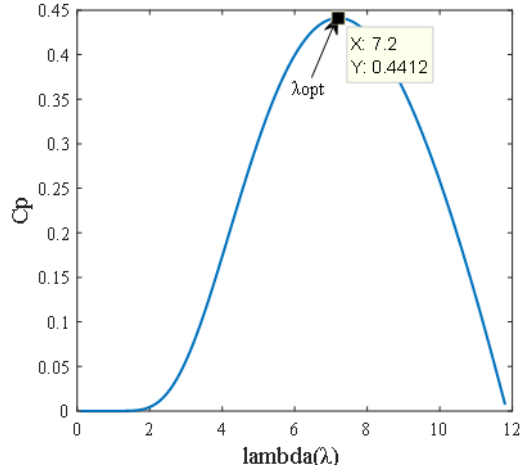


Figure 2. C_p coefficient of the wind turbine used in the study.

It is seen in Figure 2 that the maximum power coefficient is 0.44 and optimum tip speedratio is 7.2 in the graphics of the power coefficient as a function of the tip speed ratio for the equation 2.

A.1. Turbine Control

The general control model of wind turbine is shown in Figure 1. The rotor side control of DFIG is conducted by the rotor side converter. However; the PI regulator conducting the speed control here could be deactivated. In this way; torque references are generated with this improved control structure, MPPT (maximum power point tracking) algorithm. Grid-side converter transmits the power generated to the grid through the rotor of the DFIG, and also controls the DC bus. In Figure 1, the torque generated by DFIG is set to a constant speed according to a certain value. When MPPT is used as in Figure 3 (operation in C_{p_max}), an indirect speed control is carried out by benefitting from the fact that the produced power follows a cubic relation with the speed.

$$V_w = \frac{R\Omega_t}{\lambda_{opt}} \Rightarrow P_t = \frac{1}{2} \rho \pi R^2 \left(\frac{R\Omega_t}{\lambda_{opt}} \right)^3 C_{p_{max}} \quad (3)$$

$$\Rightarrow \begin{cases} P_t = k_{opt} \Omega_t^3 \\ k_{opt} = \frac{1}{2} \rho \pi R^5 \frac{C_{p_max}}{\lambda_{opt}^3} \end{cases}$$

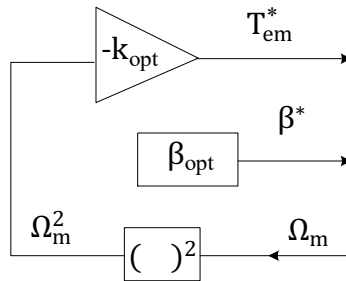


Figure 3. Indirect speed controlled MPPT

The output mechanic moment is specified as in [20] for the wind turbine.

$$T_m = \frac{1}{2} \rho A R^3 V_w^2 C_t \quad (4)$$

Here; ρ is the air intensity, A is the wing sweeping area, R is the rotor angle of the wind turbine and V_w is the wind speed. C_p wing pitch angle is the power coefficient of the wing which is a function of the β and the tip speed ratio.

$$C_p = k_1 \left(\frac{k_2}{\lambda_i} - k_3 \beta - k_4 \beta^{k_5} - k_6 \right) e^{-\left(\frac{k_7}{\lambda_i}\right)} \quad (5)$$

$$\lambda_i = \frac{1}{\lambda + k_8} \quad (6)$$

Here; β is the pitch angle and λ which is the tip speed ratio is found as follows;

$$\lambda_{opt} = \frac{\Omega_m R}{V_w} \quad (7)$$

Here; Ω_m is the mechanic angular speed.

B. THE DOUBLE FED INDUCTION GENERATOR DYNAMIC MODEL

The space vector algorithm contributes to the development of the generator by applying it to the basic electrical formulas while creating the $\alpha\beta$ dynamic model of the system. In Figure 4, three different rotating reference frame typically used to develop the space vector based models of DFIG are shown. Space vector expressions could be attained from any one of these frames by using direct or inverse transformation [20].

$$\vec{V}_s^s = R_s \cdot \vec{i}_s^s + \frac{d\vec{\Psi}_s^s}{dt} \quad \vec{V}_r^r = R_r \cdot \vec{i}_r^r + \frac{d\vec{\Psi}_r^r}{dt} \quad (8)$$

$$\vec{V}_s^s = R_s \cdot \vec{i}_s^s + \frac{d\vec{\Psi}_s^s}{dt} \Rightarrow \begin{cases} V_{\alpha s} = R_s \cdot i_{\alpha s} + \frac{d\Psi_{\alpha s}}{dt} \\ V_{\beta s} = R_s \cdot i_{\beta s} + \frac{d\Psi_{\beta s}}{dt} \end{cases} \quad (9)$$

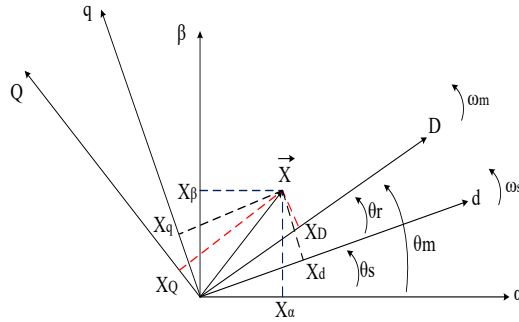


Figure 4. The space vector graphics of DFIG in different reference frames

$$\vec{V}_r^s = R_r \cdot \vec{i}_r^s + \frac{d\vec{\Psi}_r^s}{dt} - j\omega_m \vec{\Psi}_r^s \Rightarrow \begin{cases} V_{\alpha r} = R_r \cdot i_{\alpha r} + \frac{d\Psi_{\alpha r}}{dt} + \omega_m \Psi_{\beta r} \\ V_{\beta r} = R_r \cdot i_{\beta r} + \frac{d\Psi_{\beta r}}{dt} - \omega_m \Psi_{\alpha r} \end{cases} \quad (10)$$

$$\vec{\Psi}_s^s = L_s \cdot \vec{i}_s^s + L_m \cdot \vec{i}_r^s \quad (11)$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \Psi_{\alpha s} = L_s \cdot i_{\alpha s} + L_m \cdot i_{\alpha s} \\ \Psi_{\beta s} = L_s \cdot i_{\beta s} + L_m \cdot i_{\beta s} \end{cases}$$

$$\vec{\Psi}_r^s = L_m \cdot \vec{i}_s^s + L_r \cdot \vec{i}_r^s$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \Psi_{\alpha r} = L_m \cdot i_{\alpha r} + L_r \cdot i_{\alpha r} \\ \Psi_{\beta r} = L_m \cdot i_{\beta r} + L_r \cdot i_{\beta r} \end{cases} \quad (12)$$

Here; v_s and v_r represents the stator and rotor voltage, R_s and R_r represents the stator and rotor resistances, ψ_s and ψ_r represents the stator and rotor fluxes. L_s , L_r and L_m are respectively the stator, rotor and their common inductances. $\alpha\beta$ equivalent circuit of the equations has been developed as shown in Figure 5. Here it is seen that all magnitudes are sinusoidal at ω_s frequency. The power equations of the stator and rotor parts are as follows.

$$P_s = \frac{3}{2}(v_{\alpha s}i_{\alpha s} + v_{\beta s}i_{\beta s}) \quad P_r = \frac{3}{2}(v_{\alpha r}i_{\alpha r} + v_{\beta r}i_{\beta r}) \quad (13)$$

$$Q_s = \frac{3}{2}(v_{\beta s}i_{\alpha s} - v_{\alpha s}i_{\beta s}) \quad Q_r = \frac{3}{2}(v_{\beta r}i_{\alpha r} - v_{\alpha r}i_{\beta r}) \quad (14)$$

The electromagnetic torque formed by DFIG can be calculated as follows.

$$T_{em} = \frac{3}{2}p \text{Im} \left\{ \vec{\Psi}_r^* \vec{i}_r \right\} = \frac{3}{2}p (\Psi_{\beta r} i_{\alpha r} - \Psi_{\alpha r} i_{\beta r}) \quad (15)$$

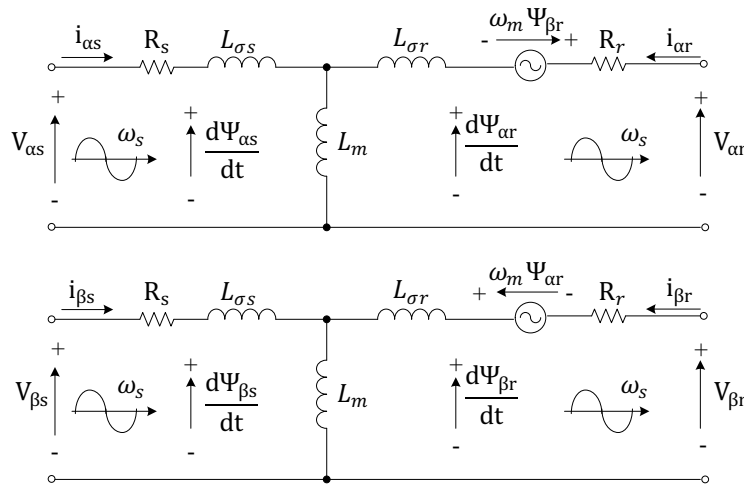


Figure 5. $\alpha\beta$ reference frame model of DFIG.

$$\begin{aligned} T_{em} &= \frac{3}{2}p \frac{L_m}{L_s} \text{Im} \left\{ \vec{\Psi}_s^* \vec{i}_r \right\} = \frac{3}{2}p \text{Im} \left\{ \vec{\Psi}_s^* \vec{i}_s \right\} \\ &= \frac{3}{2} \frac{L_m}{L_r} p \text{Im} \left\{ \vec{\Psi}_r^* \vec{i}_s \right\} = \frac{3}{2} \frac{L_m}{\sigma L_r L_s} p \text{Im} \left\{ \vec{\Psi}_r^* \vec{\Psi}_s \right\} \\ &= \frac{3}{2} L_m p \text{Im} \left\{ \vec{i}_s^* \vec{i}_r \right\} \end{aligned} \quad (16)$$

Here; $\sigma = 1 - \frac{L_m^2}{L_s L_r}$.

In this way; if the Equations (9) and (12) are re-arranged, the following space vector equation formed with the combination of the stator and rotor fluxes is attained.

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \vec{\Psi}_s^s \\ \vec{\Psi}_r^s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -R_s & \frac{R_s L_m}{\sigma L_s L_r} \\ \frac{R_r L_m}{\sigma L_s L_r} & -R_r + j\omega_m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \vec{\Psi}_s^s \\ \vec{\Psi}_r^s \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \vec{V}_s^s \\ \vec{V}_r^s \end{bmatrix} \quad (17)$$

In this way, the mechanic movement equation defining the speed of the rotor is also as follows;

$$T_{em} - T_{load} = J \frac{d\Omega_m}{dt} \quad (18)$$

Here; J is the inertia coefficient of the motor, T_{load} is the applied load torque. As a result; the DFIG equations necessary to be able to prepare simulations on computer are attained.

C. CROWBAR

In Figure 6, the Crowbar section is connected between the rotor of the DFIG and the RSC inverter. Most of the manufacturers have suggested the use of IGBT instead of thyristor to ensure the rapid and direct turn off of the crowbar connection and also ensure the re-activation of RSC to continue to normal operation. If the rotor current or dc bus bar voltage levels exceed the limits, the IGBT triggers of RSC are cut off and crowbar is activated. Dc-bus bar voltage is examined during the crowbar movement. When this voltage is low enough, crowbar is separated.

Reactive power will be provided for the grid support by re-activating RSC after a little delay. Normally, Crowbar is disabled while RSC and GSC are running. In order to protect the rotor against high voltages when the voltage drop occurs, the crowbar switch is opened and excessive current flows from the RSC to the crowbar is prevented.

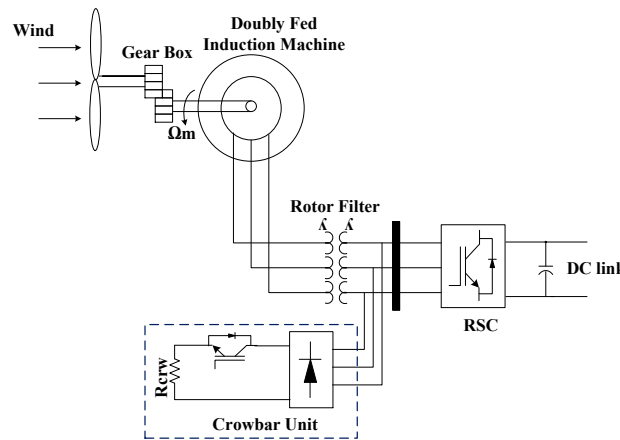


Figure 6. Rotor crowbar protection circuit.

D. DFIG CONTROL

Vector control for DFIG consists of traditional PI transformations and clarke / park transformations. Several publications on vector control of DFIG have also been published [21] and [22-23]. The vector control structure for DFIG is as follows.

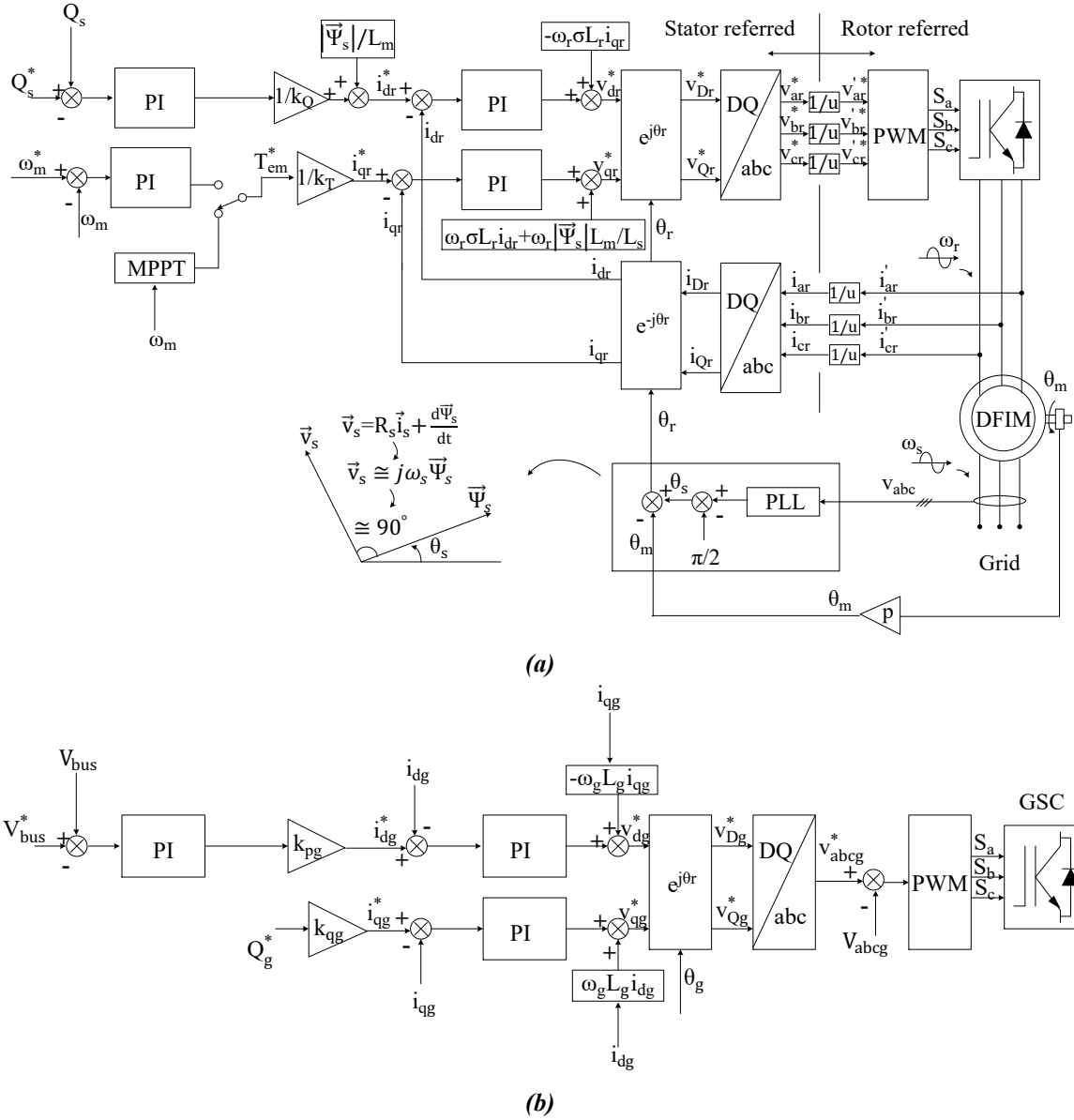


Figure 7. DFIG vector control, (a) RSC control, (b) A part of GSC control.

The vector control of DFIG was performed in the dq reference frame. RSC consists of a speed, torque and current loop. The torque and reactive power of the generator are controlled by the vector control of the inverter on the rotor side. The reference i_{qr}^* rotor current is obtained by setting the reference torque equation.

In this study, the reference torque T_{em}^* is calculated using MPPT. The reference i_{dr}^* rotor current is obtained by regulating the reactive power generated by DFIG as in Figure 7 (a). The purpose of the grid side control is to keep the dc bus voltage constant regardless of the upper and lower synchronous operating range. The voltage equation in the synchronous reference frame can be expressed as follows.

$$\begin{aligned}
 v_{dr} &= R_r i_{dr} + \sigma L_r \frac{d}{dt} i_{dr} - \omega_r \sigma L_r i_{qr} + \frac{L_m}{L_s} \frac{d}{dt} |\bar{\Psi}_s| \\
 v_{qr} &= R_r i_{qr} + \sigma L_r \frac{d}{dt} i_{qr} + \omega_r \sigma L_r i_{dr} + \omega_r \frac{L_m}{L_s} |\bar{\Psi}_s|
 \end{aligned} \tag{19}$$

Figure 7 (b) shows the grid side control. The reference d-axis i_{dg}^* is calculated by applying a PI

failures occurring in the mains. When a voltage dip is observed by a direct DFIM stator, it is necessary to analyze the behavior of the stator flux to understand the hardships stemming from the distortion caused by the dip. In this way, the following statement is attained by combining the voltage and rotor flux statements and extracting the stator current:

$$\frac{d\vec{\Psi}_s^s}{dt} = \vec{v}_s^s - \frac{R_s}{L_s} \vec{\Psi}_s^s + R_s \frac{L_m}{L_s} \vec{i}_r^s \quad (22)$$

When a sudden voltage dip occurs, it is understood that the stator flux cannot come to the stable state as fast as the stator voltage. Every phase of stator flux develops as an exponential which is the total of a sinusoid and whose time constant is L_s / R_s . The term rotor current may ensure the flux to decrease in a faster way. It is necessary not to forget that the rotor current is controlled via the rotor side converter as long as the control is not lost. It is possible to attain the following equation from the voltage and flux equations.

$$\vec{v}_r^r = \frac{L_m}{L_s} (\vec{v}_s^s - j\omega_m \vec{\Psi}_s^s) + \left[R_r + \left(\frac{L_m}{L_s} \right)^2 R_s \right] \vec{i}_r^r + \sigma L_r \frac{d\vec{i}_r^r}{dt} \quad (23)$$

The rotor voltage can be divided into two parts. The first is the electromotive force generated in the rotor due to stator flux. The other part could be handled as the voltage dip in both the resistance and temporary inductance.

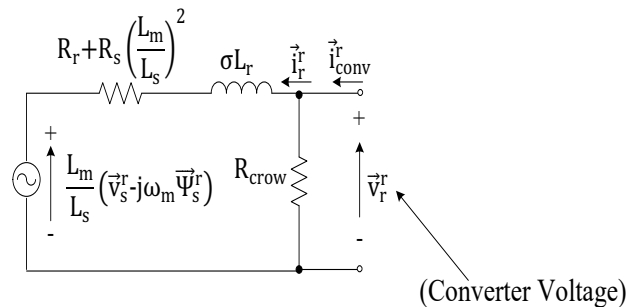


Figure 9. The equivalent circuit of DFIM for the analysis of the voltage dips.

Control must not be lost to keep rotor currents within safe limits. This requires an exceptionally higher rotor voltage amplitude at the start of the voltage level. This situation causes the rotor side control output voltage to rise due to the high rotor electromotor force when the grid fault occurs. In such events, it is best to turn off the RSC. This is done by turning off the crowbar. Figure 9 shows the electrical circuit of a crowbar and rotor side equivalent circuit.

III. SIMULATION RESULTS AND DISCUSSION

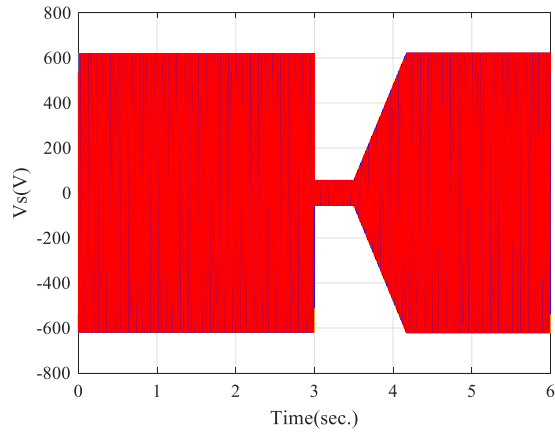
In the conducted simulation study, the connection of DFIG to the grid has been realized by conducting the synchronization of the stator voltage of DFIG widely used in the wind turbines with the grid voltage with the help of MATLAB&Simulink program. Parameters belonging to the turbine used in the simulation are given in Table 1. The parameters belonging to the crowbar unit used, DC bus bar condenser, grid filter and DFIG are given in the simulation in Table 2. The DFIG connected to the grid has been firstly operated without any protection unit and the rotor and stator graphics have been attained. After that, the occurring reactions have been analyzed when grid failure occurs. Grid voltage has been decreased to the level of 10% at the 3rd second. Afterwards, it has been increased as ramp in a way that it will be 15 pu per second until the seconds of 3.5 and 4.17. The grid voltage graphics regarding the conducted scenario is seen in Figure 10.

Table 1. Simulation parameters of Turbine.

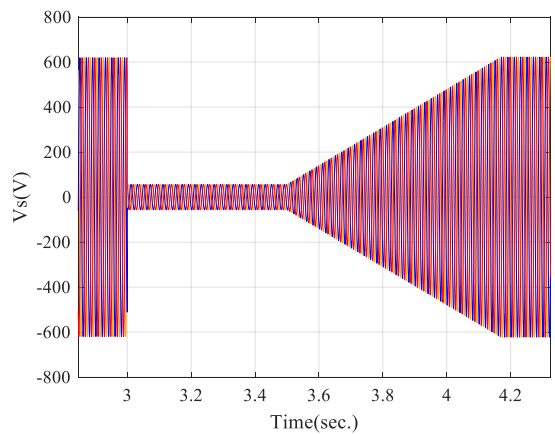
Parameters	Value	Unit
Radius	42	m
Nominal wind speed	12.5	m/s
Variable speed ratio	9-18	rpm
Optimum tip speed ratio λ_{opt}	7.2	-
Maximum power coefficient C_{p_max}	0.44	-
Air density ρ	1.225	kg/m ³

Table 2. Simulation parameters of DFIG and others.

Main Characteristics of the Generator	Value	Unit
Nominal stator active power	2.0	MW
Nominal Torque	12732	Nm
Stator Voltage	690	V
Nominal Speed	1500	Rpm
Stator current	1760	A
Speed Range	900-2000	Rpm
Pole Pairs	2	-
Ratio (u)	1/3	-
Rotor voltage	2070	V
smax	1/3	-
Rs	2.6	m Ω
Lsi	0.087	mH
Lm	2.5	mH
Ls	Lm+Lsi	mH
Lr	Lm+Lsi	mH
Rr	2.9	m Ω
Vbus	1150	V
Inertia	127	Kg.m ²
Friction factor	0.001	N.m.s
Switching frequency	4000	Hz
Sampling time	5	μ s
Cbus	80	mF
Rg(grid filter resistance)	20	$\mu\Omega$
Lg(grid filter inductance)	400	μ H
Crowbar resistance	0.2	Ω



(a)



(b)

Figure 10. Grid voltage, (a) voltage dip, (b) voltage dip zoom.

Crowbar unit is suddenly activated at the moment when there is voltage dip and all the current is transmitted on the energy crowbar resistance. Therefore; the selection of this resistance has great significance. There are many studies in the literature regarding the selection of the crowbar resistance. The following Figure 11 shows the rotor speed graphics belonging to the situations in which there is a failure, there is a crowbar unit and there is no crowbar unit. No reference speed has been given to the system. 8.5 m/s has been stabilized as the wind speed. According to this speed value, MPPT algorithm produces a torque reference. This reference has been adapted to the system with a controller by comparing the q compound current coming from the feedback with torque. It is seen in the graphics that the speed value has shown a little more overflow while there is crowbar unit. The reason for this is that RSC unit is deactivated at the moment of protection. Besides, a purer speed curve with no oscillation is observed at the moment of protection.

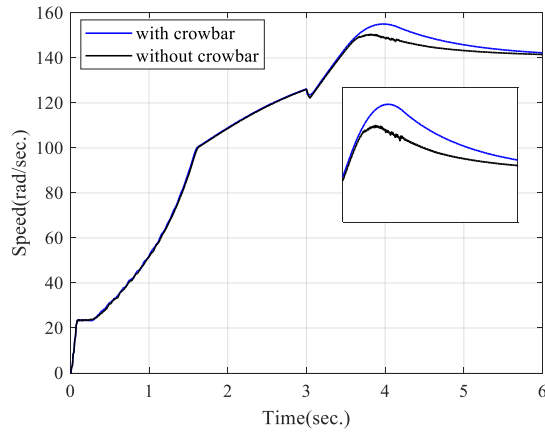


Figure 11. Rotor speed with crowbar and without crowbar.

The current graphics in d and q reference roof are seen in Figure 12. The state with and without crowbar has been given comparatively in the graphics here. The crowbar IGBT switch is triggered and activated in 3rd second. Crowbar unit remains active for 0.1 seconds and it is made passive by opening the switch in 3.1st second. Rotor side inverter is also activated until the 3rd second and it is also deactivated in 3.1st second. Namely; RSC works up to 0.1 seconds. In this way, all the current has flowed upon the crowbar resistance and it protected the RSC unit against the over current and other negative impacts. It is also clearly seen in the graphics that the reference currents of the control with crowbar could trace the currents much better.

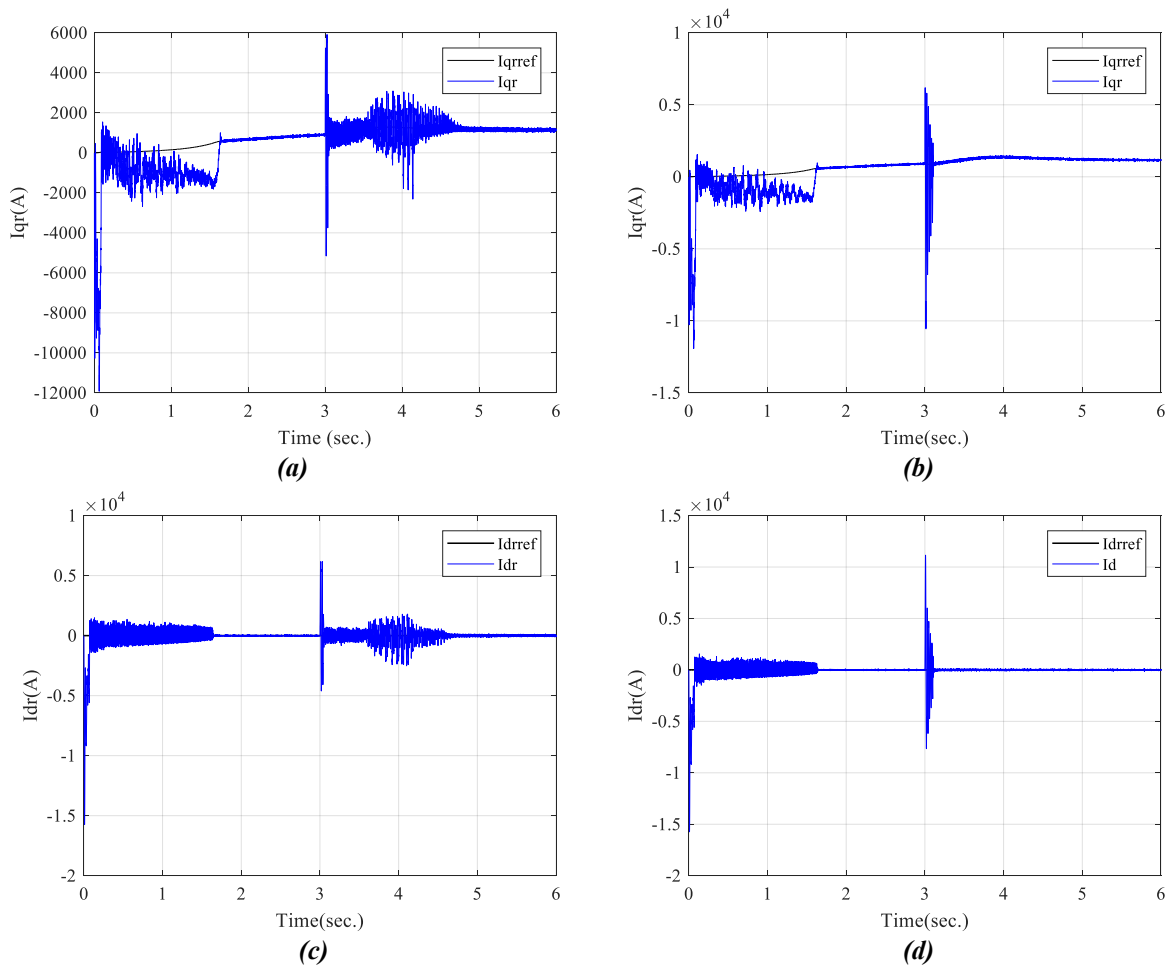


Figure 12. *d* and *q* axis rotor current with crowbar and without crowbar, a) *q*-axis rotor current without crowbar, b) *q*-axis rotor current with crowbar, c) *d*-axis rotor current without crowbar, d) *d*-axis rotor current with crowbar.

Figure 13 shows the comparative results of the torque graph obtained from the feedback versus the reference torque component produced by the MPPT algorithm. Here the torque from the feedback appears to follow the reference torque quite well in the crowbar unit. When the voltage dip occurs in the 3rd second, the torque settled to a value of 0 by making a peak. This is due to the fact that the RSC is disconnected and can no longer track the maximum power.

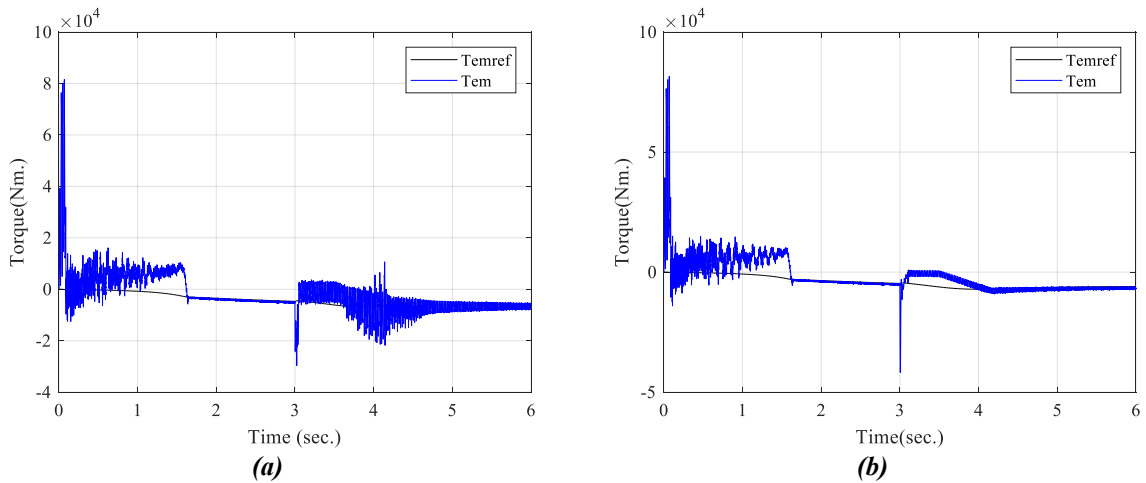
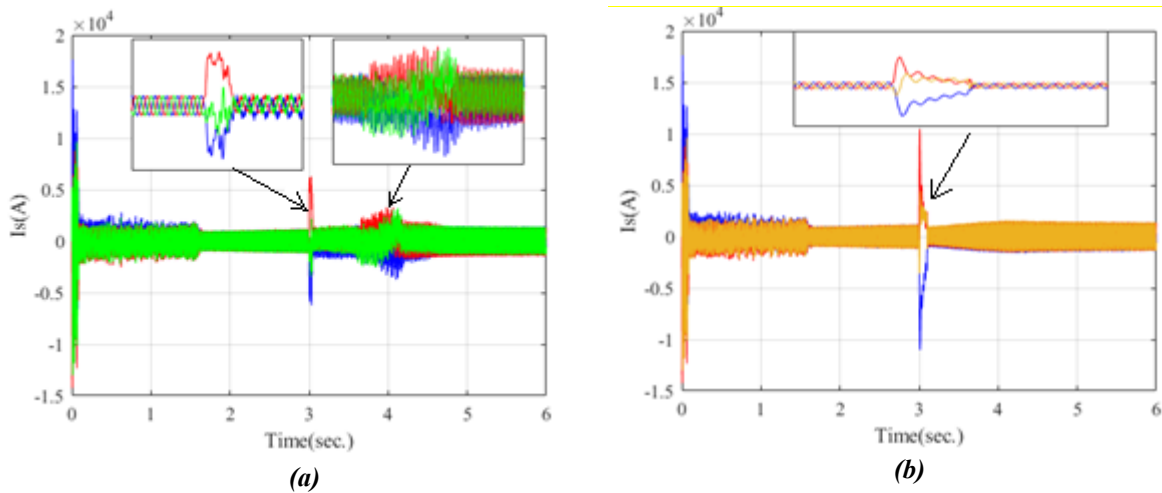


Figure 13. Electromagnetic torque with crowbar and without crowbar, (a) without crowbar, (b) with crowbar.

The comparative analyses with and without crowbar belonging to the stator and rotor currents are given in Figure 14. When the detailed images are paid attention, how the crowbar unit protects the rotor against harmonic currents is clearly seen.



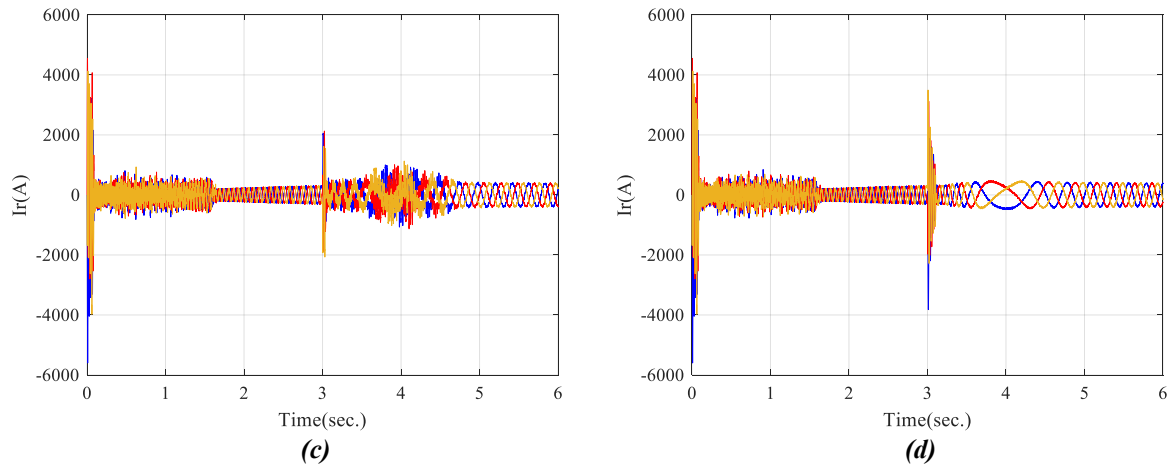


Figure 14. Three phase stator and rotor currents with crowbar and without crowbar, (a) stator current without crowbar, (b) stator current with crowbar, (c) rotor current without crowbar, (d) rotor current with crowbar.

The reaction of DC bus bar voltage with and without crowbar is seen in Figure 15. DC bus bar has shown a great excess and raised to uncontrollable values when there is no crowbar in the system when 3rd second voltage dip has occurred. 4.17th second could just catch the reference value when the grid voltage has decreased to the normal value. However; when crowbar has been used, crowbar has been activated at the moment of voltage dip and has ensured the dc bus bar voltage to remain in the reference value.

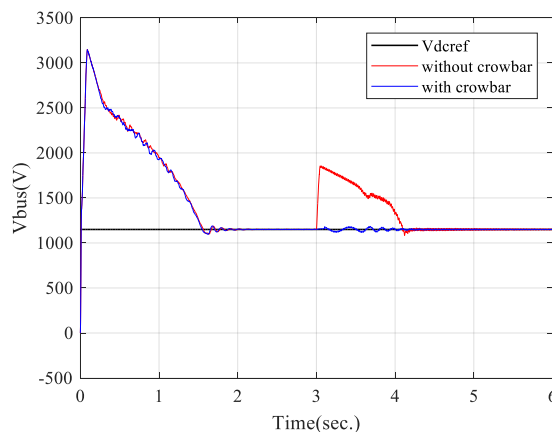


Figure 15. DC link voltage with crowbar and without crowbar.

d and q compounds of the grid currents are seen in Figure 16. d current compound has passed to the negative zone when DC bus bar voltage has come to the reference value. This means that active power has been given to the grid by the generator. It has caught its reference value again with a little oscillation while there is crowbar at the moment of failure. However; generator has been deactivated and motor has been operated in the control without crowbar. d current has passed to the positive side and given active power to the motor. It is seen that q current compound has followed the value of 0 given as reference. There is a small reactive power attraction at the moment of failure. However; the system has gathered itself up rapidly and turned back to the reference value.

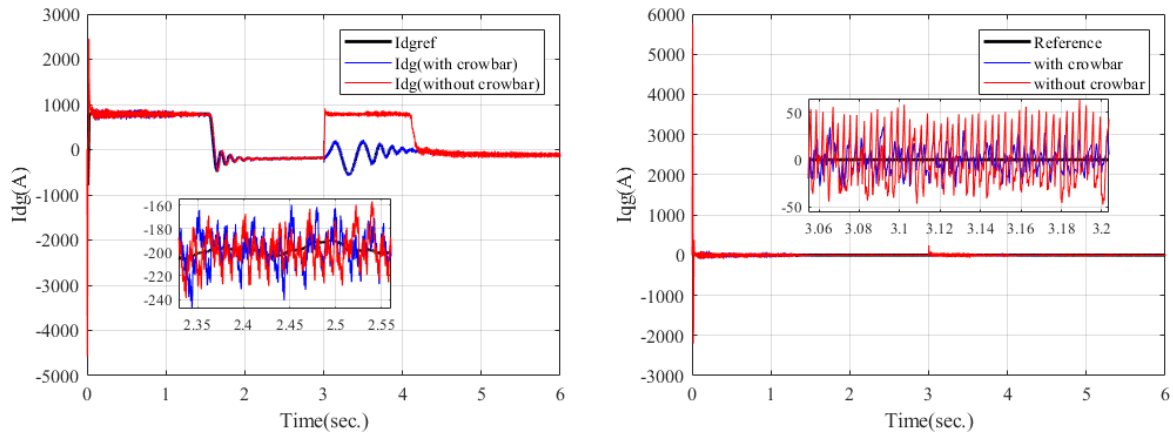


Figure 16. Grid side d and q current with crowbar and without crowbar.

Grid and generator single phase sinusoidal voltage signals during the synchronization are given in Figure 17. It is seen here that the grid and generator voltages are synchronized per approximately 1.63 seconds. When dc bus bar voltage value reaches the reference value, d voltage compounds have settled on 0 value. The reason why d voltage values are stable at 0 shows that the system has reached the synchronous operational point. This shows us that the system is out of the synchronous operation. q current compound to remain in positive value means the grid does not attract any reactive power and this power is transmitted to generator.

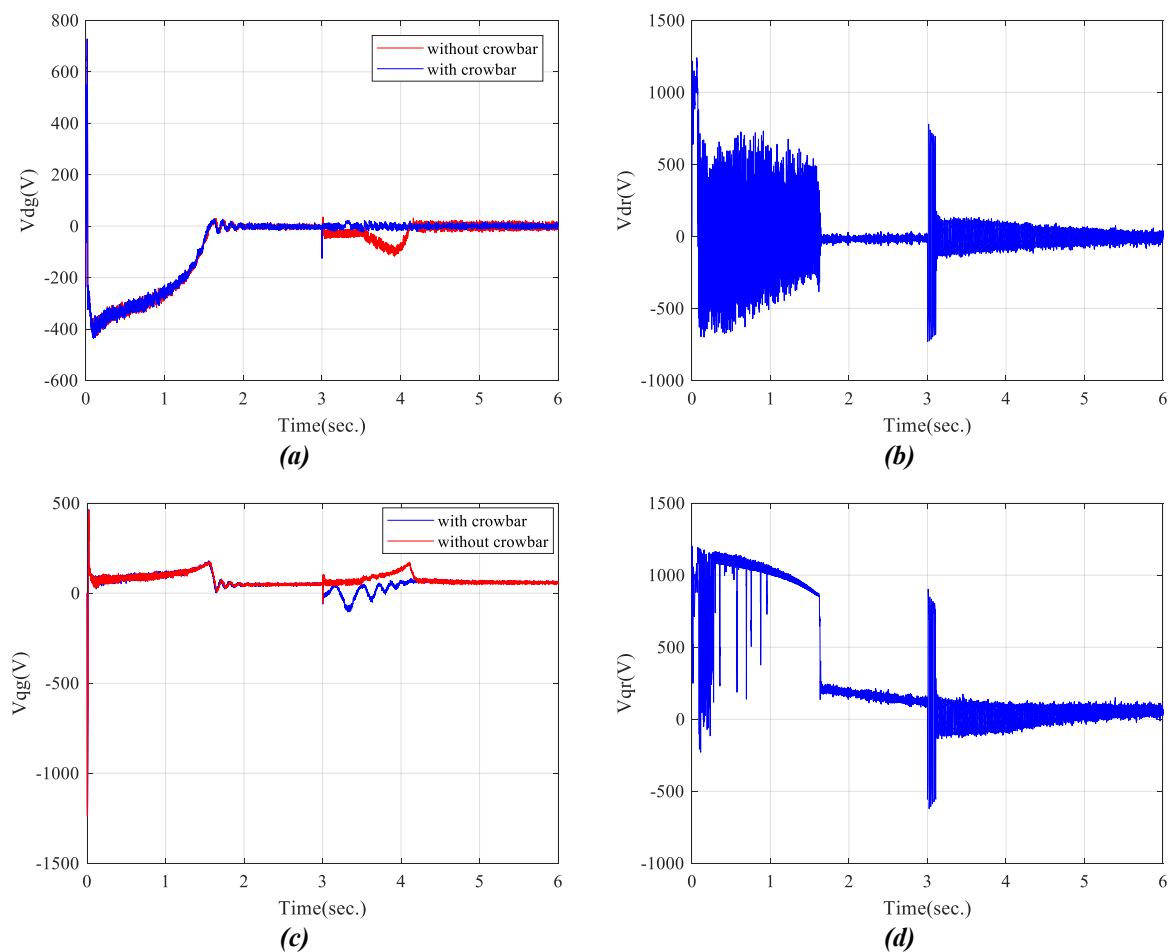


Figure 17. Grid and generator d and q voltage components with crowbar and without crowbar (a) d -axis grid voltage, (b) d -axis rotor voltage, (c) q -axis grid voltage, (d) q -axis rotor voltage.

Three phase current graphics belonging to the grid are seen in Figure 18. The grid current has been tried to be taken to minimum levels at the failure moment due to the use of Crowbar. However; when crowbar is not used, the grid current continues its path with the stable failure current at the moment of failure and brings negative impacts on the system.

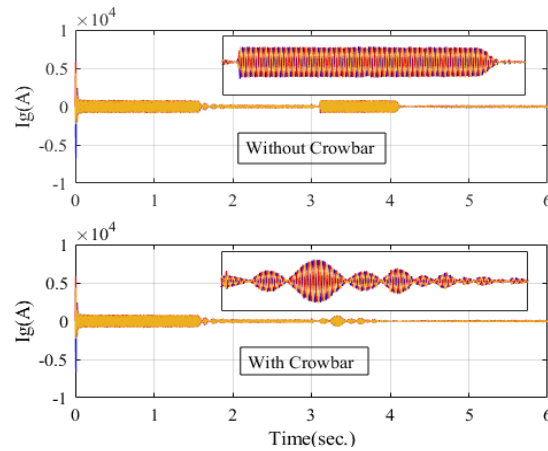


Figure 18. Three phase grid current with crowbar and without crowbar.

The current graphics occurring on crowbar resistance at the moment of failure is seen in Figure 19. The current has reached the peak value and turned to the zero value again within 0.1 second interval; because, the crowbar unit has been activated for 0.1 seconds. In this way, this harmful current has been demolished on crowbar unit without giving it to the system.

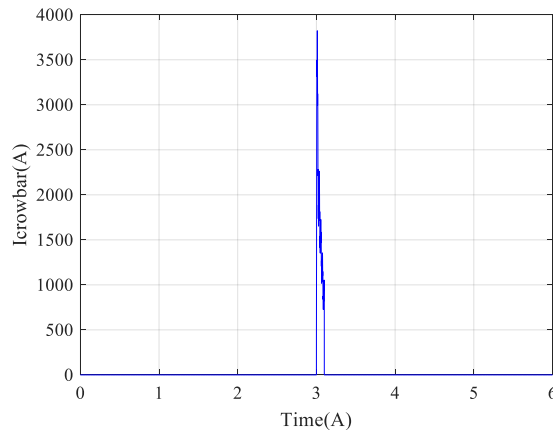


Figure 19. Crowbar resistance current.

IV. CONCLUSION

Low voltage problem for DFIG wind turbines is a hardship necessary to be solved by the manufacturers and users in all implementations. There are many low voltage rehabilitation techniques (LVRT) in the literature for this. However; this method has not been handled comprehensively. It is necessary to pay so much attention to the location, period, failure type and reactive power compensation method of the failure to be able to get full efficiency from a wind turbine. A crowbar protection system could be operated to prevent strong currents flowing in the rotor and distribute unnecessary active power. However; together with the activation of crowbar, DFIG will lose its ability to control the reactive power and turn into a squirrel-cage asynchronous generator. At the same time, it is necessary to choose the resistance value used in the crowbar unit very well; because, all the energy flows on this resistance at the moment of failure. This value is suggested to be minimum 20 times more than the rotor resistance

in the literature. In this study, the reaction of DFIG wind turbine has been analyzed at the moment of grid voltage dip. DFIG rotor currents, stator currents, grid voltage and currents, rotor speed and DC-bus bar voltage have been monitored continuously and under the conditions of failure. Detailed graphics have been given by examining the analyses such as the use and non-use of crowbar, activation time and deactivation time. The dynamic simulation results conducted on the wind turbine show that the control method gives very good reaction under the conditions such as low voltage failure and protect the system against the high rotor currents.

V. REFERENCES

- [1] J.Arbi, M.Ghorbal, I.Belkhodja and L.Charaabi, "Direct virtual torque control for doubly fed induction generator grid connection," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. vol. 56, no.10, pp. 4163-4173, 2009.
- [2] L. Shuhui, and T. A. Haskew, "Characteristic study of vector-controlled doubly-fed induction generator in stator-flux-oriented frame," *Electric Power Components and Systems*, pp. 990-1015, 2008.
- [3] B.H. Chowdhury and S. Chellapilla, "DFIG control for variable speed wind power generation," *Electric Power System Research*, vol. 76 pp. 786-800, 2006.
- [4] R. Fadaeinedjad, M. Moallem and G. Moschopoulos, "Simulation of a wind turbine with DFIG by FAST and Simulink." *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 23, no.2, pp. 690-700, 2008.
- [5] Y. Wang, D. Zhao, B. Zhao and H. Xu, "A new type of control strategy of DFIG in wind power system based on SMC," *International Conference on Electrical Machines and Systems*, pp. 2428-2431, 2008.
- [6] W. Guo, L. Xiao, S. Dai, Y. Li, X. Xu, W. Zhou and L. Li, "LVRT capability enhancement of DFIG with switch-type fault current limiter," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 62, no.1, pp. 332-342, 2014.
- [7] J. Lopez, E. Gubía, P. Sanchis, X. Roboam and L Marroyo, "Wind turbines based on doubly fed induction generator under asymmetrical voltage dips," *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 23, no. 1, pp. 321-330, 2008.
- [8] M. Mohseni S. M. Islam, and S. Masoum, "Impacts of symmetrical and asymmetrical voltage sags on DFIG-Based wind turbines considering phase-angle jump, voltage recovery, and sag parameters," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol.26, no.5, pp.1587-1598, 2011.
- [9] P. Makolo, J. J. Justo, F. Mwasilu, and R. Zamora, "Fault ride through technique for DFIG based wind turbines under grid three-phase faults, *In 2018 Australasian Universities Power Engineering Conference (AUPEC)*, 2018, pp. 1-5.
- [10] J. Lopez, E. Gubia, E. Olea, J. Ruiz, L. Marroyo, "Ride Through of Wind Turbines With Doubly Fed Induction Generator Under Dismetrical Voltage Dips." *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. vol. 56, no. 10, pp. 4246-4254, 2009.
- [11] D. Xie, Z. Xu, L. Yang, J. Østergaard, Y. Xue and K. P. Wong, "A comprehensive LVRT control strategy for DFIG wind turbines with enhanced reactive power support." *IEEE Transactions on Power Systems*, vol.28, no.3, pp. 3302-3310, 2013.
- [12] H. Geng, C. Liu and G. Yang, "LVRT capability of DFIG-based WECS under asymmetrical Grid fault condition," *IEEE transactions on Industrial electronics*, vol.60, no.6, pp.2495-2509, 2012.

- [13] W. Wang, M. Sun, and X. Zhu, "Analysis on the Low Voltage Ride Through Technology of DFIG [J]." *Automation of Electric Power Systems*, 2007, 23.
- [14] J. J. Justo, and F. A. Mwasilu, "Low voltage ride through enhancement for wind turbines equipped with DFIG under symmetrical grid faults." *Tanzania Journal of Engineering and Technology*, vol.37, no.2, 2019.
- [15] P. Mukherjee and V. V. Rao, "Superconducting magnetic energy storage for stabilizing grid integrated with wind power generation systems." *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, vol.7, no.2, pp.400-411, 2019.
- [16] Q. U. Yanbin, G. A. O. Le, M. A. Guangfu, S. O. N. G. Huihui and W. A. N. G. Shitao, "Crowbar resistance value-switching scheme conjoint analysis based on statistical sampling for LVRT of DFIG," *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, vol.7, no.3, pp.558-567, 2019.
- [17] F. A. N. Zhanfeng, S. O. N. G. Guobing, K. A. N. G. Xiaoning, T. A. N. G. Jisi, and W. A. N. G. Xiaobo, "Three-phase fault direction identification method for outgoing transmission line of DFIG based wind farms." *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, vol.7, no.5, pp.1155-1164, 2019.
- [18] A. H. Kasem, E. F. El-Saadany, H. H. El-Tamaly and M. A. A. Wahab, "An improved fault ride-through strategy for doubly fed induction generator-based wind turbines." *IET Renew. Power Gener.*, vol. 2, no. 4, pp. 201-214, 2008.
- [19] A. D. Hansen, P. Sørensen, F. Iov and F. Blaabjerg, "Control of variable speed wind turbines with doubly-fed induction generators." *Wind Eng.*, vol. 28, no. 4, pp. 411-432, 2004.
- [20] Y. Lei, A. Mullane, G. Lightbody and R. Yacamini, "Modeling of the wind turbine with a doubly fed induction generator for grid integration studies." *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 21, no. 1, pp. 257-264, 2006.
- [21] R. Pena, J. C. Clare and G. M. Asher, "Doubly fed induction generator using back-to-back PWM converters and its application to variable-speed wind-energy generation." *IEE Proc.-Electr. Power Appl.*, vol. 143, no. 3, pp. 231-241, 1996.
- [22] Z. Rafiee, S. S. Najafi, M. Rafiee, M. R. Aghamohammadi and M. Pourgholi, "Optimized control of Coordinated Series Resistive Limiter and SMES for improving LVRT using TVC in DFIG base wind farm," *Physica C: Superconductivity and its Applications*, 570, 1353607, 2020.
- [23] A. T. Nguyen, and D. C. Lee, (2020, October). "LVRT Control based on Partial State Feedback Linearization for SCIG Wind Turbine Systems." In *2020 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*, 2020, pp. 93-98.
- [24] X. Yifan, A. Aimin, Z. Yingying and C. Wei, "Design and Implementation of Crowbar Circuits Combined with Chopper Circuits for LVRT in Wind Farms." In *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1639, no. 1, pp. 012040, 2020.
- [25] M. A. S. Ali, K. K. Mehmood, S. Baloch and C. H. Kim, "Modified rotor-side converter control design for improving the LVRT capability of a DFIG-based WECS." *Electric Power Systems Research*, 186, 106403, 2020.
- [26] M. Firouzi, "Low-voltage ride-through (LVRT) capability enhancement of DFIG-based wind farm by using bridge-type superconducting fault current limiter (BTSFCL)." *Journal of Power Technologies*, vol.99, no.4, pp.245-253, 2020.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Derleme Makalesi

Sağlık Hizmetlerinde Performans Değerlendirmede Kullanılan Araç ve Yöntemler

 Elif DELİCE^a,  Melis Almula KARADAYI^{b*},  Hakan TOZAN^b

^a Sağlık Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Medipol Üniversitesi

^b Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İstanbul Medipol Üniversitesi

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: makaradayi@medipol.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1008711

Öz

Son yıllarda, sağlık sistemlerinde, hastaların artan beklenti ve ihtiyaçları doğrultusunda hızla gelişmekte olan bağımsız ve tarafsız performans değerlendirme kavramı, denetlenebilir, hasta odaklı, hesap verebilirliği fazla olan, verimli, iyileştirilebilir, sürdürülebilir ve erişilebilir sistemler meydana getirebilmek açısından büyük bir önem taşımaktadır. Performans değerlendirme sürecinin ana aktörlerinden biri, belirli performans göstergelerinin tanımlanabileceği ve sağlık sisteminde gereken alanlarda düzenli olarak kullanılacak bir yapının sunulması olmakla beraber, bu sürece netlik kazandırmak amacıyla performansın bütünsel bir görünümünü oluşturabilmek için konuyu odak noktası alan araştırmacılar tarafından, sağlık sisteminin çeşitli yapıtaşlarında farklı araç ve yöntemler kullanılarak çalışmalara devam edilmektedir. Sağlık hizmetlerinde performans değerlendirme, her ne kadar zor ve karmaşık bir süreç olsa da sistemin iyileştirilebilmesi-geliştirilebilmesi adına kritik bir önem taşımaktadır. Bu derleme çalışmasında, sağlık alanında 2011-2021 yılları arasında gerçekleştirilen çeşitli performans değerlendirme çalışmalarında kullanılan araç ve yöntemler incelenerek özetlenmiş, çalışmalarda öne çıkan kavramlar sınıflandırılmıştır. Çalışmanın sonucunda literatürdeki eksikliklerin gözlemlenmesiyle, gerçekleştirilen çalışmanın, mevcut literatüre katkı sağlaması amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sağlık sistemleri, performans, performans değerlendirme, DÖK, VZA, ÇKKV.

Tools and Methods Used in Performance Measurement in Healthcare

ABSTRACT

In recent years, the concept of independent and impartial performance measurement, which has been developing rapidly in line with the increasing expectations and needs of patients in health systems, is of great importance in terms of creating auditable, patient-oriented, highly accountable, efficient, durable, sustainable, and accessible systems. One of the main actors of the performance evaluation process is the presentation of a structure where certain performance indicators can be defined and can be used regularly in the required areas in the health system, as well as, in order to create a holistic view of performance to clarify this process, researchers who focus on the subject continue to work on various building blocks of the health system by using different tools and methods. Although performance evaluation in health services is a difficult and complex process, it is of critical importance for improving and developing the system. In this review study, the tools and methods used in various performance evaluation studies carried out in the field of health between the years 2011-2021 were examined and summarized, and the prominent concepts in the studies were classified. As a result of the study, it was aimed to contribute to the existing literature by observing the deficiencies in the literature.

Keywords: Healthcare systems, performance, performance measurement, BSC, DEA, MCDM.

I. GİRİŞ

Son yıllarda, sağlık alanına olan talebin giderek artış göstermesiyle beraber, organizasyonların sayısı her geçen gün çoğalmaktadır. Oluşan rekabet ortamından dolayı araştırmacılar sağlık hizmetlerine yönelmekte ve bu alanda gerçekleştirilen çalışmaların sayısı önemli ölçüde artmaktadır [1]. Sağlık sektöründe yer alan paydaşların zamanla gelişen beklenti ve ihtiyaçlarının iyileşmeye olan gereksinimi ortaya koymasıyla, organizasyonların arzu edilen seviyelere ulaşabilmesi için performans değerlendirme kavramı öne çıkmıştır. Bu bağlamda, literatürde sağlık alanında performans değerlendirme konusuna odaklanan birçok çalışmanın mevcut olduğu gözlemlenmiştir. Eski yıllara oranla günümüzde bu konuya odaklanan çalışmaların sayısının fazla olması konuyu ön plana çıkarmaktadır. Performans değerlendirme temelli gerçekleştirilecek olan araştırmalara bu derlemenin rehberlik edebilmesi çalışmanın temel amacını oluşturmaktadır.

Çok boyutlu, karmaşık ve anlaşılması zor olan bir yapıya sahip olan sağlık sistemlerinin işleyişini izleyip denetleyebilmek, sistemin yapıtaşlarında hesap verebilirliği arttırmak, gerekli noktalardaki iyileştirmeleri saptamak ve çevik bir yapıya bürünerek zamanın değişimlerinden en verimli şekilde yararlanmak hedefiyle kullanılan performans değerlendirme zahmetli bir süreçtir. Bu özelliğiyle, sağlık hizmet sağlayıcıları için endişeye yol açmaktadır [2]. Süreçler içerisinde performans değerlendirmeden geribildirim ve kontrol sağlamak amacıyla faydalanılmaktadır. Organizasyonların süreklilik ve başarısında büyük rol oynamakta, doğru bir şekilde gerçekleştirilmesi kritik bir önem taşımaktadır. Performans ölçüm süreçlerinin organizasyonlarda etkili bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için kurum çalışanlarının anlayabileceği seviyede olması ve herkesin katılımıyla gerçekleştirilmesi beklenmektedir. Bu süreçte organizasyonun sağladığı sağlık hizmetine göre uygun performans değerlendirme aracının veya yönteminin seçilmesi gerekmektedir [3]. Sağlık işletmecileri, kurumla alakalı aldıkları kararlarda temel olarak kontrol işlemini gerçekleştiren, günümüze kadar birçok değişim ve gelişim gösteren performans değerlendirme süreçlerinden sonuç olarak aldıkları çıktıları kullanmaktadırlar [4]. Sağlık hizmetlerinin performansının değerlendirmesi her ne kadar zorlu ve karmaşık bir süreç olsa da sağlık sisteminin tüm paydaşlarının istek, arzularına istenilen seviyelerde yanıt verebilmesi ve süreç iyileştirilmesi adına büyük bir önem taşımaktadır.

Gerçekleştirilen literatür taramasıyla sağlık hizmetlerinde strateji geliştirme, geleceğe yönelik karar alma, riskleri öngörme konularında politika yapıcılara rehberlik eden performans değerlendirme süreçlerinde kullanılan araç ve yöntemler ayrıntılı bir şekilde özetlenmiştir. Çalışma kapsamında ortaya konulan sınıflandırma şemasına Bölüm 2’de yer verilmiştir. Sonuç bölümünde ise gözlemlenen bulgular yorumlanmış ve gelecek çalışmalara yön verebilmek adına literatürdeki eksikler ortaya konulmuştur.

II. SAĞLIK HİZMETLERİNDE PERFORMANS DEĞERLENDİRME ÇALIŞMALARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Sağlık hizmetlerinde gerçekleştirilen performans değerlendirme çalışmalarının kapsamlı bir özetini bulundurmakta olan bu bölümde, performans değerlendirme süreçlerinin alan yazınına katkı sağlayan ve farklı araç ile yöntemlerden destek alarak performans değerlendirme süreçlerinin uygulandığı örneklere yer verilmiştir.

Sağlık sistemlerinin performans değerlendirme süreçleri tüm paydaşlar için büyük bir önem taşımaktadır. Değerlendirme ve ölçüm yoluyla eksikliklerin belirlenerek sistemin kendini stratejik adımlarla iyileştirip geliştirilebilmesinde kritik bir noktada bulunmaktadır. Bu nedenle, literatüre birçok çalışma kazandırılmıştır. Mevcut değerlendirme süreçlerini ele alan çalışmalar şu şekilde

özetlenebilir: Jannati ve diğ. [5] performans değerlendirmesinin pratik çabalarında, değerlendirme sürecinin temel adımlarını haritalamayı hedeflemişlerdir. Daha iyi kavramsallık ve ölçüm sağlayan kriterlere odaklanması gerektiğini belirtmişlerdir. Karaman ve diğ. [6] sağlık işletmelerinde değerlendirme sürecinde kullanılacak yöntemlerin getirilerine odaklanması gerektiğine dikkat çekmişlerdir. Biancone ve diğ. [7] sürekli değerlendirme sürecinde kullanılan kontrol aracının gerekliliği ile yararını vurgulamışlardır. Böylelikle, kaliteli bakım üzerine ortaya bir vaka çalışması koyarak ilgili düzeltici eylemleri ve kritik alanları belirlemişlerdir.

Caunic [8] gibi performans değerlendirme çerçevelerine eleştirel bakış açısıyla yaklaşan ve Amerika Birleşik Devletleri ile Avrupa'da, Boscolo ve diğ. [9]'nin yaptıkları gibi mevcut çerçevelerinin analizini sunan çalışmalara da literatürde rastlanmıştır: Dubois ve Westrich [10] son iki yılda mevcut değerlendirme süreçlerinin iyileştirilmesini gözlemlemişlerdir. Yeni giriş yapıp güncellenen çerçeveler ile değerlendirme alanının başarılı olarak geliştirilip geliştirilmediğine dair bir analiz gerçekleştirmişlerdir. Kumah ve diğ. [11] sağlık sisteminin performansındaki eğilimleri analiz ederken, uluslararası kabul görmüş performans çerçevelerinin desteği ile Gana'nın Bütünsel Değerlendirme Aracı olarak bilinen sağlık sistemi değerlendirme çerçevesini incelemişlerdir. Kapsam ve kavramsal sağlamlık açısından iyileştirilmeye ihtiyaç duyduğu sonucuna varmışlardır.

Performans değerlendirme sürecinde, bütünsel bir perspektif elde edebilmek, kaliteyi arttırabilmek amacıyla en uygun, yararlı kavramları öne çıkaran boyut ve göstergeleri saptayan çalışmalarda literatürde sıklıkla karşılaşılan türde araştırmalardır: Sörup ve diğ. [12] acil servislerin performans değerlendirmesinde en uygun olduğu düşünülen ölçütleri tanımlanmayı amaçlamışlardır. ABD, İsveç, Kanada ve Birleşik Karalık'ta hastayla ve zaman aralıklarıyla ilgili olan ölçütlerin daha baskın olduğu bulgusuna rastlanmış, kalma süresi, hastanın kuruma gelişinden ilk klinik değerlendirmesine kadar geçen süre ile hastaların hastaneye gelişleri arasındaki süre öne çıkan kavramlar olarak vurgulanmıştır. Sağlık sektöründe yüksek kaliteli performans gösterge tabloları geliştirebilmek amacıyla Ghazisaeidi ve diğ. [13] ana sorunları belirlemeyi hedefleyerek, gösterge tabloları geliştirmenin ana adımlarını saptamışlardır. Bangalore Sathyananda ve diğ. [14] gelişmekte olan ülkelerde, değerlendirme süreçlerine ilişkin ölçütleri gözlemlemiş, ölçütleri Dünya Sağlık Örgütü çerçevesinin tanımladığı perspektiflerle kapsamlılık açısından karşılaştırmıştır. Birinci basamak sağlık hizmetlerinin değerlendirme süreçlerinde sistem bileşenlerinin yanında personel performansının ölçütlerinin de bulunması gerektiğini vurgulamıştır. Rahman ve diğ. [15], bir hastanenin hizmet performans göstergelerinin gri sistem teorisi doğrultusunda ikincil bir veri kaynağına göre analiz yoluyla tahmin edilmesini hedeflemişlerdir. Bunun sonucunda, daha iyi kâr marjı ve daha iyi hasta memnuniyeti sağlayan göstergelerin diğerlerine oranla daha öncelikli olduğunu öne sürmüşlerdir. Noto ve diğ. [16] küçük bir ülkede performans değerlendirme sürecine ilişkin fırsat ve zorlukların analizini yapmışlardır. Saptanan performans ölçüm kriterlerinin her birinden ortaya çıkan problemler için olası çözüm yolları önermişlerdir. Tüm birinci basamak sağlık hizmetleri için geliştirilen değerlendirme çerçevelerini inceleyerek karşılaştırmasını yapan Zaadoud ve diğ. [17], bu çerçevelerin sağlık hizmet sağlayıcılarının performansı üzerinde bir etkisi olup olmadığı incelenmişlerdir. Sonuç olarak, etkililik, güvenlik, erişebilirlik, eşitlik, verimlilik, kabul edilebilirlik, hasta merkezlilik ve zamanındalık olmak üzere sekiz boyut öne çıkmıştır. Carnut ve Narvai [18] performans değerlendirmede kullanılan modelleri analiz ederek, verimlilik, kalite ve etkililik kavramlarını vurgulamışlardır. Hasta merkezliliğin, etkililiğin, verimliliğin ve güvenlik boyutlarının önemini vurgulayan Carini ve diğ. [19] performans değerlendirmesini çerçeveleyebilmek için ortak bir dil geliştirebilmek ve kanıta dayalı bir rota belirlemek amacıyla bir sınıflandırma gerçekleştirmiştir.

Diğer çalışmalardan kullandığı yöntem bazında ayrılan Dana ve diğ. [20] tarafından yürütülen çalışmada ise, K-Ortalamlar ve C-Ortalamlar yöntemlerinin kullanılmasıyla sağlık ocaklarının verdikleri hizmetin performansı ölçülmüştür. Hasta memnuniyet düzeyinin belirlenmesiyle, hasta memnuniyet endeksinin gruplandırılmasını yapmak amaçlanmıştır. Sonuç olarak, performans boyutlarının belirlenmesinin, hükümete, sağlık merkezlerinin kontrol işlevlerini gerçekleştirirken kolaylık sağlayacağı düşünülmektedir. Ayrıca, kullanılan yöntem bazında K-Ortalamlar yönteminin, C-Ortalamlar yöntemine göre daha iyi performans gösterdiği gözlemlenmiştir.

Sağlık hizmet ihtiyaçlarının analizini gerçekleştirmek amacıyla; Lee ve diğ. [21] ortaya bulanık bir kalite işlevi dağıtım yaklaşımı koyarken, Düzcü ve diğ. [22] hizmet sağlayıcıların, hizmet kalitesine ilişkin bakış açılarını gözlemlemeyi amaçlamışlardır. Salvatore ve diğ. [23] Porter'ın modelinin ışığında, sağlık organizasyonlarının değer odaklı bir modele dönüşümüne rehberlik etmeyi hedeflerken, Austin ve diğ., [24] acil servislerin performansını iyileştirmeye odaklanmışlardır. Tüm bu çalışmaların dışında performans değerlendirme konusu ile sağlığa yapılan ödemelerin ilişkisini inceleyen; Gok ve Altındağ [25]; Chen ve Cheng [26]; Cross ve diğ. [27]; Martin ve diğ. [28]; Spano ve diğ. [29] gibi birçok çalışmanın varlığı da literatürde tespit edilmiştir.

Ortaya konulan derleme çalışması kapsamında sağlık hizmetlerinde 2011-2021 yılları arasında gerçekleştirilmiş olan performans değerlendirme çalışmalarının analizini gerçekleştirmek amacıyla, araştırmaların sistematik bir incelemesi gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda, türkçe ve ingilizce olarak "sağlık", "sağlık sistemleri" ve "performans", veya "performans değerlendirme" veya "performans ölçümü" veya "performans analizi" veya "performans çerçeveleri" anahtar kelimeleri kullanılarak ULAKBİM'e bağlı veri tabanları (DergiPark ve TR Dizin), Google Akademik, Science Direct ve Web of Science veri tabanları taranmıştır. Çalışmaların incelenmesiyle özellikle yöntem isimlerini içeren yeni anahtar kelimeler kullanılarak kapsam daraltılmış, derleme çalışmasına dahil edilecek makaleler belirlenmiştir. Daha önceki çalışmalar incelendiğinde araştırmacıların performans değerlendirmede kullandıkları belirli araç ve yöntemlerin bulunduğu belirlenmiştir. Gerçekleştirilen uygulamalarda sağlık sistemlerinin karmaşıklığıyla daha iyi başa çıkabilmek adına geleneksel yolların yerine yenilerinin konulduğu ya da var olan araç, yöntemlerin iyileştirilmeye çalışıldığı gözlemlenmiştir. Mevcut literatürden yararlanılarak, performans değerlendirmede kullanılan araç ve yöntemler kullanılma sıklıklarına göre beş grupta incelenmiştir. Böylece, araç ve yöntemler, (1) Performans Değerlendirme Çerçeveleri, (2) Dengeli Ölçüm Kartı (DÖK), (3) Veri Zarflama Analizi (VZA) Yöntemi, (4) Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) Yöntemleri ve (5) Hibrit Modeller olarak beş gruba ayrılmıştır. Kurgulanan sınıflandırma şeması Şekil 1'de gösterilmiş olup, grupların kapsam ve içeriğine gelecekteki bölümlerde ayrıntılı olarak yer verilmiştir.



Şekil 1. Performans değerlendirme süreçlerinde kullanılan araç ve yöntemler.

A. PERFORMANS DEĞERLENDİRME ÇERÇEVELERİ ÇALIŞMALARI

İlk sınıflandırma başlığı altında, mevcut literatürde performans değerlendirme süreçleri için bir araç olarak kullanılan performans ölçüm çerçevesi ortaya koyan çalışmalara odaklanmıştır. Literatürde bazı araştırmacılar performans ölçme-değerlendirme sürecinde net bir çerçevenin olmaması konusuna dikkat çekerek bu eksikliğe odaklanmıştır. Sağlık hizmet sektöründe tüm paydaşlar tarafından kullanılabilir bir çerçeve modelini sunmaya çalışmışlardır. Yönetimsel bir çerçevenin sunumuyla mevcut süreçlerde kullanılan politikalar için iyileştirme önerileri geliştirmeyi amaçlamışlardır. Meltzer ve Chung [30] tarafından gerçekleştirilen çalışma buna örnek teşkil etmektedir. Bu çalışmada, ABD nüfusunun yaşam kalitesi ve süresini iyileştirebilmek amacı ile bakım hizmetlerini nasıl farklılaştırabileceğini değerlendirebilmek için bir çerçeve ortaya konulması amaçlanmıştır. Bu tür çerçevelerin kullanılması ile kaynakların, nüfus sağlığı üzerinde en çok etkiye sahip olan göstergelere odaklanabileceği öne sürülmüştür. Ayrıca, hazır veriler ile sağlık hizmetleri araştırma ve kalite ajansının sunduğu 13 kalite göstergesi kullanılmıştır. Bu göstergelerden 7 tanesinin aslında toplam faydanın yüzde 93'lük kısmını meydana getirdiği, kalan altı tanesinin ise yalnızca yüzde 7'lik bir dilimi kapsadığı gözlemlenmiştir. Literatür taranırken de bazı araştırmacıların bunu var olan bir modelden ilham alarak yaptıkları gözlemlenmiştir. Bu çalışmalara, Tablo 1'de yazar, temel alınan model-

çerçeve, çalışmanın kapsamı ve ortaya konulan model-çerçeve bilgileri verilerek çalışmalar özetlenmiştir.

Tablo 1. Var olan modelden esinlenen çalışmalar.

Yazar	Temel Alınan Model-Çerçeve	Çalışmanın Kapsamı	Ortaya Konulan Model-Çerçeve
Khan ve Ramachandran [31]	Dreyfus beceri edinme modeli Miller piramidi	Literatürde yetkinlik, yeterlilik ve performans kavramlarının tanımlamalarının net olmadığı vurgusu yapılarak, aralarındaki farkın ve bağlantıların belirlenmesi hedeflenmiştir. Performans değerlendirmede kullanılacak Dreyfus modelinin bir modifikasyonu ve bir performans değerlendirme ölçeği ortaya konularak açıklanmış, sonuç olarak iki modelin sunumu gerçekleştirilmiştir.	Model gözlemlenen ve gerçek performans olarak ikiye ayrılırken; performans değerlendirme ölçeği yetersiz, acemi, ileri düzey başlangıç, yetkin, yeterli, uzman, usta şeklinde oluşturulmuştur.
Marchal ve diğ. [32]	Leggat ve Sicotte ekibinin EGIPPS çerçevesi	En kapsamlı çerçevelerden bir tanesinin EGIPPS çerçevesi olduğu vurgulanarak, çerçevenin yardımıyla sağlıkta performans değerlendirme süreçlerinin daha iyi işleyecek hale getirilmesi ve karmaşıklığı kapsamına alan analitik bir strateji geliştirilmesi amaçlanmıştır. Sonuç olarak, sağlık organizasyonlarının performansını etkileyen çoklu aktörlerin bağıntılarının analizini gerçekleştiren çok kutuplu bir performans çerçevesi sunulmuştur.	Kurumsal kültürü ve değerleri koruma, hizmet sağlama, çevre ile etkileşim, amaca ulaşma işlevleri kullanılarak çerçevenin sunumu gerçekleştirilmiştir.
Reeve ve diğ. [33]	Donabedian ve Starfield'in modeli	Birinci basamak sağlık hizmetlerinde, hastane ve toplum hizmetlerinin entegre edilebilmesi için bir değerlendirme çerçevesi geliştirilmesi amaçlanmıştır. Sunulan çerçeve geliştirilebilecek yönleriyle açıklanarak, çerçevenin uygulanabilirliği tartışılmıştır.	Yapı, süreç ve sonuçları bağlayan iki katmana sahip, sürdürülebilirliğe, hasta bakımının kalitesine ve sağlığın belirleyicilerine dayalı göstergeler ile bir çerçeve ortaya konulmuştur.
Mendu ve diğ. [34]	American College of Physicians kriterleri	Böbrek hastalıklarının bakım kalitesi ölçütlerinin değerlendirilmesi, politika oluşturucu ve klinisyenlere rehberlik edebilecek bir kalite ölçüm çerçevesinin ortaya konması hedeflenmiştir. Çalışma sonucunda, ölçütlerin yarısından daha azı geçerli olarak değerlendirilerek, böbrek hastalıklarının bakım sürecini daha iyi yansıtacak ölçütlerin geliştirilmesi önerilmiştir.	Hasta merkezli, yüksek kaliteli böbrek bakımı sunumunu destekleyecek mevcut önlemleri iyileştirmek ve yeni önlemler oluşturmak için ideal adımları özetleyen beş aşamalı bir çerçeve ortaya konulmuştur.

Mevcut literatürde belirledikleri uygun yöntemle kendi performans değerlendirme çerçeve veya modellerini literatüre kazandıran çalışmalarda gözlemlenmiştir. Yazar, yöntem, çalışmanın kapsamı ve ortaya konulan model-çerçeve temelinde Tablo 2’de özetlenmiştir.

Tablo 2. Kendi çerçevelerini kuran çalışmalar.

Yazar	Kullanılan Yöntem	Çalışmanın Kapsamı	Ortaya Konulan Model-Çerçeve
Liu ve Itoh [35]	Anketler	Japonya’da bulunan diyaliz merkezleri için performans göstergelerine dayalı bütünsel bir teorik çerçevenin hastane yönetimi için geliştirilmesi amaçlanmıştır. Geliştirilen çerçevenin uygulaması gerçekleştirilerek Japonya’da kullanılabilecek anahtar performans göstergeleri belirlenmiştir.	Hasta memnuniyeti, çalışan memnuniyeti ve güvenlik kültürü olmak üzere üç ankete dayalı 27 gösterge ile bir model meydana getirilmiştir.
Traberg ve diğ. [36]	Nitel yöntemler	Performans değerlendirmede organizasyonel düzenlemeler için ihtiyacı giderecek ve stratejik olarak yaşanan ilerleme/gerilemeler hakkında bilgi sağlayacak bir çerçevenin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Çerçeve, manyetik rezonans görüntüleme ünitesinde kullanılmış, bölümde çerçevenin oldukça faydalı olduğu, farklı bölümlerde daha uygun yaklaşımların olabileceği öne sürülmüştür.	Ana göstergeye bağlı hasta, çalışan ve operasyon olmak üzere üç boyut oluşturulurken, boyutlara bağlı olarak dokuz küme, bu kümelerle de bağlı toplam 26 performans indikatörüyle bir model ortaya konulmuştur.
Gu ve Itoh [37]	Anketler	Profesyonellerden yardım alınarak Japonya’da bulunan diyaliz ünitesi için performans ölçütlerinin tanımlanması amaçlanmıştır. Sekiz performans ölçüsü belirlenmiş, performans şekillendirme faktörleri ve sonuç gösterge/ölçütleri arasındaki ilişkiye vurgu yapılmıştır.	Güvenlik, çalışma hayatı kalitesi, hasta / çalışan memnuniyeti, operasyonel verimlilik, çalışan gelişimi, finansal etkinlik, ölüm oranı ve hasta merkezli sağlık hizmetleri ölçüleri belirlenmiştir.
Perić ve diğ. [38]	Anketler	Performansı açıklayabilmek adına bir dizi başlık göstergesinin önerilmesi amaçlanmıştır. Değerlendirmede bulunan boşluklar ya da örtüşmeler bir yapı oluşturmuş, toplam 95 gösterge seti değerlendirilmiştir.	Göstergeler; erişim, sağlık hizmetleri kaynakları, sağlık hizmetleri faaliyetleri, sağlık harcamaları ve finansmanı, bakım kalitesi, farmasötik, yaşlanma, sağlık durumu, sağlığın belirleyicileri, ek bilgiler, dğerdir.
Seixas ve diğ. [39]	Anketler Görüşmeler Gerekli analiz ve hesaplamalar Duyarlılık analizi	Hindistan’da performans değerlendirme için bir bileşik gösterge sunulması amaçlanmıştır. Eyaletler arası performans ölçümü aracılığıyla performans sıralaması yapılmıştır. Sonuçta, sağlık yapıtaşları için performans konusunda önemli farklılıkların olduğu vurgulanarak, ölçüm için özet anlık görüntü sağlayan ve kritik bilgiler sunan bir bileşik gösterge ortaya konulmuştur.	Ana boyut olarak sağlık finansmanı, insan kaynakları, tesis hazırlığı / malzeme kaynakları, hizmet sunumu, yönetim, sağlık yönetimi bilgi sistemi belirlenirken, 20 alt boyut oluşturulmuş ve böylelikle 70 girdi kümelenmiştir.

Tablo 2 (devamı). Kendi çerçevelerini kuran çalışmalar.

Yazar	Kullanılan Yöntem	Çalışmanın Kapsamı	Ortaya Konulan Model-Çerçeve
Agarwal ve diğ. [40]	Delphi tekniği Anketler	Halk sağlığı çalışanlarının performans değerlendirmesinde anahtar ölçüm noktalarını belirleyebilmek ve yönetimlerini güçlendirmek hedeflenmiş, ortaya konan çerçevenin dikkate alınmasıyla kapsamlı performansının değerlendirmenin dengelenebileceği, program etkinliğinin artabileceği, hesap verebilirliğin güçlenebileceği, kalitenin iyileştirilebileceği ve operasyonların etkisinin geliştirilebileceği öne sürülmüştür.	Çalışanların teşviklerinin ölçülmesi, performans değerlendirmesi, veri kullanımı, hizmet kalitesi, çalışan yıpranması, hizmet deneyimi, yönlendirme, karşı yönlendirme, güvenilirlik ve programatik maliyetler dahil olmak üzere 21 alt alan ve 46 göstergeyle model oluşturulmuştur.
Levesque ve Sutherland [2]	Jabareen'in geliştirdiği sekiz adımlı bir süreç	Sağlık kurum ve kuruluşları tarafından performans değerlendirme sürecinde kullanılan mevcut performans yapıları incelenerek kavramsal bir çerçevenin sunumunu gerçekleştirmek amaçlamıştır. Ortaya konulan çerçeve, çok yönlü ölçüm sistemlerini destekleyen tutarlık ve netlik içeren, ölçümde kapsamlı değerlendirme sağlayan bir dizi yönetilebilir performans alanına sahiptir.	Sağlık hizmeti performansının nicel veri toplama sistemleri veya yaklaşımları aracılığıyla doğrudan ölçülebilen yönleri olan beş ölçülebilir unsur ile 10 türetilmiş performans yapısını tanımlayan bir çerçeve sunulmuştur.
Kim ve Jeon [41]	Delphi tekniği	Uzun vadeli bakım sisteminin değerlendirmesindeki kanıt azlığından dolayı, Güney Kore'de kamu uzun vadeli bakım sigortası tarafından finanse edilen bakım sisteminin değerlendirilmesi amacıyla bir performans çerçevesinin geliştirilmesi hedeflenmiştir. Çerçevenin, kendi çerçevelerini geliştiren farklı ülkeler için kriter olabileceği öne sürülmüştür.	Kapsam, bakım kalitesi, yaşam kalitesi, sistem sürdürülebilirliği boyutlarıyla; 10 temel performans göstergesi dahil toplam 28 gösterge belirlenerek bir performans çerçevesi geliştirilmiştir.

Ayrıca, son yıllarda, değer kavramının giderek önem kazanmasıyla sağlık alanındaki araştırmalarında bu yöne doğru evrildiği gözlemlenmiştir. Değer kavramı, literatürde en genel anlamı ile sağlık alanında iyileşmeyi başarmanın maliyeti için ölçülen iyileşme şeklinde tanımlanmıştır. Bu doğrultuda, yönetsel çerçeve sunumunu değer temelli gerçekleştiren birçok çalışmanın varlığına rastlanmıştır. Araştırmalar, yazar, çalışmanın kapsamı ve ortaya konulan model kapsamında Tablo 3'te özetlenmiştir.

Tablo 3. Değer temelli çerçeve sunan çalışmalar.

Yazar	Çalışmanın Kapsamı	Ortaya Konulan Model
Patel ve diğ. [42]	Sağlıkta verilen eğitimlerin, değer vurgusuna dayalı olarak gerçekleştirilmesini savunan yazarlar tarafından, asistanlara hastalarına değer temelli bakımı değerlendirmeyi ve sunmayı öğretmek amacıyla kullanılacak programlara yönelik değer çerçevesi sunumu	Doğrulama/değişkenlik, uygun fiyatlılık/erişim, uzun vadeli/ daha az yan etki, fayda/kullanılabilirlik, etkililik/hatalar boyutlarını içeren bir çerçeve ortaya konulmuştur.

Tablo 3 (devamı). Değer temelli çerçeve sunan çalışmalar.

Yazar	Çalışmanın Kapsamı	Ortaya Konulan Model
Kamal ve diğ. [43]	Mevcut değere dayalı sağlık hizmeti modelinin nüfus sağlığını iyileştirmeye odaklandığı, hastaların bireyselliğini ve bakım tercihlerini göz ardı ettiği öne sürülerek, karar vermede hasta tercihlerini ortaya çıkaran ve değeri tanımlarken bireysel hastaların tercihlerini içeren kavramsal bir çerçevenin sunumu gerçekleştirilmiştir.	Kalite, maliyet ve değer için hastaya özel tanımlar üreten bir çerçeveye, bireysel hasta tercihlerine göre değeri iyileştirme çabalarının hasta merkezli olmasını sağlayan bir modelin sunumu yapılmıştır.
Modica [44]	Sağlık sistemlerinde değişim için bir modelin ortaya konulması gerektiği öne sürülerek, 2016 ve 2018 yıllarında dört aşamalı bir süreçle kavramsal bir çerçeve geliştirilmiştir. Çerçeveyle değer temelli bakım modelleri geliştirilirken, rekabet eden talepleri dönüştürmek ve dengelemek için sağlık merkezi çabalarının desteklendiği vurgulanmıştır.	Altyapı, bakım sunumu ve insanlar ana boyutlarıyla değer bazlı bir kavramsal çerçeve sunulmuştur.
Teisberg ve diğ. [45]	Tıp fakültelerinin mezunlarının hekim işgücüne girerken değer temelli sağlık hizmetlerine dönüşüme öncülük etmeye hazırlanması amaçlanarak, lisans tıp müfredatı boyunca değer temelli sağlık hizmetlerinin ilkeleri ve uygulanmasına ilişkin eğitimi içermesi gerektiğini öneren bir değer bazlı çerçevenin sunumu gerçekleştirilmiştir.	Hastaların sağlık ihtiyaçlarını anlama, çıktıları iyileştirmek için tasarım çözümü, entegre öğrenme ekipleri, sağlık çıktıları ve maliyetlerinin ölçümü, ortaklıkların genişlemesi başlıklarıyla bir çerçeve ortaya konulmuştur.
Ijntema ve diğ. [46]	Fizik tedavi hizmeti veren birinci basamak sağlık kuruluşları için tanım içeren değer bazlı bir sağlık bakım çerçevesi geliştirmek amaçlanmıştır. Çalışmanın sonucunda, hem fizik tedavi hizmeti veren birinci basamak kuruluşlara özgü bağlamla ilgili performans sonuçlarını, hem de sağlık hizmet kalitesi sonuçlarını hesaba katan uygun, değer temelli bir çerçeve ortaya konulmuştur.	Fizik tedavi hizmeti veren birinci basamak sağlık kuruluşları merkezli sonuçlar, hasta merkezli sonuçlar, paydaş merkezli sonuçlar, kuruluşun değişim kapasitesi, örgütsel zorluklar ile bir çerçeve sunumu gerçekleştirilmiştir.

Sağlık alanında performans değerlendirmede yönetsel bir çerçevenin geliştirilmesi verilen hizmetin kalitesi, hasta-çalışan memnuniyetinin gözlemlenmesi ve tüm paydaşların ihtiyaç/beklentilerinin karşılanabilmesini adına büyük bir önem taşımaktadır. Bu nedenle, sağlık sisteminin çok boyutlu ve karmaşık yapısı ile başa çıkabilmek adına farklı perspektifleri ele alan birçok çalışma ortaya konulmuştur. Çalışmalar genellikle hasta-çalışan odaklı olup hizmet-bakım kalitesine odaklanan boyutlar çevresinde gerçekleştirilmiştir. Bunun yanı sıra, değer kavramının sağlık sistemindeki önemine vurgu yapıldığı, özellikle işgücüne girecek olan sağlık çalışanlarına bu kavramın benimsetilmesinin gerekliliğinin öne çıkarıldığı gözlemlenmiştir. Değere dayalı sağlık hizmetinin temelini, sağlığı iyileştiren, hasta merkezli ve maliyeti en aza indiren yüksek kaliteli bakım sunmak olduğu araştırmacılar tarafından tartışılarak öne sürülen yargı desteklenmiştir.

B. DENGELİ ÖLÇÜM KARTI (DÖK) ÇALIŞMALARI

İkinci çalışma grubu, literatürde sağlık sistemlerinde gerçekleştirilen performans değerlendirme süreçlerinde DÖK tekniğini ele alan çalışmalara odaklanmıştır. Literatür incelendiğinde, performans değerlendirme süreci için net bir çerçeve olmadığı gözlemlenmiştir. Bu nedenle, DÖK tekniğinin, performans değerlendirmede, araştırmacıların dikkatini çeken bir yol olduğu saptanmıştır. DÖK bir organizasyonun performansını farklı göstergeler yardımıyla değerlendirirken, karar verme süreçlerinde, kurum hedeflerinin belirlenmesinde ve süreçler sonucunda elde edilen sonuçların analiz

edilmesinde kullanılmaktadır. Genel yapısı itibariyle İçsel Süreç Boyutu, Finansal Boyut, Öğrenme & Gelişme Boyutu ve Müşteri Boyutu olmak üzere dört boyuttan meydana gelmektedir. Böylelikle organizasyonun performans değerlendirmesi dört farklı bakış açısından gerçekleştirilebilmektedir [47]. DÖK, organizasyonlar tarafından performans değerlendirme süreçlerinde aktif olarak kullanılan araçlarından bir tanesi olup, literatürdeki çalışmalarda sağlık hizmetlerine uygulanabilirliği gözlemlenmiştir. Bu doğrultuda, Karasavuran [48] DÖK tekniğinin, sağlık sistemlerinde stratejik yönetimin kritik bir parçası olduğunu ve stratejik kontrol metotlarından bir tanesi olduğunu desteklemeyi amaçlamıştır. Böylelikle, bu kavramın uygulanabilirlik ve kullanılabilirliğini analiz etmiştir. Sonuçta, sağlık organizasyonlarına, ölçülebilir amaçlar temelinde strateji planı yapmaları ve sürekli geliştirme için, stratejilerini kendi yapılarına uyumlu olan metotlar aracılığıyla kontrol etmelerini önermiştir.

Araştırmacıların bazıları, performans göstergeleri belirlemek ve performans ölçüm sürecinde kullanmak amacıyla direkt olarak DÖK tekniğinin sunduğu çerçeveden yararlanmışlardır. Böylelikle DÖK boyutlarını sağlık sistemlerine uyarlamışlardır. DÖK tekniğini ele alan çalışmalarda mevcut çerçeveden yararlanan araştırmalar yazar, metot/yöntem ve çalışmanın kapsamı temelinde özetlenerek tablolanmış ve Tablo 4'te sunulmuştur.

Tablo 4. DÖK tekniğini ele alan çalışmalarda mevcut çerçeveden yararlanan araştırmalar.

Yazar	Metot/Yöntem	Çalışmanın Kapsamı
Saraç [49]	DÖK Faktör analizi T-testi analizi ANOVA testi	Bir hastanede performans değerlendirme gerçekleştirilirken, DÖK kullanılarak tekniğin uygulanabilirliğinin gözlemlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmanın gerçekleştirildiği hastanede DÖK ile performans değerlendirmenin gerçekleştirilebileceği ve süreci olumlu yönde etkileyeceği gözlemlenirken, hastalara uygulanan ölçeğin sonuçlarında hastalarda demografik olarak bir fark olmadığı, çalışanlarda ise alınan ölçek bulgularında görev süreleri, cinsiyet ve görev gibi faktörlerin çalışanların verdikleri yanıtları etkilediği gözlemlenmiştir.
Lin ve diğ. [50]	DÖK Tek değişkenli regresyon veri analizleri	DÖK tekniğinin mevcut durumunun araştırılması ve Çin'de bulunan bir hastanenin performansı üzerindeki etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Çalışma sonucunda, tekniğin kişisel ve organizasyonel performansın geliştirilmesinde ön plana çıktığı vurgulanırken, sağladığı avantajların hastaneler tarafından kullanılan tıbbi kaynakların kapsamı, operasyonel kapsam ve teknolojik kalite gibi kavramlardan etkilendiği çıkarımı yapılmıştır.
Shukri ve Ramli [51]	DÖK	Malezya özel hastanelerinin 97'si çalışmaya dahil edilerek belirlenen yöntem aracılığıyla, üst yönetim hesaba katılarak ilgili hastanelerin performans değerlendirmesinin gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. DÖK'nı benimseyen hastanelerin resmileştirilmiş ve merkezi olduğu belirlenerek, performans değerlendirmede sorumluluk, hesap verebilirlik, bütünlük ve şeffaflık kavramlarını içeren güçlerin öne çıkarılabileceği vurgulanmıştır.
Korkmaz [52]	DÖK	Üçüncü basamak bir sağlık organizasyonuna, DÖK tekniğinin avantajlarına dikkat çekebilmek amacı ile 2007,2008,2009 senelerinde teknik uygulanarak, politika yapıcılara sunmak için bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Sonuçta, her yıl için toplam kurumsal performansın hesaplaması yapılarak, iyi sonuç alan çıktıların korunabilmesi, kötü çıkan performansında iyileştirilip geliştirilebilmesi için öneriler sunulmuştur.
Behrouzi ve Ma'aram [53]	DÖK	Malezya'nın özel hastanelerinde DÖK kullanılarak uygulanabilir bir dizi performans ölçüsünün belirlenmesi ile kantitatif veriler kullanılarak bir sıralamanın gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. Sonuç olarak, 31 DÖK performans ölçütü tanımlanarak bir sıralama anketinden geçirilip genel

performansı sağlam bir şekilde değerlendirebilmek amacıyla her performans ölçüsü için 0 ile 1 arasında bir ağırlık elde edilmiştir.

Bazı araştırmacılar ise sağlık sistemleri için ülkeler ve bölgeler özelinde tanımlanmış halihazırda var olan DÖK'leri kullanmıştır. Kendi kendini düzenleyen haritalar, diyaliz klinikleri için kullanılan 30 boyutlu Fresenius Medical Care DÖK verilerinden bilgi çekebilmek ve bu verileri kolay okunabilir bilgilendirici bir hale getirebilmek amacı ile yeni bir yaklaşım olarak Cattinelli ve diğ. [54] tarafından önerilmiştir. Sonuç olarak ise araştırmacılar, kendi kendini düzenleyen haritaların anahtar performans göstergeleri arasında bulunan ilişkileri ön plana çıkardığı ve geleneksel yollarla öngörülemeyen getirileri vurguladığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca, kendi kendini düzenleyen haritaları DÖK'lerin yorumlanabilmesi adına güvenilir bir bakış açısı olarak önermişlerdir.

Daha azınlıkta kalan bazı çalışmalar ise DÖK boyutlarından yola çıkarak kendi ölçüm kartı konseptlerini oluşturup bir model ortaya koymuşlardır. Gauld ve diğ. [55] tarafından yürütülen çalışmada mevcut verilerden yola çıkılarak sistem performansını değerlendirmek amacıyla ulusal bir puan kartının geliştirilmesi amaçlanmıştır. Sağlıklı yaşam, kalite, erişim, verimlilik, eşitlik boyutlarını içeren puan kartı kullanılarak Yeni Zelanda'da bir değerlendirme gerçekleştirilmiş, sağlık sistemi ölçüm sonucunda 100 üzerinden 71 puan almıştır. Bu çalışmada, Yeni Zelanda'nın performans değerlendirmesi için bir temel sunulsa da verilerin uyumlu olması ile modelin diğer ülkeler içinde bir şablon olabileceği vurgulanmıştır. Hastane organizasyonlarında performans değerlendirme süreçlerinde ve stratejik yönetimde DÖK tekniğinin uygulanmasına temel hazırlamak Yıldız ve diğ. [47]'nin yürüttükleri çalışmada hedeflenmiştir. Özel hastanede yürütülecek bir örnek olay yardımıyla hangi boyutların ve bu boyutlara bağımlı ne tür amaçların tanımlanabileceğinin saptanması amaçlanmıştır. Çalışmanın sonucunda, hastanelerde performans değerlendirme süreçlerinde uygulanabilecek DÖK boyutları geliştirilmiş, belirlenen boyutlar arasındaki bağlantı ve amaçlar detaylı olarak tanımlanmıştır.

Performans değerlendirme süreçlerinde tüm paydaşları bir araya getiren, sağlık alanının farklı yapıtaşlarını ele alan, bütünsel, net bir yönetsel çerçevenin bulunmaması vurgulanmıştır. Politikaların iyileştirilebilmesi adına DÖK boyutları sağlık sistemlerine uygulanmış ve getirileri gözlemlenerek, bu tekniğin iyileştirilmesi ile başarılı sonuçlar alınabileceği gözlemlenmiştir. Ayrıca, bilgimiz dahilinde, son yıllarda öne çıkan bir kavram olan ve farklı sektörlerde uygulamalarına yeni yeni rastladığımız sürdürülebilirlik terimi ile DÖK perspektifini birleştirerek organizasyonun gelecekteki varlığına da odaklanan Sürdürülebilir DÖK konseptini içeren, sağlık alanında performans değerlendirme süreçlerinde kullanılan hiçbir çalışmaya rastlanmamıştır. Sürdürülebilir DÖK, ek olarak içerdiği pazar dışı boyutuyla kurumların sosyal, çevresel ve ekonomik performansını da göz önünde bulundurarak eşzamanlı iyileşmeye olanak tanımaktadır. [56]

C. VERİ ZARFLAMA ANALİZİ (VZA) YÖNTEMİ KULLANAN ÇALIŞMALAR

Üçüncü çalışma grubunda VZA metodundan destek alarak yürütülen çalışmalar yazar, metod/yöntem, çalışmanın kapsamı, girdiler, çıktılar temelinde özetlenerek tablolanmış ve Tablo 5'te sunulmuştur. VZA metodu sayesinde karar vericilerin, performans ölçmede faydalandıkları girdi değerlerinin ve sonuçta elde ettikleri çıktı değerlerinin oranı hesaplanarak göreceli verimlilikleri değerlendirilebilmektedir. VZA'nın genellikle uygulama kolaylıkları bakımından tercih edilen BCC ve CCR olmak üzere iki temel modeli bulunmaktadır. BCC modeli ölçeğe göre değişken getiriye, CCR ise ölçeğe göre sabit getiriye ele almaktadır. Ayrıca, VZA yönteminin odaklanma şekline göre de iki farklı türü bulunmaktadır; girdi odaklı modeller ve çıktı odaklı modeller [57]. Bu metodun, diğer yöntemlere oranla daha fazla kullanılmasının sebebi ise, çok sayıda girdi-çıkıtı değerinin beraber işleme sokulmasına olanak sağlaması ve değerlerin ölçülmesini sağlamasıdır [58].

Tablo 5. VZA Yöntemini ele alan çalışmalar.

Yazar	Metot/ Yöntem	Çalışmanın Kapsamı	Girdiler	Çıktılar
Bircan [59]	Girdi-çıkıtı odaklı, CCR ve BCC modellenli VZA	Türkiye-Sivas sağlık ocaklarının ilgili yöntemle yapılacak ölçüm sonucunda etkinliklerinin karşılaştırılması hedeflenmiştir. Gerekli iyileştirmeler saptanarak, bu iyileştirmelere yönelik yorumlar yapılmıştır.	Doktor sayısı, hemşire+ebe sayısı	Küçük cerrahi müdahale sayısı, izlenen gebe+ loğusa sayısı, izlenen bebek+ çocuk sayısı
Borisov ve diğ. [60]	Çıktı odaklı, CCR modellenli VZA	Belirli bir zaman diliminde Avrupa Birliğine üye devletlerin sağlık sisteminde bölgesel verimliliğin analiz edilmesi amaçlanmış, bu yolla, VZA uygulamasının göreceli verimlilik avantajlarına sahip olduğu vurgulanmıştır.	Hekim sayısı, hastane yatağı, kızamık aşısı, kişi başı sağlık harcaması	Doğumda beklenen yaşam süresi, bebek ölüm oranı
Du ve diğ. [61]	Girdi-çıkıtı odaklı, BCC modellenli VZA	Pensilvanya'daki genel akut bakım hastaneleri için ek bir verimlilik modeli sunulması amaçlanmıştır. Model verimlilik değerlendirmesinde uygulanarak, verimsizliklerin saptanabileceği vurgusu yapılmıştır.	Yataklar, doktorlar, hemşireler, toplam işletme giderleri	Toplam işletme geliri, vakalar, hayatta kalma oranı
Aristovnik [62]	Çıktı odaklı, CCR ve BCC modellenli VZA	Avrupa Birliği sağlık hizmet sağlayıcılarının performansının birden fazla bölgesel girdi ve çıktı yardımıyla parametrik olmayan bir metodolojiyle değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bölgeler arası verimliliğin farklılığı gözlemlenmiştir.	Tıp doktorları, kişi başına gayri safi yurtiçi hasıla	Yaşam beklentisi, ölüm oranı, bebek ölüm hızı
Yiğit ve Esen [63]	Girdi odaklı, CCR ve BCC modellenli VZA	Antalya'da hastanelerin performansları belirlenirken Pabon Lasso modelinin yatak kullanım performansında ciddi bilgiler sağlanmasıyla, ölçümlerde VZA ile bu modelinde kullanılması önerilmiştir. Kaynak atamasının rasyonel olarak yapılması gerektiği, verimsizliklerin iyileştirilebilmesi için strateji ve planlamaların gerekliliği saptanmıştır.	Uzman hekim, hemşire, yatak sayısı, toplam gider	Poliklinik sayısı, A-B-C grubu ameliyat sayısı, yatak doluluk oranı, sağlık hizmeti geliri

Tablo 5 (devamı). VZA Yöntemini ele alan çalışmalar.

Yazar	Metot/ Yöntem	Çalışmanın Kapsamı	Girdiler	Çıktılar
Önder ve Boz [64]	Girdi odaklı, CCR modeli VZA	Ekonomik İş birliği ve Kalkınma Örgütü ülkelerinin sağlık sistem etkililiğinde kullanılan değişkenlerin tanımlanmasıyla etkinlik analizinin, hem 2000 hem de 2013 yılı verileriyle gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Etkinliğe erişebilmek için ülkelerin kendi modellerini geliştirmesi gerektiği vurgulanırken, 2000 yılında çalışmaya dahil edilen ülkelerden 15'inin etkin olduğu, 2013 yılında bu sayıda bir düşüşün yaşanmasıyla değer 13'e indiği gözlemlenmiştir.	Sağlık harcamalarının gayri safi milli hasıladaki payı, kişi başına toplam harcama, sağlık harcamalarında kamu harcama payı, özel sağlık harcamalarında cep harcamalarının payı	Doğumda beklenen yaşam yılı, algılanan sağlık statüsü, anne yaşama oranı, bebek yaşama oranı
Karsak ve Karadayı [65]	Girdi-çıkıtı odaklı, CCR modeli VZA	İstanbul'daki bir uygulamayla sağlık sektöründe ölçümün ele alınması amaçlanmış, ortaya yöntem bazlı bir yaklaşımın konulması hedeflenmiştir. Önerilen modelle hizmet performansında en iyi ilçeyi belirleyerek, değerlendirme sürecinde daha gerçek sonuçlar sağlayan bir modelin sunumunu yaptıklarını öne sürmüşlerdir.	Yatak sayısı, genel personel sayısı, işletme giderleri	Ayakta tedavi gören hasta sayısı, taburcu edilen hasta sayısı, düzeltilmiş ameliyat sayısı, somutluk, yanıt verme
Gençtürk ve Şenol [66]	Çıktı odaklı, CCR ve BCC modeli VZA	Kamu hastane birliklerinde verimlilik düzeyini belirlemek amacıyla yöntem bazlı bir performans ölçümü gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, verimli/ verimsiz olarak saptananların kullandıkları girdi-çıkıtı değişkenleri analiz edilerek, verimsizliğe yol açan nedenler belirlenmiştir.	Yatak sayısı, hekim sayısı, hemşire, ebe sayısı	Poliklinik, acil muayene sayısı, A grubu, B grubu ve C grubu ameliyat sayısı, yatan hasta sayısı değişkenleri
Stefko ve diğ. [67]	Çıktı odaklı, CCR ve BCC modeli, pencere VZA	Slovakya'daki tesislerin verimliliğinin VZA ile ölçülmesi planlanırken, temel bölgesel farklılıkları ve tutarsızlıkları ölçmek için temel VZA'nın uzantısı olarak pencere yaklaşımının kullanılması hedeflenmiştir. Sonuçta, zaman içinde tüm bölgelerdeki tahmini verimlilik sonuçlarıyla belirlenen değişkenler arasında bir bağımlılık gözlemlenmiştir.	Yatak sayısı, sağlık personeli sayısı, tüm tıbbi ekipman sayısı, manyetik rezonans cihazlarının sayısı, bilgisayarlı tomografi	Yatakların kullanımı, ortalama hemşirelik süresi

Tablo 5 (devamı). VZA Yöntemini ele alan çalışmalar.

Yazar	Metot/ Yöntem	Çalışmanın Kapsamı	Girdiler	Çıktılar
Zare ve diğ. [3]	Girdi odaklı, BCC modeli VZA	Sağlık merkezlerinde verimlilik ve performansın ölçülmesi amacıyla ortaya hibrit bir VZA-oyun teorisi modeli koymak amaçlanmıştır. Ortaya konan model ile literatürden çekilen veriler yardımıyla bir vaka çalışması gerçekleştirilerek modelin etkinlik ve uygulanabilirliği sunulmuştur. Çalışmanın sonucunda, sağlık merkezlerinin verimlilik seviyeleriyle alakalı faydalı iç görü ve bilgilere ulaşılmıştır.	Personel ve hekimler; çocuk sayısı, personel ve ebeler; kadın sayısı, personel ve ebeler; çocuk sayısı, personel; yaşlı kişi sayısı, hastalık kontrol personeli ile hekimleri; kapsanan öğrenci sayısı, hastalık kontrol personeli ve hekimleri; kapsanan nüfusun büyüklüğü, hekim sayısı; kapsanan nüfusun büyüklüğü	Bebek bakımı sağlama, sağlanan aile planlaması, diğer bakım, gebelik öncesi, sonrası bakım sağlama, yaşlı eğitimi seans, öğrenci, uygulanan aşı, alınan dışkı örnekleri, izlenen talasemi hastaları, taranan diyabet, hipertansiyon hastaları ve ziyaret edilen hasta sayısı
Alfiero ve diğ. [68]	Çıktı odaklı, radyal ve radyal olmayan CCR modeli VZA Doğrusal regresyon	İtalya sağlık sistemindeki organizasyonların performansında entelektüel sermayenin etkisiyle aralarındaki ilişkinin, sektördeki entelektüel sermayeyle ilişkili verimlilik, teorik çerçeveye performans değerlendirmesi doğrultusunda incelenmesi amaçlanmıştır. Bazı sermaye bileşenlerinin yönetsel ve bölgesel politikayı belirlemek için bir araç olduğunu, bileşenlerin, organizasyon performansı üzerinde tatmin edici düzeyde verimlilik etkisi olduğu, yeni bir yaklaşımla saptanmıştır.	Yapısal sermaye (teşhis araçları), beşerî sermaye (doktorlar ve hemşireler), beşerî sermaye (çalışanların bilgi ve becerileri- eğitim kursları), ilişkisel sermaye (tüketici memnuniyeti)	Performans

VZA yöntemi çok sayıda girdi-çıkıtı ile başa çıkabilme kabiliyeti sebebiyle sağlık alanında gerçekleştirilen performans değerlendirme süreçlerinde sıklıkla karşılaşılan bir metot olmuştur. Sağlık organizasyonlarının hizmet sağlama koşuluna bakılmaksızın birtakım giderlere katlanmak zorunda oluşu nedeniyle de girdi-çıkıtı odaklı BCC ve CCR modeli VZA yöntemleri yazarların birlikte kullanmayı tercih ettiği kavramlar olarak öne çıkmıştır. Literatürde genel olarak bu terimlerin entegrasyonu ile ölçümlerin gerçekleştirildiği gözlemlenmiştir.

D. ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME (ÇKKV) YÖNTEMLERİ KULLANAN ÇALIŞMALAR

Dördüncü çalışma grubu, farklı ÇKKV yöntemlerinden destek alan araştırmaları içermekte olup yazar, metot/yöntem, çalışmanın kapsamı ve belirlenen performans kriterlerinin sayısı bazında özetlenerek, önemli kavramlar temelinde Tablo 6’da sunulmuştur. ÇKKV yöntemleri, ele aldığı farklı alternatifleri belirlenen kriterlere göre değerlendirme, bu alternatiflerin arasından en uygun alternatifi saptama konusundaki yeteneği sebebiyle, karar vericilere karmaşık problemleri analiz etmede büyük ölçüde destek olmaktadır [69], [70]. Ele alınan problemlerin kendine özgü özellikleri, yapısı ve ele alınan modellerin kullanım şekli sebebiyle birçok farklı ÇKKV yöntemi bulunmaktadır [4]. Sağlık sistemlerinde karar verme süreçleri sistemin çok boyutlu, karmaşık bir yapıya sahip olmasından dolayı, farklı paydaşların sürece dahil olması ve farklı açıların sürece katılması gibi sonuçlar ortaya çıkmakta, bu durum karar vermeyi zorlaştırmaktadır [71]. Bu noktada, ÇKKV yöntemlerinden faydalanılarak karmaşık problemlerde karar vericiler sürecin yükünü hafifletmeye çalışmaktadır [72], [73]. Sağlık sistemlerinde performans değerlendirme süreçlerinde sağlık hizmet sağlayıcıları, politika yapımcılar ve araştırmacılar ÇKKV yönteminin sağladığı perspektiflerden yararlanarak süreç içinde farklı metotlardan destek almışlardır.

Tablo 6. ÇKKV Yöntemlerinden destek alan çalışmalar.

Yazar	Metot/ Yöntem	Çalışmanın Kapsamı	Performans Kriterlerinin Sayısı
Afkham ve diğ. [74]	AHP TOPSIS	Sağlık alanındaki hizmet kalitesinin kritik bir öneme sahip olduğu vurgulanarak, çalışma kapsamına alınan dört sağlık kuruluşunun hizmet kalitelerini değerlendirmek ve karşılaştırmak amacıyla SERVQUAL modeli kullanılarak ÇKKV yöntemlerinden destek alınmış, yeni bir yaklaşım sunulmuştur.	5
Karadayı ve Karsak [75]	Bulanık VIKOR Bulanık TOPSIS	Sağlık hizmet performansını değerlendirmede sağlam bir metodolojinin önemi vurgulanarak, kesin olmayan, nitel ve net verilerle bulanık bir karar verme çerçevesinin ortaya konulması amaçlanmıştır. İstanbul’da 6 bölgenin ölçümü için karşılaştırmalı bir analiz gerçekleştirilmiştir. Çerçevenin hizmet performansına harita sağlandığı öne sürülmüştür.	10
Akdag ve diğ. [76]	AHP TOPSIS Min-maks yaklaşımı OWA telafi edici and operatörleri Bulanık mantık	Türk hastanelerinde sunulan hizmet kalitesini ölçmek için bulanık küme teorisi araştırma şablonu olarak belirlenip ÇKKV yöntemleri kullanılmıştır. Bu yolla, hastanelerin sıralaması bulunurken, önem ağırlıkları dikkate alındığında kaliteye göre yapılacak bir sıralamanın en iyi, en güvenilir hastaneyi tercih edenler için yol gösterici olacağı yorumu yapılmıştır. Ayrıca, hastane yönetiminin hizmet kalitesinde sahip olduğu zayıf yönler için önlemler alması önerilmiştir.	46
Jiang ve diğ. [77]	Ağırlıklı TOPSIS Bulanık Delphi	Halk sağlık hizmet sağlayıcılarının kalitesinin ölçümünde kullanılacak bir değerlendirme modelinin sunulması amaçlanarak, model belirlenen yöntemlerin desteğiyle ortaya konulmuştur.	11

Tablo 6 (devamı). ÇKKV Yöntemlerinden destek alan çalışmalar.

Yazar	Metot/ Yöntem	Çalışmanın Kapsamı	Performans Kriterlerinin Sayısı
Türkoğlu [78]	TOPSIS	2010-2014 yılları için 26 Avrupa ülkesinin kullandıkları gösterge sıralamalarının gözlemlenmesi amaçlanmıştır. Politika oluşturma konusunda ülkelere rehberlik edeceği öne sürülen çalışmada, Norveç, Lüksemburg, Avusturya, İsveç ve Almanya'nın Avrupa ülkelerinde gösterge sıralamasında ön sıralarda oldukları gözlemlenmiştir.	7
Kar ve diğ. [79]	TOPSIS Gri ilişkisel analiz	Türkiye'de belirli bir gruba mensup kamu hastanelerinin acil servislerinde hasta memnuniyet oranı, acilden sevk edilen hasta oranı ve mortalite hızı gibi kriterlerin baz alınmasıyla hastanelerin göreceli sıralamasının yapılarak bir uygulama gerçekleştirilmiştir.	3
Yiğit [80]	TOPSIS	Eğitim ve araştırma hastanelerinde performans değerlendirme çalışması gerçekleştirmek amaçlanmaktadır. Sağlık Bakanlığı çatısı altında olan ilgili hastanelerin ortalama puanı hesaplanarak, kendi aralarında performans sıralamaları yapılmıştır. Genelde nüfus bakımından yoğun olmayan bölgelerde, yatak-personel sayısının düşük olduğu hastanelerde, performans düzeyinin daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.	7
Yüksel [81]	TOPSIS Temel bileşenler analizi	Kamu hastanelerinin performansına dayalı bilimsel temelli ek ödeme modeli oluşturmak amaçlanırken, modelin uygulanabilirliğini kanıtlamak hedeflenmektedir. TOPSIS yöntemiyle, hizmette verimlilik ve kalite kavramlarını öne çıkaran, mevcut kullanılan modelden daha adil olduğu öne sürülen bir modelin sunumu yapılmıştır.	23
Baş [82]	Delphi Basit toplamli ağırlıklandırma Ağırlıklı çarpım VIKOR TOPSIS MOORA COPRAS EATWOS ARAS Gri ilişkisel analiz	Temel girdi ve çıktıların belirlenmesi ile Sağlık Bakanlığı çatısı altında bulunan eğitim araştırma hastanelerinin performans değerlerinin ÇKKV yöntemleriyle hesaplanması hedeflenmiştir. Sonuç olarak, farklı yöntemler kullanılarak hastanelerin sıralaması yapılmış, yöntem ve yıl bazında sıralamaların değişiklik gösterdiği saptanmıştır.	12

ÇKKV yöntemleri belirlenen kriterler doğrultusunda sağlık organizasyonlarının performans değerlendirme süreçlerinde gerek ağırlıklandırma gerek sıralama yapma kabiliyetleriyle, araştırmacıların dikkatini çekmiş, performans ölçümlerinde sıklıkla kullanımına rastlanmıştır.

Özellikle de anlaşılabilirliği, hesaplamadaki yeteneği, ideal durumu baz alarak karşılaştırma yapabilmesi gibi avantajlarıyla TOPSIS yönteminin kullanılma sıklığı açısından öne çıktığı gözlemlenmiştir.

E. HİBRİT MODELLER İÇEREN ÇALIŞMALAR

Beşinci çalışma çeşitli ÇKKV yöntemlerinden destek alarak DÖK 'ün sağladığı çerçeve ile performans değerlendirme süreçlerine rehberlik eden ve bu iki kavramın entegrasyonunun sonuçlarını literatüre kazandıran çalışmaları içermektedir. DÖK ve farklı ÇKKV yöntemlerinin entegre edilmesiyle performans değerlendirme süreçleri için ortaya farklı çalışmalar konulmuştur. Bu çalışmalar yazar, metot/yöntem ve çalışmanın kapsamı temelinde Tablo 7'de özetlenmiştir. Yazarlar DÖK boyutlarının sağladığı yönetsel çerçeveden destek alarak, kriterler belirlemiştir. Bu doğrultuda, ÇKKV yöntemlerinin sahip olduğu ağırlıklandırma ve/veya sıralama özelliklerinden faydalanarak performans değerlendirme süreçlerinde kullanılmakta olan hibrit bir sınıf ortaya koymuşlardır.

Tablo 7. DÖK tekniğiyle farklı ÇKKV yöntemlerini entegre eden çalışmalar.

Yazar	Metot/Yöntem	Çalışmanın Kapsamı
Grigoroudis ve diğ. [83]	DÖK UTASTAR	Halk sağlığı merkezleri için bir değerlendirme sisteminin geliştirilmesi amaçlanarak, sektörün ayırt edici özellikleri göz önünde bulundurulmuştur. Sağlık kuruluşlarının stratejilerini değerlendirip, stratejilerin yenilemesini sağlayacak bir yapı sunularak, günlük uygulamalarda modern yönetim anlayışlarının kullanılabilmesi öne sürülmüştür.
Bisbe ve Barrubés [84]	DÖK VZA	Ortaya konulacak bütünleşmiş bir model ile birlikte çalışma için seçilen 8 hastanenin verimliliğin ölçülmesi amaçlanmaktadır. Araştırmacılar, DÖK ve VZA kullanımının, hastanelerde performans değerlendirmede kapsamlı bir araç olduğunu, aynı zamanda politika yapıcıların sağlık sistem kapasitesini arttırmak ve kaynakları koruyabilmek amacıyla daha doğru stratejiler geliştirmesine rehberlik edebileceğini vurgulamışlardır.
Chen ve diğ. [85]	DÖK AHP	Sağlık sistemi için bir ölçüm çerçevesi geliştirmek amaçlanarak, bütünleşmiş bir yorumlayıcı yapı modeli ve AHP temelli nicel bir bakış açısı ortaya konulmuştur. Anahtar performans göstergeleri ve bu göstergelerin sağlık sistemiyle bağlantıları tanımlanmıştır. Sonuçta, ortaya bir çerçeve konularak ölçümün önemiyle DÖK'nın sağlık sistemine sağladığı avantajlar belirlenmiştir.
Rahimi ve diğ. [86]	Delphi DÖK Basit toplamalı ağırlıklandırma	Hastanelerin performans ölçümü için uygun göstergelerin tanımlanması amaçlanarak, 22 performans göstergesi belirlenmiş, finans için 5, öğrenme, büyüme için 4, iç süreç için 10 ve müşteri için 3 gösterge seçilmiştir. Ortaya koyulan modelin performans değerlendirme sürecinde kullanılabilmesi ve kullanılacak hastanelere göre esneklik avantajından faydalanılarak değiştirilebileceği vurgulanmıştır.
Doğan ve Gencan [87]	DÖK Bulanık AHP	Stratejik planlamayla alakalı öncelikler belirlenerek, bu öncelikleri önem sırasına sokmak amacıyla bir kamu ve özel hastane incelenerek uygulama gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Yöntemler aracılığıyla belirlenen kriterler için ağırlıklandırma gerçekleştirilmiş, kritik boyut ve bakış açıları saptanarak, uygulamaya alınan hastanelerinin önceliklerinin birbiriyle karşılaştırılması, uygulamanın kısıtlamalarına dikkat çekilerek vurgulanmıştır.

DÖK tekniği birçok sektörde performans geliştirmede kullanılan bir yöntem olup, sağlık sisteminde ölçüm süreçlerinde net bir çerçevenin eksikliğiyle ön plana çıkmakta ve uygulanabilirliği kanıtlanmaktadır. Bu durumu baz alan araştırmacılar tarafından, DÖK tekniği, ÇKKV yöntemlerinin sunduğu avantajlarla entegre edilerek hibrit modeller meydana getirilmiştir. Entegrasyon sonucunda, DÖK boyutlarına dayalı oluşturulan kriterler yardımıyla sağlık organizasyonlarının performans düzeylerinde ağırlıklandırma, sıralama gerçekteştirilerek eksikliklerin belirlenmesi ve iyileştirmelerin gerçekteştirilmesi sağlanmıştır.

III. SONUÇ VE TARTIşMA

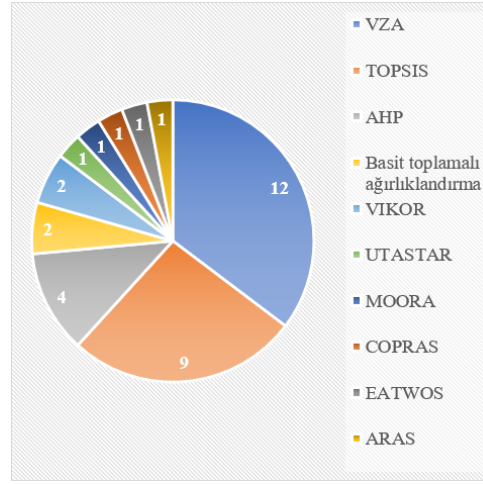
Performans değerlendirme kavramı sayesinde sağlık sistemlerinde, hedefler çizgisinde, süreçler içerisinde gerçekteşen aktivitelerin sonuçlarının belirlenmesi, ölçümünün yapılması, karşılaştırmaların gerçekteştirilmesi ve geleceğe dönük planlara karar verilmesi gibi önemli adımların atılması sağlanabilmektedir. Fakat, sağlık sisteminin sahip olduğu büyük boyutlu yapı ve süreç karmaşıklıkları zaman içerisinde performans değerlendirme süreçlerinde zaman alıcı, birbiriyle tutarlılık göstermeyen ve karşılaştırılmayan sonuçların doğmasına neden olmuştur. Bu doğrultuda, en iyi performansı elde edebilmek için farklı araç ve yöntemlere başvurulmuştur. Performans değerlendirme süreçlerinin geliştirilip iyileştirilmesi adına ulusal ve uluslararası alanda literatüre birçok çalışma kazandırılmıştır. Gerçekteştirilen literatür taramasıyla, son on yılda, sağlık hizmetlerinde performans değerlendirme süreçleri analiz edildiğinde kavramın araştırmacılar tarafından odağa alındığı ve ön plana çıktığı saptanmıştır. Ek olarak, bilgimiz dahilinde ulusal alanda bu konuya odaklanan hem ulusal hem de uluslararası çalışmaları kapsamlı şekilde inceleyen bir çalışmanın bulunmaması bu derlemenin temel motivasyonunu oluşturmuştur.

Ortaya konulan literatür taramasıyla beraber, gelişen teknoloji ve evirilen ihtiyaçlar doğrultusunda çok boyutlu performans ölçüm yöntemlerine yönelim olduğu gözlemlenmiştir. En büyük eksikliğin performansın bütünsel bir görünümünü oluşturan ve performansın kapsamlı olarak incelenmesini sağlayacak modellerin az sayıda bulunması olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, çok boyutlu modeller ile performans değerlendirme çerçevelerinin oluşturulmasıyla bütünsel bir görünüm elde edilmeye çalışıldığı saptanmıştır. Ortaya konulan çoğu model-çerçevenin ortak özelliğinin hasta, çalışan veya organizasyonların ihtiyaç- beklentilerini tek taraflı olarak odağa alan ve hizmet kalitesini ön planda tutan yapılar olduğu gözlemlenmiştir. Bu doğrultuda, tüm paydaşların aynı anda tek bir modelde göz önünde bulundurulmasını sağlayan, sağlık sisteminin tüm boyutlarıyla karmaşık yapısının üstesinden gelebilen, uygulama odaklı bir modelin literatürdeki eksikliği saptanmıştır. Ayrıca, sağlık alanındaki iyileştirmelerde büyük bir yere sahip olan değer kavramının gelecek çalışmalarda daha ön planda olacağı, geleneksel çerçevelerin yerine değer bazı çerçevelerin konulacağı öngörölmüştür.

Bunların yanı sıra, sağlık sistemlerinde, birçok sektörde performans değerlendirmede kullanılan DÖK tekniğine yönelim olduğu gözlemlenmiştir. DÖK boyutlarının uygulanabilirlikleri birçok çalışma tarafından incelenerek, tekniğin avantajları vurgulanmıştır. Bilgimiz dahilinde, son yıllarda gelişmekte olan, Sürdürülebilir DÖK tekniğini sağlık alanında performans değerlendirme süreçlerinde ele alan herhangi bir çalışmanın bulunmaması nedeniyle, organizasyonların geleceğini de göz önünde bulunduran bu perspektifin sağlık alanına uygulanması ile daha kaliteli ölçüm süreçlerinin elde edilebileceği öngörölmektedir.

Ayrıca, bu süreçte kullanım kolaylıkları ve büyük boyutlarla baş edebilme yetenekleri sayesinde girdi- çıktı odaklı BCC ve CCR temelli VZA yöntemi ile TOPSIS metodunun ön plana çıktığı, uygulamalarda sıklıkla bu konseptlerden destek alındığı gözlemlenmiştir. (şekil 2) Son olarak, ÇKKV yönteminin yetenekleri baz alınarak DÖK tekniğinin sunmuş olduğu çerçeve ile hibrit modellerin kurulmasıyla, sağlık sistemlerinde performans ölçüm süreçlerinde organizasyonlarının performans seviyelerinin ağırlıklandırma/sıralamalarını gerçekteştiren birçok çalışmaya da rastlanmıştır. Fakat, performans değerlendirme süreçlerinde son yıllarda popölerliği giderek artmakta olan yapay zekâ, makine öğrenmesi uygulamalarının literatürdeki eksikliği dikkat çekmiş, yalnızca bir çalışmanın hasta

memnuniyet endeksinin gruplandırılmasına odaklandığı gözlemlenmiştir. Bu doğrultuda, makine öğrenmesi algoritmalarının sağlık sistemlerine entegre edilmesi ile değerlendirme süreçlerinde karmaşıklıkla daha sağlam bir şekilde başa çıkabilecek modellerin ortaya konulabileceği düşünülmektedir.



Şekil 2. Derleme çalışmasına dahil edilen yöntemlerin dağılımı.

Performans değerlendirme süreçlerini ideal bir şekilde gerçekleştiren sağlık organizasyonlarının, kaliteli hizmet, stratejik yönetim, sürdürülebilirlik ve hedeflerine ulaşma kabiliyetlerinde büyük bir başarıya sahip oldukları gözlemlenmiştir. Bu doğrultuda, gerçekleştirilen literatür taramasının, sağlık hizmetlerinde performans değerlendirme süreçlerine odaklanan araştırmacılar için gelecek çalışmalara rehberlik ederek literatürde alan yazınına katkıda bulunacağı düşünülmektedir. Ek olarak, sağlık hizmet sağlayıcılarının ve bu alanda strateji geliştiren profesyonellerin, süreç geliştirme, iyileştirme, kalite, verimlilik artırma ve karar alma safhalarında bu araştırma kapsamında özetlenmiş olan ilgili performans değerlendirme araç-yöntemleri iyileştirerek, bu tekniklerden destek almaları önerilmektedir.

V. KAYNAKLAR

- [1] M. A. Karadayı, Y. G. Gökmen, L. G. Kasap, ve H. Tozan, "Sağlıkta güncel simülasyon yaklaşımları: Bir derleme çalışması," *Int. J. Adv. Eng. Pure Sci.*, c. 31, s. 1, ss. 1–21, 2019.
- [2] J. F. Levesque and K. Sutherland, "Combining patient, clinical and system perspectives in assessing performance in healthcare: an integrated measurement framework," *BMC Health Serv. Res.*, vol. 20, no. 1, pp. 1–14, 2020.
- [3] H. Zare, M. Tavana, A. Mardani, S. Masoudian, and M. Kamali Saraji, "A hybrid data envelopment analysis and game theory model for performance measurement in healthcare," *Health Care Manag. Sci.*, vol. 22, no. 3, pp. 475–488, 2019.
- [4] B. Ö. Yılmaz, "Multi-criteria decision making (MCDM) applications in military healthcare field," *Journal of Health Systems and Policies*, vol. 2, no. 2, pp. 149–181, 2020.
- [5] A. Jannati, V. Sadeghi, A. Imani, and M. Saadati, "Effective coverage as a new approach to health system performance assessment: a scoping review," *BMC Health Serv. Res.*, vol. 18, no. 1, pp. 1–13, 2018.
- [6] M. Karaman, H. Kuşçu Karatepe, ve F. N. Kuşçu, "Sağlık işletmelerinde performans

değerlendirme ve ölçme yöntemleri hakkında bir derleme çalışması," *Yönetim Ekon. Edeb. İslami ve Polit. Bilim. Derg.*, c. 4, s. 1, ss. 153–171, 2019.

[7] P. Pietro Biancone, S. Secinaro, V. Brescia, and D. Iannaci, "Redefining the conceptual framework for quality of care," *Qual. - Access to Success*, vol. 21, no. 174, pp. 40–48, 2020.

[8] R.-E. Caunic, "Frameworks and measures for health systems," *SEA - Practical Application of Science*, vol. VII, no. 21, pp. 205–213, 2019.

[9] P. R. Boscolo, G. Callea, O. Ciani, and R. Tarricone, "Measuring value in health care: a comparative analysis of value-based frameworks," *Clin. Ther.*, vol. 42, no. 1, pp. 34–43, 2020.

[10] R. W. Dubois and K. Westrich, "As value assessment frameworks evolve, are they finally ready for prime time?," *Value Heal.*, vol. 22, no. 9, pp. 977–980, 2019.

[11] E. Kumah *et al.*, "Frameworks for health systems performance assessment: how comprehensive is Ghana's holistic assessment tool?," *Glob. Heal. Res. Policy*, vol. 5, no. 1, pp. 1-12, 2020.

[12] C. M. Sørup, P. Jacobsen, and J. L. Forberg, "Evaluation of emergency department performance - a systematic review on recommended performance and quality-in-care measures," *Scand. J. Trauma. Resusc. Emerg. Med.*, vol. 21, no. 1, pp. 1-14, 2013.

[13] M. Ghazisaeidi, R. Safdari, M. Torabi, M. Mirzaee, J. Farzi, and A. Goodini, "Development of performance dashboards in healthcare sector: key practical issues," *Acta Inform. Medica*, vol. 23, no. 5, pp. 317–321, 2015.

[14] R. Bangalore Sathyananda, A. De Rijk, U. Manjunath, A. Krumeich, and C. P. Van Schayck, "Primary health centres' performance assessment measures in developing countries: review of the empirical literature," *BMC Health Serv. Res.*, vol. 18, no. 1, pp. 1–13, 2018.

[15] M. H. Rahman, T. J. Tumpa, S. M. Ali, and S. K. Paul, "A grey approach to predicting healthcare performance," *Meas. J. Int. Meas. Confed.*, vol. 134, no. October, pp. 307–325, 2019.

[16] G. Noto, I. Corazza, K. Kļaviņa, J. Lepiksone, and S. Nuti, "Health system performance assessment in small countries: the case study of Latvia," *Int. J. Health Plann. Manage.*, vol. 34, no. 4, pp. 1408–1422, 2019.

[17] B. Zaadoud, Y. Chbab, and A. Chaouch, "Do performance measurement models have any impact on primary health care? a systematic review," *Int. J. Heal. Gov.*, vol. 25, no. 4, pp. 319–334, 2020.

[18] L. Carnut and P. C. Narvai, "A meta-summarization of qualitative findings about health systems performance evaluation models: conceptual problems and comparability limitations," *Inq. (United States)*, vol. 57, no. 1, pp. 1-19, 2020.

[19] E. Carini *et al.*, "Assessing hospital performance indicators. what dimensions? evidence from an umbrella review," *BMC Health Serv. Res.*, vol. 20, no. 1, pp. 1–13, 2020.

[20] R. D. Dana, A. R. Dikananda, D. Sudrajat, A. Wanto, and F. Fasya, "Measurement of health service performance through machine learning using clustering techniques," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1360, no. 1, pp. 012017, 2019.

[21] C. K. M. Lee, C. T. Y. Ru, C. L. Yeung, K. L. Choy, and W. H. Ip, "Analyze the healthcare service requirement using fuzzy QFD," *Comput. Ind.*, vol. 74, no. 1, pp. 1–15, 2015.

- [22] T. Düzcü, O. Yıldırım, H. Zülfikar, E. Yılmaz Alarçin, B. Sezginer, and H. Tozan, "The perceived service quality on patient : evidence from university hospital," *Journal of Health Systems and Policies*, vol. 1, no. 3, pp. 90–100, 2019.
- [23] F. P. Salvatore, S. Fanelli, C. C. Donelli, and M. Milone, "Value-based health-care principles in health-care organizations," *Int. J. Organ. Anal.*, vol. ahead-of-print no. ahead-of-print, 2020.
- [24] E. E. Austin, B. Blakely, C. Tufanaru, A. Selwood, J. Braithwaite, and R. Clay-Williams, "Strategies to measure and improve emergency department performance: a scoping review," *Scand. J. Trauma. Resusc. Emerg. Med.*, vol. 28, no. 1, pp. 1–14, 2020.
- [25] M. S. Gok and E. Altındağ, "Analysis of the cost and efficiency relationship: experience in the Turkish pay for performance system," *Eur. J. Heal. Econ.*, vol. 16, no. 5, pp. 459–469, 2015.
- [26] C. C. Chen and S. H. Cheng, "Does pay-for-performance benefit patients with multiple chronic conditions? evidence from a universal coverage health care system," *Health Policy Plan.*, vol. 31, no. 1, pp. 83–90, 2016.
- [27] D. A. Cross, P. Nong, C. Harris-Lemak, G. R. Cohen, A. Linden, and J. Adler-Milstein, "Practice strategies to improve primary care for chronic disease patients under a pay-for-value program," *Healthcare*, vol. 7, no. 1, pp. 30–37, 2019.
- [28] B. Martin, J. Jones, M. Miller, and R. Johnson-Koenke, "Health care professionals' perceptions of pay-for-performance in practice: a qualitative metasynthesis," *Inq. (United States)*, vol. 57, 2020.
- [29] A. Spano, A. Aroni, V. Tagliagambe, E. Mallus, and B. Bellò, "Performance and expenditure in Italian public healthcare organizations: does expenditure influence performance? ," *Public Money Manag.*, vol. 0, no. 0, pp. 1–8, 2020.
- [30] D. O. Meltzer and J. W. Chung, "The population value of quality indicator reporting: A framework for prioritizing health care performance measures," *Health Aff.*, vol. 33, no. 1, pp. 132–139, 2014.
- [31] K. Khan and S. Ramachandran, "Conceptual framework for performance assessment: competency, competence and performance in the context of assessments in healthcare - deciphering the terminology," *Med. Teach.*, vol. 34, no. 11, pp. 920–928, 2012.
- [32] B. Marchal, T. Hoérée, V. C. Da Silveira, S. Van Belle, N. S. Prashanth, and G. Kegels, "Building on the EGIPPS performance assessment: the multipolar framework as a heuristic to tackle the complexity of performance of public service oriented health care organisations," *BMC Public Health*, vol. 14, no. 1, pp. 1–11, 2014.
- [33] C. Reeve, J. Humphreys, and J. Wakerman, "A comprehensive health service evaluation and monitoring framework," *Eval. Program Plann.*, vol. 53, no. 1, pp. 91–98, 2015.
- [34] M. L. Mendu *et al.*, "Measuring quality in kidney care: an evaluation of existing quality metrics and approach to facilitating improvements in care delivery," *J. Am. Soc. Nephrol.*, vol. 31, no. 3, pp. 602–614, 2020.
- [35] H. C. Liu and K. Itoh, "Conceptual framework for holistic dialysis management based on key performance indicators," *Ther. Apher. Dial.*, vol. 17, no. 5, pp. 532–550, 2013.

- [36] A. Traberg, P. Jacobsen, and N. M. Duthiers, "Advancing the use of performance evaluation in health care," *J. Heal. Organ. Manag.*, vol. 28, no. 3, pp. 422–436, 2014.
- [37] X. Gu and K. Itoh, "Performance measures for a dialysis setting," *J. Ren. Care*, vol. 44, no. 1, pp. 52–59, 2018.
- [38] N. Perić, M. M. Hofmarcher, and J. Simon, "Headline indicators for monitoring the performance of health systems: findings from the european health systems indicator (euHS_I) survey," *Arch. Public Heal.*, vol. 76, no. 1, pp. 1–17, 2018.
- [39] B. V. Seixas, F. Dionne, T. Conte, and C. Mitton, "Assessing value in health care: using an interpretive classification system to understand existing practices based on a systematic review," *BMC Health Serv. Res.*, vol. 19, no. 1, pp. 1–11, 2019.
- [40] S. Agarwal *et al.*, "A conceptual framework for measuring community health workforce performance within primary health care systems," *Hum. Resour. Health*, vol. 17, no. 1, pp. 1–20, 2019.
- [41] H. Kim and B. Jeon, "Developing a framework for performance assessment of the public long-term care system in Korea: methodological and policy lessons," *Heal. Res. Policy Syst.*, vol. 18, no. 1, pp. 1–11, 2020.
- [42] M. S. Patel, M. M. Davis, and M. L. Lypson, "The value framework: training residents to provide value-based care for their patients," *J. Gen. Intern. Med.*, vol. 27, no. 9, pp. 1210–1214, 2012.
- [43] R. N. Kamal, S. E. Lindsay, and S. L. Eppler, "Patients should define value in health care: a conceptual framework," *J. Hand Surg. Am.*, vol. 43, no. 11, pp. 1030–1034, 2018.
- [44] C. Modica, "The value transformation framework: an approach to value-based care in federally qualified health centers," *J. Healthc. Qual.*, vol. 42, no. 2, pp. 106–112, 2020.
- [45] E. Teisberg, S. Wallace, and S. O'Hara, "Defining and implementing value-based health care: a strategic framework," *Acad. Med.*, vol. 95, no. 5, pp. 682–685, 2020.
- [46] R. F. Ijntema, D. J. Barten, H. B. Duits, B. V. Tjemkes, and C. Veenhof, "A health care value framework for physical therapy primary health care organizations," *Qual. Manag. Health Care*, vol. 30, no. 1, pp. 27–35, 2021.
- [47] M. Yıldız, Ö. Kethüda, ve M. Kurutkan, "Dengeli ölçüm kartının hastane işletmelerinde uygulanması: örnek olay çalışması," *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, c. 27, s. 4, ss. 274201390–274201409, 2013.
- [48] S. Karasavuran, "Stratejik değerlendirme ve kontrol: dengeli puan kartının sağlık hizmetlerinde kullanımı," *Hacettepe Sağlık İdaresi Derg.*, c. 16, s. 2, ss. 69–89, 2013.
- [49] İ. G. Saraç, "Performans ölçümünde dengeli ölçüm kartı sisteminin kullanımı ve bir sağlık kuruluşunda uygulanması," Yüksek Lisans tezi, Hastane ve Sağlık Kuruluşları Yönetim Programı, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 2011.
- [50] Z. Lin, Z. Yu, and L. Zhang, "Performance outcomes of balanced scorecard application in hospital administration in China," *China Econ. Rev.*, vol. 30, no. 1, pp. 1–15, 2014.
- [51] N. F. M. Shukri and A. Ramli, "Organizational structure and performances of responsible Malaysian healthcare providers: a balanced scorecard perspective," *Procedia Econ. Financ.*, vol. 28, no. April, pp. 202–212, 2015.

- [52] O. Korkmaz, "Kurumsal performans karnesi ölçümü: üçüncü basamak sağlık kuruluşunda bir uygulama," *Anemon Muş Alparslan Üniversitesi Sos. Bilim. Derg.*, c. 6, s. 6, ss. 1051–1061, 2018.
- [53] F. Behrouzi and A. Ma'aram, "Identification and ranking of specific balanced scorecard performance measures for hospitals: a case study of private hospitals in the Klang Valley area, Malaysia," *Int. J. Health Plann. Manage.*, vol. 34, no. 4, pp. 1364–1376, 2019.
- [54] I. Cattinelli *et al.*, "Use of self-organizing maps for balanced scorecard analysis to monitor the performance of dialysis clinic chains," *Health Care Manag. Sci.*, vol. 15, no. 1, pp. 79–90, 2012.
- [55] R. Gauld *et al.*, "Scorecards for health system performance assessment: the New Zealand example," *Health Policy (New York)*, vol. 103, no. 2–3, pp. 200–208, 2011.
- [56] S. Falle, R. Rauter, S. Engert, and R. J. Baumgartner, "Sustainability management with the sustainability balanced scorecard in SMEs: findings from an Austrian case study," *Sustain.*, vol. 8, no. 6, pp. 1-16, 2016.
- [57] Ö. Doğan ve A. Tañç, "Konaklama işletmelerinde veri zarflama analizi yöntemiyle faaliyet denetimi: Kapadokya örneği," *İktisadi ve İdari Bilim. Derg.*, c. 22, s. 1, ss. 239- 259, 2008.
- [58] Ö. Güdük ve E. Önder, "Türkiye'deki hastanelerde veri zarflama analizi ile yapılan performans çalışmaları," *Sağlıkta Kalite ve Performans Derg.*, c. 17, s. 2, ss. 49–95, 2018.
- [59] H. Bircan, "Veri zarflama analizi ile Sivas ili merkez sağlık ocakları etkinliğinin ölçülmesi," *C.Ü. İktisadi ve İdari Bilim. Derg.*, c. 12, s. 1, ss. 331–347, 2011.
- [60] D. Borisov, C. Cicea, and C. Turlea, "DEA model for assessing efficiency in providing health Care," *Manag. Res. Pract.*, vol. 4, no. 1, pp. 5–18, 2012.
- [61] J. Du, J. Wang, Y. Chen, S. Y. Chou, and J. Zhu, "Incorporating health outcomes in Pennsylvania hospital efficiency: an additive super-efficiency DEA approach," *Ann. Oper. Res.*, vol. 221, no. 1, pp. 161–172, 2014.
- [62] A. Aristovnik, "Regional performance measurement of healthcare systems in the EU: a non-parametric approach," *Lex Localis*, vol. 13, no. 3, pp. 579–593, 2015.
- [63] V. Yiğit ve H. Esen, "Pabon Lasso modeli ve veri zarflama analizi ile hastanelerde performans ölçümü," *SDÜ Sağlık Bilim. Derg.*, c. 8, s. 2, ss. 1–1, 2017.
- [64] E. Önder ve C. Boz, "Oecd ülkelerinin sağlık sistemi performanslarının değerlendirilmesi," *Sos. Guvence*, c. 0, s. 11, ss. 24–61, 2017.
- [65] E. E. Karsak and M. A. Karadayi, "Imprecise DEA framework for evaluating health-care performance of districts," *Kybernetes*, vol. 46, no. 4, pp. 706–727, 2017.
- [66] M. Gençtürk ve O. Şenol, "Veri zarflama analiziyle kamu hastaneleri birliklerinde verimlilik analizi," *Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, c.4, s. 29, ss. 265–286, 2017.
- [67] R. Stefko, B. Gavurova, and K. Kocisova, "Healthcare efficiency assessment using DEA analysis in the Slovak Republic," *Health Econ. Rev.*, vol. 8, no. 1, pp. 1-12, 2018.
- [68] S. Alfiero, V. Brescia, and F. Bert, "Intellectual capital-based performance improvement: a study in healthcare sector," *BMC Health Serv. Res.*, vol. 21, no. 1, pp. 1–16, 2021.

- [69] H. Tozan, "Fuzzy AHP based decision support system for technology selection in abrasive water jet cutting processes," *Tehnicki vjesnik-Technical gazette*, 2011.
- [70] T. Temuçin, H. Tozan, Ö. Vayvay, M. Harničárová, and J. Valíček, "A fuzzy based decision model for nontraditional machining process selection," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 70, no. 9–12, pp. 2275–2282, 2014.
- [71] N. Öztürk, H. Tozan, and Ö. Vayvay, "A new decision model approach for health technology assessment and a case study for dialysis alternatives in Turkey," *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 17, no. 10, 2020.
- [72] S. Vahdat, L. Hamzehgardeshi, S. Hessam, and Z. Hamzehgardeshi, "Patient involvement in health care decision making: a review," *Iran. Red Crescent Med. J.*, vol. 16, no. 1, pp. 1–7, 2014.
- [73] M. Karatas, I. Karacan, and H. Tozan, "An integrated multi-criteria decision making methodology for health technology assessment," *Eur. J. Ind. Eng.*, vol. 12, no. 4, pp. 504–534, 2018.
- [74] L. Afkham, F. Abdi, and A. Rashidi, "Evaluation of service quality by using fuzzy MCDM: a case study in Iranian health-care centers," *Manag. Sci. Lett.*, vol. 2, no. 1, pp. 291–300, 2012.
- [75] M. A. Karadayi and E. E. Karsak, "Fuzzy MCDM approach for health-care performance assessment in Istanbul," *WMSCI 2014- 18th World Multi-Conference Syst. Cybern. Informatics, Proc.*, vol. 2, no. 1, pp. 228–233, 2014.
- [76] H. Akdag, T. Kalayci, S. Karagöz, H. Zülfikar, and D. Giz, "The evaluation of hospital service quality by fuzzy MCDM," *Appl. Soft Comput. J.*, vol. 23, no. 1, pp. 239–248, 2014.
- [77] S. Jiang, Y. Li, P. Jiang, and L. Gan, "Evaluating the quality performance of reconstructive community public health service based on weighted TOPSIS method," *Adv. Intell. Syst. Comput.*, vol. 502, no.1, pp. 113–123, 2017.
- [78] S. P. Türkoğlu, "Avrupa ülkelerinin sağlık göstergelerinin TOPSIS yöntemi ile değerlendirilmesi," *AİBÜ Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, c. 18, s. 1, ss.65-78, 2018.
- [79] A. Kar, Ö. Özer ve K. Avcı, "Acil servislerin TOPSIS ve gri ilişkisel analiz yöntemleriyle değerlendirilmesi," *Akad. Araştırmalar ve Çalışmalar Derg.*, c. 10, s. 19, ss. 442–459, 2018.
- [80] A. Yiğit, "Türkiye’de eğitim ve araştırma hastaneleri performansının TOPSIS yöntemi ile analizi," *Ankara Sağlık Bilim. Derg.*, c. 5989, s. 2146, ss. 72–85, 2019.
- [81] İ. Yüksel, "Kamu hastanelerinde hekilere yönelik performansa dayalı ek ödeme model önerisi 1 proposal for performance based supplementary payment model for physicians in public hospitals 1," *Hacettepe Sağlık İdaresi Dergisi*, vol. 23, no. 3, pp. 387–410, 2020.
- [82] F. Baş, "Sağlık bakanlığına bağlı eğitim ve araştırma hastaneleri performanslarının çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılarak değerlendirilmesi," Doktora tezi, Sağlık Yönetimi Anabilim Dalı, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2021.
- [83] E. Grigoroudis, E. Orfanoudaki, and C. Zopounidis, "Strategic performance measurement in a healthcare organisation: a multiple criteria approach based on balanced scorecard," *Omega*, vol. 40, no. 1, pp. 104–119, 2012.
- [84] J. Bisbe and J. Barrubés, "The balanced scorecard as a management tool for assessing and monitoring strategy implementation in health care organizations," *Rev. Española Cardiol. (English Ed.)*, vol. 65, no. 10, pp. 919–927, 2012.

[85] Y. Chen, R. Friedman, and Tony Simons, "Development of balanced scorecard for healthcare using interpretive structural modeling and analytic network process," *Manag. Audit. J.*, vol. 28, no. 2, pp. 2–3, 2014.

[86] H. Rahimi, Z. Kavosi, P. Shojaei, and E. Kharazmi, "Key performance indicators in hospital based on balanced scorecard model," *J. Heal. Manag. Informatics*, vol. 4, no. 1, pp. 17–24, 2016.

[87] N. Ö. Doğan ve S. Gencan, "Bulanık analitik hiyerarşi prosesi temelli balanced scorecard yöntemiyle sağlık sektöründe stratejik önceliklerin belirlenmesi determining the strategic priorities in the healthcare sector using the fuzzy analytic hierarchy process based balanced scorecard methodology," *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, c. 21, s. 2, ss. 695–714, 2017.



Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

GEGE: Predicting Gene Essentiality with Graph Embeddings

 Halil Ibrahim KURU^a,  Yasin Ilkagan TEPELİ^b,  Oznur TASTAN^{b,*}

^a Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering, Bilkent University, Ankara, TURKEY

^b Faculty of Natural Sciences and Engineering, Sabanci University, Istanbul, TURKEY

* Corresponding author's e-mail address: otastan@sabanciuniv.edu

DOI: 10.29130/dubited.1028387

ABSTRACT

A gene is considered essential if its function is indispensable for the viability or reproductive success of a cell or an organism. Distinguishing essential genes from non-essential ones is a fundamental question in genetics, and it is key to understanding the minimal set of functional requirements of an organism. Knowledge of the set of essential genes is also crucial in drug discovery. Several reports in the literature show that the gene location in a protein-protein interaction network is correlated with the target gene's essentiality. Here, we ask whether the node embeddings of a protein-protein interaction (PPI) network can help predict gene essentiality. Our results on predicting human gene essentiality show that node embeddings alone can achieve up to 88% AUC score, which is better than using topological features to characterize gene properties and other previous work's results. We also show that, when combined with homology information across species, this performance reaches 89% AUC. Our work shows that node embeddings of a protein in the PPI network capture the network connectivity patterns of the proteins and improve the gene essentiality predictions.

Keywords: Graph representations, Node embeddings, Gene essentiality, Network topological features, Protein-protein interaction network

GEGE: Çizge Gömülümüleriyle Gen Esaslılığını Tahmin Etme

ÖZET

İşlevi, bir hücrenin veya organizmanın hayatta kalabilmesi veya üreme başarısı için vazgeçilmez olan genler, esaslı genler olarak kabul edilir. Esaslı genleri esaslı olmayanlardan ayırt etmek, bir organizmanın minimum fonksiyonel gereksinimlerinin anlaşılabilmesi için genetikte kilit bir sorudur. Esaslı genler küme bilgisi, ilaç tasarlanmasında da çok önemlidir. Literatürdeki, bir protein-protein etkileşim ağındaki gen konumunun, gen esaslılığı ile ilişkili olduğunu göstermiştir. Burada, bir protein-protein etkileşimi (PPI) ağının düğüm yerleştirmelerinin gen gerekliliğini tahmin etmeye yardımcı olup olamayacağını soruyoruz. İnsan geninin esaslılığını tahmin etme konusundaki sonuçlarımız, düğüm gömülümülerinin tek başına %88'e kadar AUC skoruna ulaşabileceğini göstermektedir. Bu skor, gen özelliklerini karakterize etmek için topolojik özellikleri kullanılan modellerin başarımından ve önceki çalışma sonuçlarından daha iyidir. Ayrıca, türler arası homoloji bilgisi ile birleştiğinde, bu performansın %89 AUC skoruna ulaştığını gösteriyoruz. Çalışmamız, PPI ağındaki bir proteinin düğüm gömülümülerinin, proteinlerin ağ bağlantı modellerini yakaladığını ve gen esaslılık tahminlerini geliştirdiğini gösteriyor.

I. INTRODUCTION

A gene is considered essential if its function is indispensable for the viability or reproductive success of a cell or an organism [1]. Identifying essential genes is critical for understanding the minimal functional requirements of an organism or a cell [2], [4]. The knowledge of essential genes also has practical significance for drug target identification. The essential genes of a pathogen constitute potential drug targets for infectious diseases [5], [6]. Similarly, a gene that is essential for a cancer cell but non-essential for a normal cell reveals a vulnerable point in cancer cells that can be targeted by drugs [7], [8].

Assessing the essentiality of a gene requires assessing the viability of the living system that entirely lacks that gene or in which the expression or function of that gene has been significantly compromised. There are small-scale experimental techniques for single gene knockouts [9]. To find all the essential genes in a cell requires disrupting the genes one at a time and assessing their individual effects on the target cell's viability. Single-gene knockout experiments [10], RNAi screens [11], and more recently CRISPR/Cas9 genome editing technologies [12] have been used for this purpose. While experimental methods provide powerful results, they are laborious, time-consuming, and costly. Also, the results are highly dependent on the experimental conditions [13]. Computational tools enable predictions that are not otherwise attainable through experimental studies and shed light on the question of what makes a gene essential.

The earliest gene essentiality methods transferred gene essentiality annotations from bacterial species by using homology information [3]. Later, as the list of essential genes accumulated for model organisms, machine learning approaches were used for predicting the gene essentiality. Diverse biological information compiled from experimental data or the properties of the genes can be used as features to predict gene essentiality. There exist various methods that make use of properties of the genes, such as gene sequence [14], [16], gene expressions [17], and functional annotation such as gene ontology [18].

With the availability of protein interaction data at a large scale, it is now possible to ask whether the positioning of a gene in the PPI has a relation to the essentiality of the gene coding that protein. Several studies in the literature report that topological network properties of a gene in the PPI network are related to gene essentiality [19], [27]. Towards this aim, centrality measures are explored. Among them, the local centrality quantifies the local connectivity patterns of a node, whereas betweenness centrality indicates whether a node is a key connector of different parts of the network. Early network analysis pointed out that there is a correlation between lethality and the degree of a node, where highly connected proteins in PPI networks tend to be essential [19]. Although others [28], [29] challenged this idea, several other studies that examined datasets in different organisms supported the original idea that proteins with high local centrality are correlated to gene essentiality [20], [22].

Hwang et al. [23] reported correlation with clustering coefficient, defined as the ratio of the number of edges connecting the neighbors of a node to the maximum number of possible edges among them. Other work reported that nodes with high betweenness centrality are likely to be essential [32], [33]. In the search to find the proper centrality measures related to gene essentiality, several other studies interrogated the relationship of gene essentiality with a series of centrality measures [24]. Additionally, studies in the literature have integrated the topological information with additional information to predict essential genes in a binary classification framework in a supervised learning setting [25], [27]. Another relevant work is ProtRank [28]. To arrive at a global topological measure for proteins in the PPI network, ProtRank uses Google's PageRank algorithm [29], which is based on random walks. ProtRank of a protein is computed by conducting random walks on the PPI network and

measuring the amount of time the random walker spends on the protein in the PPI network. In this work, the performance of the ProtRank measure is evaluated on the essential yeast genes by computing the ratio of the essential genes found in the top-k ranked genes when the ProtRank measure ranks genes. The author showed differences compared to local topological features such as degree and betweenness centrality.

In this work, we ask whether node embeddings learned in a deep learning framework can represent the topological properties of a protein in the PPI better than the network node properties and help discriminate essential genes from non-essential genes. For this purpose, we learned the node embeddings of the genes in the human PPI network. We used this low-dimensional representation of the genes as features to train a binary classifier. Our results show that the deep graph embedding methods help find good features representations instead of pre-selected topological features. Additionally, we show that information on gene conservation across species improves adds value to these predictions.

II. METHODS

A. GEGE FRAMEWORK

In this study, we set out to predict the essentiality of genes by formulating this problem as a classification task over the nodes of a protein-protein interaction (PPI) network. We denote this dataset as $D = \{\mathbf{x}_i, y_i\}_{i=1:N}$, where N is the number of examples, \mathbf{x}_i is a multi-dimensional numeric representation of the gene i and $y_i \in \{-1, 1\}$ is the class label for gene i . Here, 1 indicates the essential gene class and -1 indicates the non-essential gene class. The node classification task involves predicting the most probable label for the node.

The GEGE framework comprises two main steps: representing each gene with feature vectors based on node embeddings and building a classifier based on the learned representations of the genes. This feature vector can be augmented with additional information on the genes. Figure 1 summarizes this idea. In the following sections, we detail the methodology and data sources.

B. REPRESENTING GENES WITH NODE EMBEDDINGS

We represent the PPI network as a graph, $G = (V, E)$, where V is the set of vertices representing the genes coding for the proteins, and E denotes an edge between two such genes. The feature vector for a gene, \mathbf{x}_i , is created based on the node embeddings which we learn on G .

A graph embedding of node v returns a feature representation of this node in a d -dimensional space such that the local structures and the similarities between the nodes are conserved in this new feature space. This representation is learned based on the relationship of the nodes with each other; thus, the topology of the graph. In this representation, highly connected nodes belong to the same communities due to the homophily principle, and they are expected to be embedded closely. Additionally, the nodes that are not necessarily close in the network but have similar structural nodes (e.g., hubs) shall have similar embeddings. In short, these methods operate with homophily [34] and structural equivalence [35] principles.

We experiment with two different node embedding methods in the current study: DeepWalk [36] and node2vec [37]. Both methods derive an embedding based on the neighborhood of a node, wherein the neighborhood is based on random walks on a graph. They both aim to minimize the differences between the graph representation and the embedding representation. Random walks centered on a vertex v are used to derive a neighborhood of a given vertex v_i . In the literature, random walk approaches have been used for similarity measures and describing the local community information of a graph [38], [39]. On the other hand, using random walks to capture the local structures of a graph is a reasonable choice because it requires less computational power than the approaches that use the whole graph [36].

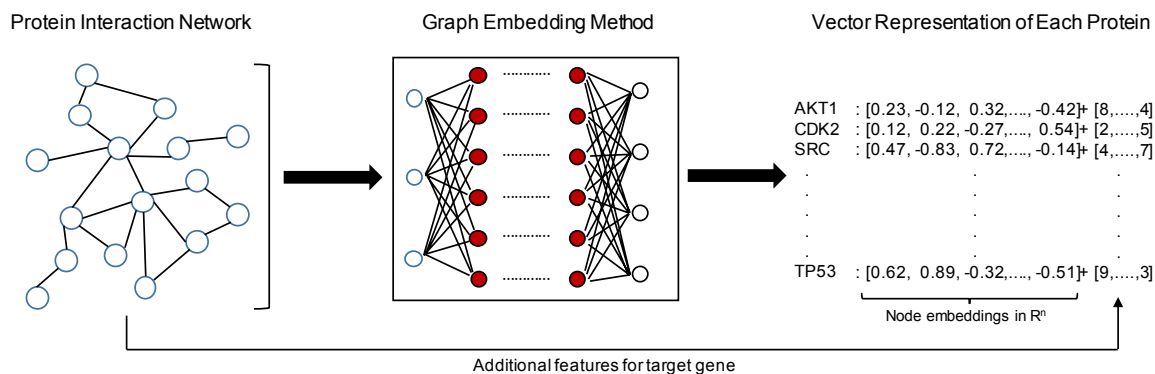


Figure 1. Schematic describing how the feature vectors are created based on node embeddings. Input is the PPI network, and the output is a latent low-dimensional representation of nodes in the network. Additional features about the genes can be concatenated to the node embedding vectors.

C. NETWORK TOPOLOGY MEASURES

An alternative to the PPI network representation is to use a set of network topology measures to describe each node. Several centrality measures are known to be correlated with gene essentiality [17], [19], [20], [23], [32], [33], [40]. In the current study, we select four mostly used topological features, which are closeness centrality, degree centrality, betweenness centrality, and clustering coefficient. We use the SNAP library [41] to calculate each of these topology metrics.

D. SUPERVISED CLASSIFICATION

After representing each gene with a low-dimensional feature vector, a Support Vector Machine (SVM) classifier is used in the second step of our framework. We use SVM because of its effectiveness in a variety of tasks. The SVM model parameters, embedding size of the node embeddings, the number of walks, walk length, p and q parameters are tuned via grid search strategy in 10-fold cross-validation. We report the area under the curve (AUC), F1, and average precision (AP) scores.

E. DATASET

E. 1. Gene Essentiality Data

The information of whether a gene is essential or not is obtained from [16]. The origin of the data is from the DEG (<http://tubic.tju.edu.cn/deg/>) database, which compiled datasets from three different studies [12, 42, 43]. Guo et al. [16] obtain 11 different gene essentiality sets along with corresponding cell lines. They mark a gene as positive (essential) if it is reported as essential in more than half of the cell lines. The final dataset contains 12,015 genes. Among these 12,015 genes, 1,516 of them are essential. More details on the criteria of deciding which genes are essential can be found in [16].

E. 2. Protein Interaction Data

The protein-protein interaction network is obtained from InbioMap, which is publicly available at <https://www.intomics.com/inbio/map.html>. InbioMap specifies a confidence score for each edge, which represents the support of the interaction in the literature. The interactions that have lower than 0.1 confidence cut-off are eliminated from the network to remove noisy edges. The remaining network includes 17,653 genes and 625,641 interactions between these genes. Among the 12,015 genes that have information on their gene essentiality, 10,579 are in the PPI network. Of the 10,579 genes that are present in the PPI network genes, 1,514 genes are essential, which constitute the positive class in our data, while the remaining 9,065 genes are not essential, and they constitute the negative class.

E. 3. Homology Information

Homology information is obtained from the HGNC Comparison of Orthology Predictions (HCOP) database (<https://www.genenames.org/cgi-bin/hcop>). The data contain homologous gene information of human genes with other 19 species.

II. RESULTS AND DISCUSSION

This section presents the results of predicting gene essentiality using a different representation of gene topology in the PPI network.

A. PREDICTIVE PERFORMANCE

In these experiments, we apply the node2vec and the DeepWalk algorithms to generate gene node embeddings on the PPI network. We compare these results with the alternate representation of different topological features. Additionally, we counted the number of organisms in which a gene is conserved for each human gene and used this as an additional feature.

Table 1 shows the best performances for different feature settings and when SVM is run with linear or RBF kernels. When features are derived from conventional topological features that describe the gene's connectivity pattern in the PPI network, the best result obtained with SVM using the RBF kernel is 0.831 AUC score. Adding the homology feature improves the results slightly up to 0.846. These results are surpassed by the models that use node2vec and DeepWalk embeddings to represent network nodes. Node2vec alone reaches 0.850 AUC, and when homology information is added, it can achieve 0.868 AUC. DeepWalk representation is the one that yields the highest performance metrics. The node embedding features obtained from DeepWalk results with a 0.874 AUC score and addition of the homology feature raise this to 0.884. These results also hold when models are compared with accuracy, F1, and average precision (Table 1).

One interesting observation is that using a non-linear kernel instead of a linear kernel yields different predictive performance gains in models trained with network topological features and models trained with graph embedding features. Comparing linear vs. RBF kernel results, we observe that the use of non-linear kernels improves the network topology-based methods' performance drastically. F1 score increases from 0.395 to 0.62, and similar increases are observed in other performance metrics (Table 1). In contrast, the gain in performance with a non-linear kernel for graph-based feature representation is modest. This may be related to the fact that graph embedding methods can extract relevant non-linear features during model training; as a result, there is no additional benefit obtained using a non-linear kernel. On the other hand, the network topology-based features cannot capture this non-linearity.

To assess the robustness of our approach, we evaluate the configuration of our best performance with 100 random bootstrap samples. We randomly split our dataset into a test (20%) and trained (80%) 100 times. Our best performance in 10-fold cross-validation produces 0.884 mean AUC, 0.687 F1, and 0.514 average precision (AP), and we use the same parameters with the configuration of these results in 100 random bootstrapped samples. This experiment finds 0.881 mean AUC, 0.683 mean F1, and 0.508 AP.

Table 1. Gene essentiality prediction performances when different features are input to the SVM classifier, and the kernel of choice is varied.

Embeddings	Kernel	ACC	AUC	F1	AP
DeepWalk	Linear	0.856	0.867	0.637	0.457
	RBF	0.871	0.874	0.661	0.483
DeepWalk + homology	Linear	0.875	0.883	0.672	0.497
	RBF	0.885	0.884	0.687	0.514
node2vec	Linear	0.856	0.840	0.588	0.405
	RBF	0.856	0.850	0.625	0.442
node2vec + homology	Linear	0.853	0.860	0.629	0.448
	RBF	0.880	0.868	0.669	0.491
Topological Features	Linear	0.584	0.736	0.395	0.244
	RBF	0.847	0.831	0.602	0.416
Topological Features + homology	Linear	0.802	0.824	0.553	0.371
	RBF	0.844	0.846	0.609	0.426
Guo et al. [16]	Linear	NA	0.845	NA	NA

These results are close to the 10-fold cross-validation results. Therefore, we claim that our framework is robust against test dataset selection.

Results with the additional homology feature reach 0.884 mean AUC, 0.687 mean F1, and 0.514 mean AP scores for DeepWalk embeddings with RBF kernel. These results are better than those reported in [16], who used the same gene essentiality dataset for their predictions and used nucleotide sequence features. The best performing model achieves 0.845 mean AUC in 5-fold cross-validation. Their 5-fold cross-validation results achieved a 0.885 mean AUC score with a feature selection. They applied a similar strategy to our bootstrap experiment. Therein, they randomly split the data into test and train with a 20% ratio and found 0.854 mean AUC across 100 samples. To sum up, our results indicate that node embeddings are highly predictive of gene essentiality.

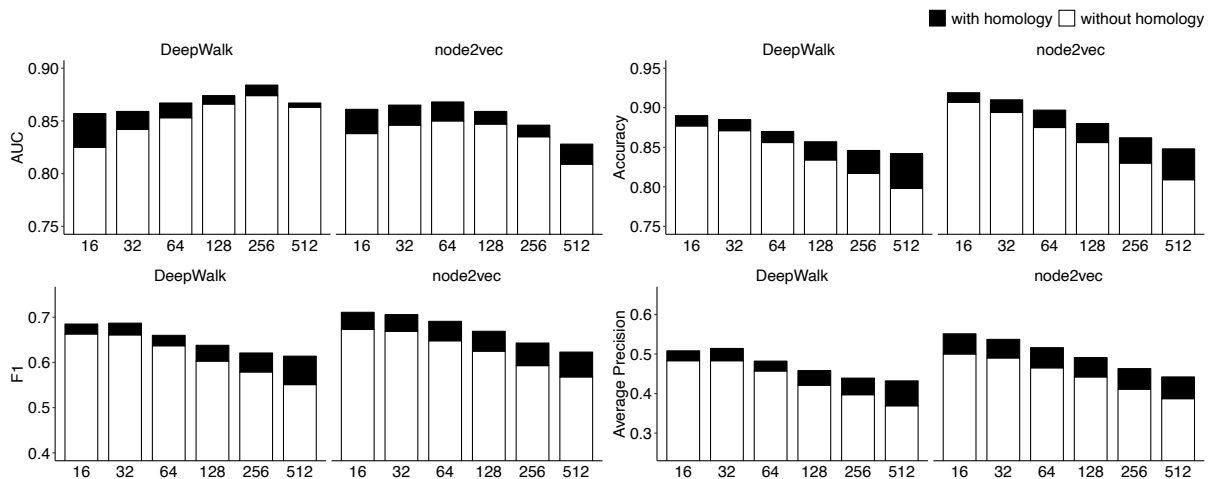


Figure 2. Performance change obtained when node2vec and DeepWalk methods are run with varying embedding sizes. The black portion of the bar indicates the performance gain due to the homology feature. F1, AUC, and Average Precision metrics are provided.

B. THE EFFECT OF THE EMBEDDING SIZES

Node embedding methods have a number of parameters to control the trade-off between overfitting and overgeneralization. The dimension of the embedding space is the most important parameter. Node embedding methods return a feature representation in R^d where d is the dimension of embedding. In this experiment, we explored the effect of the embedding size on the DeepWalk and node2vec performances. We varied the embedding sizes while we fixed the other parameters to their best values. Therefore, we show the effect of embedding size on average performance under 10-fold cross-validation. Figure 2 shows how the performance changes when different embedding sizes are used. We find the best result as 0.884 mean AUC score among the 10-folds. The patterns from the figures reveal that DeepWalk embeddings perform better than node2vec embeddings in the adopted settings. For the kernel parameter of SVM, the RBF kernel gives about 1 % higher performance compared to the linear kernel. We find the best AUC score for the linear kernel with DeepWalk embeddings as 0.867 and 0.874 mean AUC score for the RBF kernel when the embedding size d is set to 256. The node2vec embeddings give their best performance when the embedding size d is set to 64 with RBF SVM, and it leads to 0.85 AUC score while the best performance with linear kernel achieves 0.84 AUC score. Nearly in all embedding sizes, DeepWalk embeddings consistently outperform node2vec embeddings.

C. PERFORMANCE WITH ADDITIONAL HOMOLOG GENES

We calculate the number of organisms that maintain genes homologous with the target gene, and we call this feature the homology feature. We add this feature to our graph embeddings for each node and apply the same procedure for assessing the essentiality. As shown in Table 1 and further evidenced in Figure 2, where we vary the embedding sizes and summarize the best overall results, homology brings complementary information and improves the results by about 2% in accuracy in all configurations. The DeepWalk algorithm's best performance with RBF SVM improves from 0.874 to 0.884, and the best performance with Linear SVM improves from 0.867 to 0.883. Similarly, node2vec's best performance with the RBF kernel improves from 0.850 to 0.868, while the best performance with the linear kernel improves from 0.84 to 0.86.

D. EXPLORING CONSISTENTLY MISCLASSIFIED AS ESSENTIAL

We examine the genes labeled as non-essential in the dataset but are consistently predicted as essential genes in our repeated bootstrap experiments. These constitute the false positive predictions of the classifier. As the experimental datasets are incomplete, these genes could indeed be essential genes in reality. We calculate the counts of false positive predictions in 100 bootstrap experiments for each gene. We refer to this fraction as the false positive rate. We examine the genes whose false positive rates are greater than 0.50. Among these genes, we find that some of the genes are actually reported as conditionally essential genes. In a given context, the gene is important for the organism's viability. For example, SERPINE1, AIMP1, FIGF, RPS6KA6, and PDK4 genes are listed as non-essential in our benchmark dataset. However, we find that [44] reports that these genes as essential. A study in [45] labels the DAZ2 gene as essential, while [46] labels KIAA0408 and ZCCHC13 genes as essential. These outcomes show that relations among the protein-protein interaction network may provide potential information about the essentiality of a gene. Current non-essential genes may be labeled as essential in future experiments, and interactions between proteins may lead to discoveries of new essential genes.

IV. CONCLUSION

In this study, we propose a framework called GEGER, which predicts gene essentiality based on node embeddings of the genes in the PPI. We learn a latent lower-dimensional representation of the nodes in the PPI network with two different graph embedding methods, DeepWalk [36] and node2vec [37]. By applying machine learning algorithms to this new representation of the genes, we show that the gene essentiality can be predicted with high success. We compare our predictions with a previously reported work that reports results on the same dataset, GEGER, which overperforms this method by 4%. We also

compare our results to the alternative of representing each node with topological node features. Graph embeddings achieve significant improvements in all settings.

In our experiments, when compared to node2vec, DeepWalk embeddings achieve the best performance, but their results are very close. The framework also allows for the addition of other gene features. When we augment the node embeddings with homology information, we observe performance improvements in all settings. We perform a robustness analysis with 100 random bootstrap samples, which shows that the results are not affected by the selection of random test genes. We also investigate the genes whose true labels are in the benchmark dataset but are repeatedly predicted as essential genes in the 100 bootstrap samples. Some of these genes are reported to be conditionally essential genes; they can be conditional depending on the context. This work can be extended in different directions: (i) The gene essentiality predictions can be tested for other organisms, and (ii) other relevant features, in addition to homology information, can be incorporated into this framework.

ACKNOWLEDGEMENTS: Halil Ibrahim Kuru acknowledges Bilkent University for department fellowship. Yasin İlkağan Tepeli acknowledges TUBITAK-BİDEB for the 2210-A scholarship program.

V. REFERENCES

- [1] G. Rancati, J. Moffat, A. Typas, N. Pavelka, “Emerging and evolving concepts in gene essentiality”, *Nature Reviews Genetics*, vol. 19, no.1, pp. 34, 2018.
- [2] M. Itaya, “An estimation of minimal genome size required for life”, *FEBS Letters*, vol. 362, no.3, pp. 257–60, 1995.
- [3] A. R. Mushegian, E.V. Koonin, “A minimal gene set for cellular life derived by comparison of complete bacterial genomes”, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 93, no.19, pp. 10268–73, 1996.
- [4] E.V. Koonin, “How many genes can make a cell: the minimal-gene-set concept”, *Annual Review of Genomics and Human Genetics*, vol. 1, no. 1, pp. 99–116, 2000.
- [5] M.Y. Galperin, E.V. Koonin, “Searching for drug targets in microbial genomes”, *Current Opinion in Biotechnology*, vol. 10, no. 6, pp. 571–78, 1999.
- [6] A.F. Chalker, R.D. Lunsford, “Rational identification of new antibacterial drug targets that are essential for viability using a genomics-based approach”, *Pharmacology & Therapeutics*, vol. 95, no. 1, pp. 1–20, 2002.
- [7] H. Farmer, N. McCabe, C.J. Lord, A.N. Tutt, D.A. Johnson, T.B. Richardson, et al. “Targeting the DNA repair defect in BRCA mutant cells as a therapeutic strategy”, *Nature*, vol. 434, no. 7035, pp. 917, 2005.
- [8] N.J. O’Neil, M.L. Bailey, P. Hieter, “Synthetic lethality and cancer”, *Nature Reviews Genetics*, vol. 18, pp. 10, pp. 613, 2017.
- [9] A. Cho, N. Haruyama, A.B. Kulkarni, “Generation of transgenic mice”, *Current Protocols in Cell Biology*, vol. 42, no. 1, chapter. 19, unit. 11, 2009.
- [10] G. Giaever, A.M. Chu, L. Ni, C. Connelly, L. Riles, S. V’eronneau, et al. “Functional profiling of the *Saccharomyces cerevisiae* genome”, *Nature*, vol. 418, no. 6896, pp. 387–91, 2002.

- [11] J.M. Silva, K. Marran, J.S. Parker, J. Silva, M. Golding, M.R. Schlabach, et al. “Profiling essential genes in human mammary cells by multiplex RNAi screening”, *Science*, vol. 319, no. 5863, pp. 617–20, 2008.
- [12] T. Wang, K. Birsoy, N.W. Hughes, K.M. Krupczak, Y. Post, J.J. Wei, et al. “Identification and characterization of essential genes in the human genome”, *Science*, vol. 350, no. 6264, pp. 1096–101, 2015.
- [13] M.A. D’Elia, M.P. Pereira, E.D. Brown, “Are essential genes really essential?”, *Trends in Microbiology*, vol. 17, no. 10, pp. 433–8, 2009.
- [14] L.W. Ning, H. Lin, H. Ding, J. Huang, N.N.M. Rao, F.B. Guo, “Predicting bacterial essential genes using only sequence composition information”, *Genetics and Molecular Research: GMR*, vol. 13, no. 2, pp. 4564–72, 2014.
- [15] W.C. Wei, L.W. Ning, Y.N. Ye, F.B. Guo. “Geptop: A gene essentiality prediction tool for sequenced bacterial genomes based on orthology and phylogeny”, *PLoS One*; 2013.
- [16] F.B. Guo, C. Dong, H.L. Hua, S. Liu, H. Luo, H.W. Zhang, et al. “Accurate prediction of human essential genes using only nucleotide composition and association information”, *Bioinformatics*, 33 12:1758–64, 2017.
- [17] J. Deng, L. Deng, S. Su, M. Zhang, X. Lin, L. Wei, et al. “Investigating the predictability of essential genes across distantly related organisms using an integrative approach”, *Nucleic Acids Research*, vol. 39. no. 3, pp. 795-807, 2011.
- [18] L. Chen, Y.H. Zhang, S. Wang, Y. Zhang, T. Huang, Y.D. Cai, “Prediction and analysis of essential genes using the enrichments of gene ontology and KEGG pathways”, *PLoS One*, vol. 12, no. 9, e0184129, 2017.
- [19] H. Jeong, S.P. Mason, A.L. Barabasi, Z.N. Oltvai, “Lethality and centrality in protein networks”, *Nature*, vol. 411, no. 6833, pp. 41-2, 2001.
- [20] M.W. Hahn, A.D. Kern, “Comparative genomics of centrality and essentiality in three eukaryotic protein-interaction networks”, *Molecular Biology and Evolution*, vol. 22, no. 4, pp. 803–6, 2004.
- [21] N.N. Batada, L.D. Hurst, M. Tyers, “Evolutionary and physiological importance of hub proteins”, *PLoS Computational Biology*, vol. 2, no. 7, e88, 2006.
- [22] E. Zotenko, J. Mestre, D.P. O’Leary, T.M. Przytycka, “Why do hubs in the yeast protein interaction network tend to be essential: reexamining the connection between the network topology and essentiality”, *PLoS Computational Biology*, vol. 4, no. 8, e1000140, 2008.
- [23] Y.C. Hwang, C.C. Lin, J.Y. Chang, H. Mori, H. F. Juan, H.C. Huang, “Predicting essential genes based on network and sequence analysis”, *Molecular BioSystems*, vol. 5, no.12, pp. 1672–78, 2009.
- [24] J. Wang, M. Li, H. Wang, Y. Pan, “Identification of essential proteins based on edge clustering coefficient”, *IEEE/ACM Transactions on Computational Biology and Bioinformatics (TCBB)*, vol. 9, no. 4, pp. 1070–80, 2012.
- [25] M.L. Acencio, N. Lemke, “Towards the prediction of essential genes by integration of network topology, cellular localization and biological process information”, *BMC Bioinformatics*, vol. 10, no. 1, pp. 290, 2009.

- [26] J. Cheng, W. Wu, Y. Zhang, X. Li, X. Jiang, G. Wei, et al. “A new computational strategy for predicting essential genes”, *BMC Genomics*, vol. 14, no. 910, 2013.
- [27] M.C. Palumbo, A. Colosimo, A. Giuliani, L. Farina, “Functional essentiality from topology features in metabolic networks: a case study in yeast”, *FEBS Letters*, vol. 579, no. 21, pp. 4642-6, 2005.
- [28] T. Can, "ProtRank: A better measure for protein essentiality," in *Proceedings of the 3rd International Symposium on Health Informatics and Bioinformatics (HIBIT'08)*, Istanbul, May 2008.
- [29] L. Page, S. Brin, R. Motwani and T. Winograd, “The Pagerank Citation Ranking: Bringing Order to the Web,” *Technical Report, Stanford University, Stanford*, 1998.
- [30] S. Coulomb, M. Bauer, D. Bernard, M.C. Marsolier-Kergoat, “Gene essentiality and the topology of protein interaction networks”, *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, vol. 272, no. 1573, pp. 1721–1725, 2005.
- [31] X. He, J. Zhang, “Why do hubs tend to be essential in protein networks?”, *PLoS Genetics*, vol. no. 6, e88, 2006.
- [32] H. Yu, P.M. Kim, E. Sprecher, V. Trifonov, M. Gerstein, “The importance of bottlenecks in protein networks: correlation with gene essentiality and expression dynamics”, *PLoS Computational Biology*, vol. 3, no. 4, e59, 2007.
- [33] M.P. Joy, A. Brock, D.E. Ingber, S. Huang, “High-betweenness proteins in the yeast protein interaction network”, *BioMed Research International*, vol. 2005, no. 2, pp. 96–103, 2005.
- [34] M. McPherson, L. Smith-Lovin, J.M. Cook, “Birds of a feather: Homophily in social networks”, *Annual Review of Sociology*, vol. 27, 1, 415–44, 2001.
- [35] F. Lorrain, H.C. White, “Structural equivalence of individuals in social networks”, *The Journal of Mathematical Sociology*, vol. 1, no. 1, pp. 49–80, 1971.
- [36] B. Perozzi, R. Al-Rfou, S. Skiena, “DeepWalk: Online Learning of Social Representations”, *KDD: Proceedings International Conference on Knowledge Discovery & Data Mining*, pp. 701–10, 2014.
- [37] A. Grover, J. Leskovec, “node2vec: Scalable Feature Learning for Networks”, *KDD: Proceedings International Conference on Knowledge Discovery & Data Mining*, pp.855–864, 2016.
- [38] R. Andersen, F. Chung, K. Lang, “Local graph partitioning using PageRank vectors”, *IEEE*, pp. 475–86, 2006.
- [39] F. Fouss, A. Pirotte, J.M. Renders, M. Saerens, “Random-walk computation of similarities between nodes of a graph with application to collaborative recommendation”, *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, vol. 19, no. 3, pp. 355–69, 2007.
- [40] Y. Chen, D. Xu. “Understanding protein dispensability through machine-learning analysis of high-throughput data”, *Bioinformatics*, vol. 21, no. 5, pp. 575–81, 2004.
- [41] J. Leskovec, R. Soric, “SNAP: A general-purpose network analysis and graph-mining library”, *ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology (TIST)*, vol. 8, no. 1, pp. 1, 2016.


- [42] T. Hart, M. Chandrashekhar, M. Aregger, Z. Steinhart, K.R. Brown, G. MacLeod, et al. “High-resolution CRISPR screens reveal fitness genes and genotype-specific cancer liabilities”, *Cell*, vol. 163, no. 6, pp. 1515–26, 2015.
- [43] V.A. Blomen, P. Majek, L.T. Jae, J.W. Bigenzahn, J. Nieuwenhuis, J. Staring, et al. “Gene essentiality and synthetic lethality in haploid human cells”, *Science*, vol. 350, no. 6264, pp.1092–6. 2015.
- [44] J.M. Silva, K. Marran, J.S. Parker, J. Silva, M. Golding, M.R. Schlabach, et al. “Profiling essential genes in human mammary cells by multiplex RNAi screening”, *Science*, vol. 319, no. 5863, pp. 617–20, 2008.
- [45] R. Marcotte, K.R. Brown, F. Suarez, A. Sayad, K. Karamboulas, P.M. Krzyzanowski et al. “Essential gene profiles in breast, pancreatic, and ovarian cancer cells”, *Cancer Discovery*, vol. 2, no. 2, pp. 172–89, 2012.
- [46] J. Luo, M.J. Emanuele, D. Li, C.J. Creighton, M.R. Schlabach, T. Westbrook, et al. “A Genome-wide RNAi screen identifies multiple synthetic lethal interactions with the Ras oncogene”, *Cell*, vol. 137, no. 5, pp. 835–48, 2009.



Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

Comparison Analysis of Machine Learning Algorithms for Steel Plate Fault Detection

 Beyda TAŞAR^{a,*}

^a Department of Mechatronics, Faculty of Engineering, Firat University, Elazig, TURKEY

* Corresponding author's e-mail address: btasar@firat.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1058467

ABSTRACT

Metals are one of the most important building materials of modern times. Especially the production and metalworking process of flat metal sheets is very sensitive. Control of the manufacturing process affects not only the intermediate products but also the quality of final products. Early detection of defects on steel plate surfaces is an important task in industrial production. Process control and mistake detection have traditionally been done manually by experts. However, this method is not proper in terms of both time and cost. With the industrial revolution IR 4.0, machine learning (ML) techniques have been developed to solve fault detection problems in products. This study focuses on developing basic machine learning methods for the detection of six different error classes that may occur during production on steel surfaces. Five standard ML models: LD, KNN, DT, SVM, RF, and deep learning (DNN) model: one-dimensional DNN was developed for the classification problem. The UCI steel plate deformation data set was used as the experimental data set. Five performance criteria: Accuracy, Sensitivity, Specificity, Precision, and F1 value were used to determine the success of the methods. The success rates of LD, KNN, DT, SVM, RF and DNN classification methods were 90.136%, 91.7880%, 93.013%, 93.287%, 95.479%, 96.986%, respectively. The results show the significant impact of the machine learning approach on the steel plate fault diagnosis problem.

Keywords: Steel Plate Defect, Fault Detection, Machine Learning

Çelik Levha Arıza Tespiti için Makine Öğrenimi Algoritmalarının Karşılaştırmalı Analizi

ÖZET

Metaller, modern zamanların en önemli yapı malzemelerinden biridir. Özellikle yassı metal sacın üretim ve işleme süreci oldukça hassastır. Üretim sürecinin kontrolü sadece ara ürünlerin değil, aynı zamanda son ürünlerinde kalitesini etkiler. Çelik levha yüzeylerinde oluşan hataların erken tespiti, endüstriyel üretimde önemli bir görevdir. Geleneksel olarak süreç kontrolü ve hata tespiti uzman kişiler tarafından manuel olarak yapılmaktadır. Ancak bu yöntem hem zaman hem de maliyet açısından uygun değildir. Sanayi devrimi IR 4.0 ile ürünlerde hata tespit problemlerini çözmek için makine öğrenimi (ML) teknikleri geliştirilmiştir. Bu çalışma, çelik yüzeyde üretim esnasında oluşabilecek altı farklı hata sınıfının tespiti için temel makine öğrenme yöntemleri geliştirmeye odaklanmıştır. Sınıflandırma problemi için beş standart ML modeli: LD, KNN, DT, SVM, RF ve bir derin öğrenme (DNN) modeli: tek boyutlu DNN geliştirilmiştir. Deneysel veri seti olarak UCI çelik plaka deformasyon veri seti kullanılmıştır. Yöntemlerin başarısını tespit etmek için beş performans kriteri: Doğruluk, Duyarlılık, Özgüllük, Kesinlik, F1 değeri kullanılmıştır. LD, KNN, DT, SVM, RF ve DNN sınıflandırma yöntemlerinin başarı oranları sırasıyla 90.136%, 91.780%, 93.013%, 93.287%, 95.479%, 96.986% olarak elde edilmiştir. Sonuçlar, makina öğrenmesi yaklaşımının çelik levha arıza teşhis problemindeki önemli etkisini gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çelik Levha Arızası, Arıza Tespiti, Makine Öğrenimi

I. INTRODUCTION

A. BACKGROUND

Steel is one of the most widely used and most important buildings/industrial producing materials. However, flat steel sheet production and processing are very difficult and demanding. In many steps, from casting to drawing, pressing, cutting, and folding into rolls, machines come into contact with the steel surface, which can cause some deformations on the steel plate surface. These defects on the steel surface not only reduce the production quality but also affect the corrosion and wear resistance of the product during the use phase [1]. Detection of defects and malfunctions in metal materials is an important research topic in materials science [2], [3]. Early detection of manufacturing defects and malfunctions is an important task in industrial production and can save time and money [4], [5]. Traditional methods have been used for many years to detect errors such as pastry, Z-scratch, K-scratch, stains, and pollution, which are some of the defects that may occur in steel plates during production. The experts would manually examine the plates according to the characteristics of the product to be released and create a malfunction report [6], [7]. However, this method is both time-consuming and costly, as it is possible that defects could be overlooked [7].

With the Industrial Revolution (IR) 4.0, digital transformation has taken place and computerized support software based on image processing has been used in fault diagnosis and quality control stages, as in many areas (robotics, intelligent systems, human-computer interaction, and additive manufacturing, etc.) [8], [9]. Thanks to computer vision and automatic fault detection systems, the product can be analyzed quickly at every stage on the production line, and even the smallest defects can be detected with fault diagnosis algorithms. [10]. Error detection algorithms are basically based on data mining techniques [11]. It uses historical fault databases to develop algorithms, which can detect surface errors and classify them by type. However, variations of defects on steel surfaces (pastry, Z-Scratch, K-Scratch, Stains, etc.) are also most variable, making it difficult to develop high-performance classification algorithms. Researchers continue to work to develop software that will provide high performance on small datasets.

This study focuses on the development of feature selection and machine learning algorithms for the detection of six surface defects in steel plates. LD, KNN, DT, SVM, RF, and DNN methods were used for classification. The performances of the classifiers were compared by calculating five performance evaluation parameters: Accuracy, Sensitivity, Specificity, Precision, and F1 score.

B. RELATED WORKS

Halawani [1] used the Random Subspace and AdaBoost method, one of the Decision Tree (DT) ensembles, for the estimation of steel plate errors and achieved a success rate of over 80%. It also showed that removing unimportant features from datasets improves the performance of the classifier. Abdullahi et al. [4] used ML, LR, NB, and SVM models for the classification problem of steel surface deformations. And they tested the success of their method with three criteria. These are accuracy, precision, and recall values. They achieved the highest success with the Logistic regression (LR) model and reported an accuracy rate of 94.5% and a precision score of 0.756. Nkonyana et al. [5] in their studies, made the fault classification of real steel surface data obtained from the industry environment by using RF, ANN, and SVM methods. They used 27 features to detect seven different surface defects and presented the results as a confusion matrix. They reported that the RF model was more successful than the other two models. They achieved the accuracy of 0.778 with RF. Zhao et al. [12] proposed a back propagation neural network (BPNN) to classify steel plate faults. Also, they analyzed the effect of eliminating outliers with the LOF method. They achieved 94.57% accuracy rate using LOF+BPNN. Kharal et al. [13], performed the classification of faults on steel surfaces by using the optimized RF and LR models. With these methods, they achieved success of 94.18% and 89.13%, respectively. Tian et al. [14] used the SVM method for the classification problem of seven types of failures of steel surfaces. They used GA, GS and PSO optimization methods in their studies and stated that they reached

a maximum classification accuracy of 94.6%, 95.2% and 88% with each method. They showed that the GS method was more effective than GA and PSO. Jain et al. [15] developed a predictive analysis method using data mining. In their study, they used decision tree, neural network model and linear regression classifiers. They reported that the decision tree model produced higher accuracy. With DT, NN, LR models, 94.38%, 83.87% and 72.64% classification success were obtained, respectively. Chen [16] used a set of classical machine learning algorithms based on decision trees (Decision Tree, Adaboosting, Bagging, Random Forest). They used 10-fold cross-validation rate in analysis. The used dataset includes 6 different types of steel plate defects Pastry, Z_Scratch, K_Scratch, Stains, Dirtiness, Bumps. It is reported that the bagging algorithm outperformed other methods and achieved 96.30% and 90% accuracy in the training and test set, respectively. Jui-Sheng Chou et al. [17] combined five methods. These were firefly algorithm (FA), metaheuristic intelligence, decomposition approaches, one-to-one (OAO) method and least squares support vector machine (LSSVM) methods. With this method, they performed multi-class error detection in steel plates with an accuracy of 91.085%. Mohamed Gamal et al. [18] multilayer perceptron (MLP), Recurrent Neural Networks (RNN), Decision Trees, Random Forest (RF), k-Nearest Neighbor (KNN) Support Vector Machine (SVM), Naive, Bayes and Logistic Regression (LR) methods were used to detect anomaly problem in steel plate production. They reported that they achieved the highest classification success with the DT method with 91.14%.

II. MATERIAL AND METHOD

A. STEEL FAULT DATASET

In this study, the "Faulty Steel Plates" dataset shared with the researchers in the Kaggle and UCI Machine Learning dataset bank was used to determine the type of surface defects in stainless steel plates. This dataset was obtained from the studies of the Semeion Research Sciences Center. The dataset contains the numerical values of 27 features that express the geometric shape and outline of the surface defects. Data for the classification of seven defects on steel plates are not labeled. The class set is in Table 1 and the feature set is summarized in Table 2 [19].

Table 1. Faults class and account of subject [19].

Fault Class	Pastry	Z_Scratch	K_Scratch	Stains	Dirtiness	Bumps	Common Fault
Data Number of Class	158	190	391	72	55	402	673

Table 2. Features in Sakar's dataset [19].

Features No	Feature	Features No	Feature
1	X Minimum	15	Edges Index
2	X Maximum	16	Empty Index
3	Y Minimum	17	Square Index
4	Y Maximum	18	OutsideXIndex
5	Pixels Areas	19	EdgesXIndex
6	X Perimeter	20	EdgesYIndex
7	Y Perimeter	21	Outside Global Index
8	Sum of Luminosity	22	LogOfAreas
9	Minimum of Luminosity	23	LogXIndex
10	Maximum of Luminosity	24	LogYIndex
11	Length of Conveyer	25	Orientation Index
12	Type Of Steel A300	26	Luminosity Index
13	Type Of Steel A400	27	Sigmoid Of Areas
14	Steel Plate Thickness		

After the analyzing dataset, it was seen that the number of data in each class was numerically out of proportion (Table 1). And also, it has been stated that fault class 7 is not a specific type of fault in the dataset description file. It is a combination of many different faults from fault classes 1 to 6. For this reason, it is difficult to select examples of class 7 (a common fault) from other types of faults. In addition, the examples in class 7 faults do not share certain characteristics. Since some of the samples in class 7 fault have similar characteristics to the samples from other classes, it reduces the classification success. For this reason, in some studies in the literature, class 7 (common fault) studies were excluded to increase the classification success [14]. Similarly, class 7 data (a common fault) was left out within the scope of this study. After the analyzing dataset, it was seen that the dataset contains outlier values. The boxplot provides a visualization of the statistics for the four features(Figure1). The bottom and top of each rectangular box represent the border of the 25th and 75th percentiles of the data for that sample, respectively, and the data in this range in the rate. The red line in the middle of the box is the median value of that feature. The dashes at the top and bottom of the box and the horizontal line at the end represent the normally distributed maximum and minimum values of the data. The red '+' symbols outside this horizontal line indicate the outlier values. The outlier values seen in Figure 1 were excluded from the data set as they would reduce the classification success. But any feature selection method didn't use, all features in the dataset were given as input to the classification algorithm.

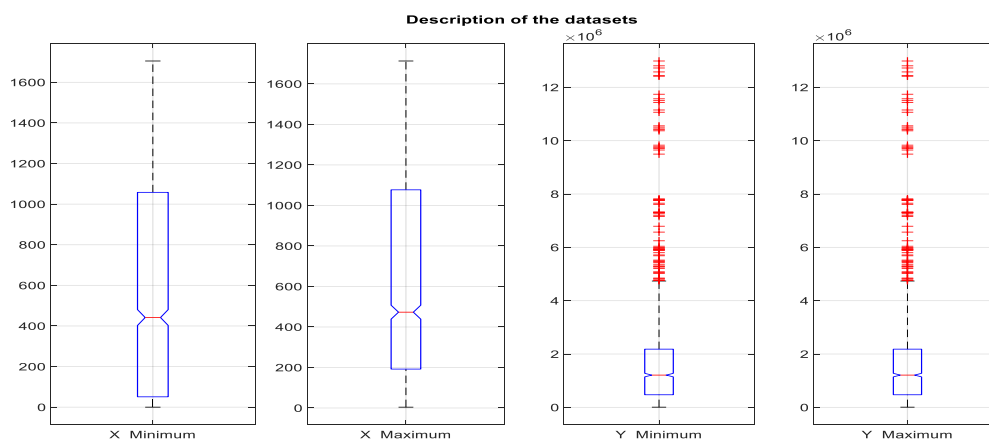


Figure 1. Description of X_{min} , X_{max} , Y_{min} , Y_{max} values, and outliers.

The balance value calculated with the help of Equation 1, considering the number of elements in the classes of the original data set, is 12,236. C_i expression in Equation (1) represents the decision class in the data set. $Max_i\{|C_i|\}$ and $Min_i\{|C_i|\}$ expressions represent the classes with the most and least tags among the examples of the decision class [20, 21]. After excluding class 7 from the original dataset and removing outliers with reference to the first four features in the first six classes, the calculated balance value of the remaining dataset is 7.21 (Table 3). Calculated ρ value is greater than 1. This situation is not ideal, but the Dirtiness class has very few data compared to other classes. Therefore, it is necessary to make the data set very small in order to reach equilibrium level 1. This was not preferred because it would negatively affect training success.

$$Balance\ Level\ (\rho) = \frac{Max_i\{|C_i|\}}{Min_i\{|C_i|\}} \quad (1)$$

Table 3. Faults class and account of subject.

Dataset	Number of Dataset Attributes	Number of Samples	Number of Classes	Balance Level
Original dataset	27	1650	7	12.236
Dropout outlier and balanced dataset	27	730	6	7.21

B. CLASSIFICATION METHODS

Support Vector Machines (SVMs) are learning machines that use the inductive principle of Structural Risk Minimization (SRM) to achieve a high level of generalization over a small number of learning patterns. SVM is an effective learning method for identifying patterns in complex data sets that are difficult to evaluate [22]. The support vector machine algorithm seeks a hyperplane in an N-dimensional space (N — the number of features) that clearly classifies the data points. There are numerous possible hyperplanes that could be used to separate the classes of data points. The goal is to find planes with the greatest margin, that is, the greatest distance between data points in each class [22].

Decision Tree (DT) is a type of supervised machine learning in which data is continuously split based on a specific parameter. Two entities can be used to explain the tree: decision nodes and leaves. Decision trees are one of the most extensively used methods in classification models. Because it is a simpler technique to configure and comprehend, gives model transparency, and has a visual presentation [23].

K-Nearest Neighborhood (KNN) The K-Nearest Neighbor (KNN) method is a non-parametric classification algorithm. The KNN model is easy as it is based on basic mathematical foundations. And it is widely used in many industries. The basic principle is based on the assumption that the class of an unknown variable will be the same as that of its nearest neighbors. The average of the current states of the k nearest elements in the training dataset is used to calculate the prediction result. The number of neighbors is indicated by the letter "k" in the method name. The k number is very important when it comes to determining the optimum categorization or estimation. It can use trial-and-error or cross-validation approaches to choose the correct k number [24]. The class of data is determined by averaging the k data points calculated as the closest distance of the training set. The threshold value is calculated before the found value is interpreted.

Linear Discriminant (LD) is to define a relationship between a categorical dependent variable and more than one independent variable. Two-group problems are relatively easy in LD analysis. A linear discriminant function passing through the means of the two groups is defined to distinguish the subjects between the two groups. When there are more than two groups, the number of groups minus one function definition is made for the classification problem. Linear discriminant analysis is evaluated separately for each of the groups. Explanatory variables are assumed to have a normal distribution with equal covariance matrices. The estimated coefficient for an independent variable in each case is multiplied by the event's score on that variable, and these results are added to the constant. The result gives the discriminant score for the condition [4].

Random Forest - Boosted Tree (RF) The RF model is a method of creating a decision ensemble (forest) consisting of multiple decision trees. The RF model is a combination of hundreds of decision trees, and to obtain a comprehensive result, the decision results from all trees are evaluated with a majority voting method to produce the final result of the decision tree [13].

A one-dimensional Deep Neural Network (DNN) model was created for the classification of the steel fault feature dataset. The network consists of 7 layers in total. The input layer is the layer where selected steel fault features are entered. Data were normalized using Z-score normalization in the input layer. Next, a fully connected layer with output size 50 followed by a batch normalization layer and a ReLU layer was added. The batch normalization layer stabilizes the learning process and significantly decreases the number of training cycles required to form deep networks [25]. For classification, another fully connected layer with an output size corresponding to the number of included classes 6 is added to the network. And finally, the network is completed with one softmax layer and one classification layer.

Table 4. Algorithm parameters that are employed in the suggested method's classification algorithms.

DT	LD
Model Type: Medium Tree Max. number of split: 20 Split Criterion: Gini's diversity Surrogate: off	Model Type: Linear Discriminant Covariance structure: Full
SVM	RF
Type: Linear Kernel Function: Polynomial Polynomial Order: 3 Kernel Scale: Auto Box Constraint Level : 1	Number of neurons in the ith layer :100 Activation function: ReLu The solver weight optimization: Adam Penalty parameter: 0.0001 Batch size :200 Output Function: Majority Voting
KNN	DNN
Type: Fine Distance: City block Number of Neighbors: 1 Distance Weight: Equal Standardize: True	Feature Input Layer(numFeatures,'Normalization', 'zscore') Fully Connected Layer :50 Batch Normalization Layer Relu Layer Fully Connected Layer :numClass Softmax Layer Classification Layer

D. PERFORMANCE EVALUATION METHODS (PEM)

To compare the performance of machine learning algorithms, a variety of standard evaluation methodologies such as precision, sensitivity, accuracy, and F1 score were used. The number of successfully predicted cases is known as true positives (TP), whereas the number of incorrectly predicted instances is known as false negatives (FN). True negatives (TN) are the number of negative cases that were successfully predicted, while false positives (FP) are the number of negative instances that were wrongly predicted. And also, we use the confusion matrix to show how our methods predict our data. The confusion matrix is a numerical table used to demonstrate the classification model output effects on the test data known from the goal labels. Performance evaluation metrics used in this study is given in Table 5 [23].

Table 5. Lookup table of performance evaluation metrics used in this study.

Performance Metric	Acronym	Equation	
Positive Predictive Value	PPV Precision	$\frac{TP}{TP + FP}$	The ratio of positive samples that are predicted correctly out of all the samples predicted to be positive.
Negative Predictive Value	NPV	$\frac{TN}{TN + FN}$	The ratio of negative samples that are predicted correctly out of all the samples that are predicted to be negative.
True Positive Rate	TPR Sensitivity	$\frac{TP}{TP + FN}$	The ratio of TP outcomes to the total number of actual positive samples.
True Negative Rate	TNR Specificity	$\frac{TN}{TN + FP}$	The ratio of TP outcomes to the total number of actual negative samples.
Single class Accuracy	ACC	$\frac{TP}{TP + FN}$	The ratio of TP outcomes to the total number of actual positive samples.
Multi class Accuracy	ACC	$\frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN}$	The ratio of the number of correct predictions made by the method out of the total number of predictions made.
F1-Score	F1	$2x \frac{PPV * TPR}{PPV + TPR}$	The weighted average between the PPV and TPR scores.

III. EXPERIMENTAL RESULTS AND DISCUSSION

For this task, we used a PC, which has a 3.60 GHz Intel i7-7700 CPU and 16 GB of RAM. This PC runs Windows 10.1. We used the Matlab 2022a trial use version program. In the proposed method, 10-fold cross-validation was used to obtain validation results from classifiers. Accuracy, Sensitivity, Specificity, Precision, and F1 were calculated after the classifiers ran 100 iterations.

The average accuracy values obtained for each surface deformation class are listed in Table 6. For each classification algorithm, the highest success was obtained in the detection of Stains failure and the lowest success in the detection of Pastry failure. Confusion matrices for each classifier showing the number of correct and incorrect predictions of our classification model were calculated and presented in Figure 2.

Table 6. Each Class Self Accuracy of classification methods after running 100 iterations.

Class / Self	LD	KNN	DT	SVM	RF	DNN
Pastry	0.6667	0.8167	0.7500	0.7000	0.8000	0.900
Z Scratch	0.8994	0.7673	0.9497	0.9497	0.9623	0.974
K Scratch	0.97729	0.9729	0.9910	0.9789	0.9940	0.997
Stains	0.9677	0.8387	0.9516	0.9839	1.000	1.00
Dirtiness	0.8261	0.6522	0.8478	0.9348	0.9130	0.913
Bumps	0.7606	0.6479	0.8169	0.6761	0.8732	0.9014

For the 100 iterations, the maximum accuracy of the LD, KNN, DT, SVM, RF, and DNN classification methods were obtained respectively 90.136%, 91.780%, 93.013%, 93.287%, 95.479%, and 96.986%. F1 score, Specialty, Sensitivity, and Precision values for each method are given in Table 7. As can be seen from the results, the highest success percentage was obtained with the RF method.

Table 7. Performance values for each classification after running 100 iterations.

Classifier	Metric	Accuracy	Sensitivity	Specificity	Precision	F1
LD	Best	90.136	83.267	84.888	84.134	84.070
	Min	88.767	81.375	83.097	82.328	82.227
	Mean	89.397	83.007	84.637	83.927	83.814
	Std	0.302	0.257	0.205	0.196	0.223
KNN	Best	91.780	87.159	87.055	86.002	87.107
	Min	90.684	86.647	86.585	85.394	86.616
	Mean	91.386	87.075	86.991	85.922	87.033
	Std	0.199	0.169	0.131	0.166	0.150
DT	Best	93.013	89.302	88.827	88.472	89.064
	Min	91.369	87.648	87.713	87.226	87.680
	Mean	92.082	89.054	88.655	88.205	88.854
	Std	0.378	0.242	0.166	0.238	0.204
SVM	Best	93.287	89.289	88.449	88.024	88.867
	Min	92.328	88.103	87.467	86.923	87.784
	Mean	92.782	89.135	88.328	87.888	88.730
	Std	0.227	0.333	0.266	0.300	0.299
RF	Best	95.479	93.179	92.375	92.093	92.775
	Min	93.561	91.973	91.343	90.969	91.657
	Mean	94.395	93.053	92.275	91.986	92.662
	Std	0.338	0.363	0.298	0.324	0.329
DNN	Best	96.986	95.546	94.871	94.753	95.157
	Min	96.164	94.494	93.476	93.313	93.982
	Mean	96.575	95.106	94.522	94.401	94.813
	Std	0.223	0.453	0.494	0.515	0.453

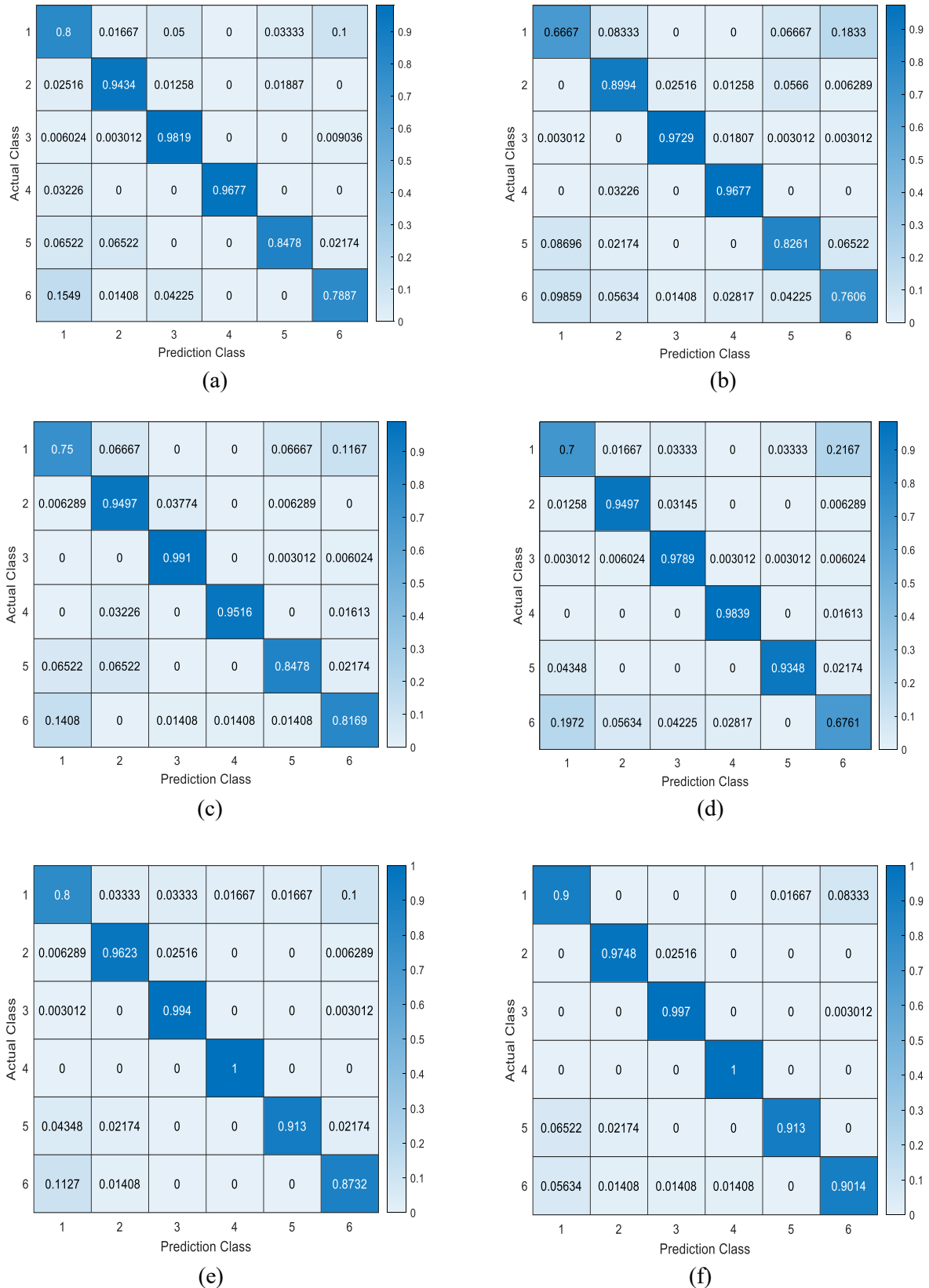


Figure 2. Validation Confusion matrices of the classification methods after running 100 iterations a) DT b) LD c) SVM d) KNN e) RF f) DNN.

The results of the classification algorithm studies using the same steel surface deformation dataset in Table 8 were compared with the results of this study. It is seen that the proposed RF and DNN model

outperforms the more successful than Tian's optimized SVM model, also without the need for any optimization method. The reason for this is that in Tian's study, 7 classes that contain common data are considered as a class with separate features. In addition, the estimation of outliers applied before the classification step in this study and their removal from the dataset significantly increased the success.

Table 8. Comparison of this study classification performance with related works.

References	Classification Method	Accuracy (%)
Sami M. Halawani [1]	DT	80
Abdullahi et al. [4]	LR	94.5
Zhao et al.[12]	Back Propagation Neural Network	94.57
Kharal [13]	RF	94.18
	LR	89.13
	GA with SVM	94.6
Tian et al. [14]	GS with SVM	95.2
	PSO with SVM	88
	DT	94.38
Sanjay Jain [15]	MLP	83.87
	LR	72.64
Chen [16]	DT	90
Chou et al. [17]	LSSVM	91.085
Gamal et al.[18]	DT	91.14
	LD	90.136
	KNN	91.780
	DT	93.013
This study	SVM	93.287
	RF	95.479
	DNN	96.986

IV. CONCLUSION

In this study, LD, KNN, DT, SVM, RF, and DNN classification methods were developed. Twenty-seven geometric features for automatic detection of deformations on steel surfaces were used. As a result of the study, it was analyzed that the LD classifier had the lowest classification accuracy at 90.136%. The highest classification accuracy was obtained with the DNN classifier as 96.986%. It has been shown that the developed methodical approach has achieved such high success that it can be a decision support mechanism that helps experts in product quality control units in steel plate production facilities.

V. REFERENCES

- [1] S.M. Halawani, "A study of decision tree ensembles and feature selection for steel plates faults detection", *International Journal of Technical Research and Applications*, vol. 2, no. 4, pp. 127–131, 2014.
- [2] K. Rajan, "Materials informatics". *Materials Today*, vol. 8, no.10, pp. 38–45, 2005. [https://doi.org/10.1016/S1369-7021\(05\)71123-8](https://doi.org/10.1016/S1369-7021(05)71123-8)
- [3] A. Kelly, K.M. Knowles, "Crystallography and crystal defects: second edition", John Wiley &

Sons, Ltd., ISBN:9780470750155, 2012. <https://doi.org/10.1002/9781119961468>

- [4] A. Abdullahi, N.A. Samsudin, M.R. Ibrahim, M.S. Aripin, S.K.A. Khalid, Z.A. Othman, "Towards IR4.0 implementation in e-manufacturing: Artificial intelligence application in steel plate fault detection", *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol.20, no.1, pp. 430–436, 2020. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v20.i1.pp430-436>
- [5] T. Nkonyana, Y. Sun, B. Twala, E. Dogo, "Performance evaluation of data mining techniques in steel manufacturing industry", *Procedia Manufacturing*, vol. 35, pp. 623–628, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.06.004>
- [6] S. Nasiri, M.R. Khosravani, K. Weinberg, "Fracture mechanics and mechanical fault detection by artificial intelligence methods: A review", *Engineering Failure Analysis*, vol. 81, pp. 270–293, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2017.07.011>
- [7] Z. Wang, W. Yang, H. Zhang, Y. Zheng, "SPA-based modified local reachability density ratio wSVDD for nonlinear multimode process monitoring", *Complexity*, vol. 2021, pp.1–15, <https://doi.org/10.1155/2021/5517062>
- [8] A. Schumacher, T. Nemeth, W. Sihn, "Roadmapping towards industrial digitalization based on an Industry 4.0 maturity model for manufacturing enterprises". *Procedia CIRP*, vol. 79, pp. 409–414, 2019, <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.02.110>
- [9] W.S. Alaloul, M.S. Liew, N.A.W.A. Zawawi, I.B. Kennedy, "Industrial revolution 4.0 in the construction industry: Challenges and opportunities for stakeholders", *Ain Shams Engineering Journal*, vol. 11, no.1, pp. 225–230, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.asej.2019.08.010>
- [10] J. Han, M. Kamber, J. Pei, "Data mining: Data mining concepts and techniques", Morgan Kaufmann Publishers is an imprint of Elsevier, 225 Wyman Street, Waltham, MA 02451, USA, 2014.
- [11] M. Perzyk, A. Kochanski, J. Kozlowski, A. Soroczynski, R. Biernacki, "Comparison of data mining tools for significance analysis of process parameters in applications to process fault diagnosis", *Information Sciences*, vol. 259, pp. 380–392, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2013.10.019>
- [12] Z. Zhao, J. Yang, W. Lu, X. Wang, "Application of local outlier factor method and back-propagation neural network for steel plates fault diagnosis". *The 27th Chinese Control and Decision Conference (2015 CCDC)*, pp. 2416–2421, 2015. <https://doi.org/10.1109/CCDC.2015.7162326>
- [13] A. Kharal, "Explainable artificial intelligence based fault diagnosis and insight harvesting for steel plates manufacturing", 2020, <https://doi.org/10.48550/arXiv.2008.04448>.
- [14] Y. Tian, M. Fu, F. Wu, "Steel plates fault diagnosis on the basis of support vector machines", *Neurocomputing*, vol. 151, pp. 296–303 (2015). <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2014.09.036>
- [15] S. Jain, C. Azad, J. Vijay Kumar, "Steel faults diagnosis using predictive", *International Journal of Computer Engineering and Applications*, vol. 4, no. 3, pp. 69–78, 2014.
- [16] J. Chen, "The Application of tree-based ML algorithm in steel plates faults identification", *Journal of Applied and Physical Sciences*, vol. 4, no.2, pp. 47–54, 2018. <https://doi.org/10.20474/japs-4.2.1>
- [17] J.S. Chou, T.T.P. Pham, C.C. Ho, "Article metaheuristic optimized multi-level classification learning system for engineering management", *Appl. Sci.*, vol. 11, no.12, pp. 5533–5556, 2021. <https://doi.org/10.3390/app11125533>

- [18] M. Gamal, A. Donkol, A. Shaban, F. Costantino, G. Di, R. Patriarca, "Anomalies detection in smart manufacturing using machine learning and deep learning algorithms", *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, Rome, Italy, August 2-5, 2021, pp. 1611–1622.
- [19] Semeion Centro Ricerche, "*Semeion: research center of sciences of communication*", Via Sersale 117, 00128, Rome, Italy, 2021, www.semeion.it.
- [20] J.M. Johnson, T.M. Khoshgoftaar, "Survey on deep learning with class imbalance", *Johnson and Khoshgoftaar J Big Data*, vol. 6, no.27, 2019. <https://doi.org/10.1186/s40537-019-0192-5>
- [21] A. Alan, M. Karabatak, "Sınıflandırma İlişkisinde Performansa Etki Eden Faktörlerin Değerlendirilmesi", *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilim. Derg.*, vol. 32, no.2, pp. 531–540, 2020. <https://doi.org/10.35234/fumbd.738007>
- [22] M. Pal, G.M. Foody, "Feature selection for classification of hyperspectral data by SVM", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 48, no.5, pp. 2297–2307, 2010. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2009.2039484>
- [23] O. Yaman, T. Tuncer, B. Tasar, "DES-Pat: A novel DES pattern-based propeller recognition method using underwater acoustical sounds", *Applied Acoustics*, vol. 175, pp. 107859, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2020.107859>
- [24] Ş.Y. Yiğiter, S.S. Sarı, T. Karabulut, E.E. Başakın, "Kira sertifikası fiyat değerlerinin makine öğrenmesi metodu ile tahmini", *International Journal of Islamic Economics and Finance Studies*, vol. 4, no.3, pp. 74–82, 2018. <https://doi.org/10.25272/ijisef.412760>
- [25] J. Bjorck, C. Gomes, B. Selman, KQ Weinberger, "Understanding batch normalization", *Adv Neural Inf Process Syst*, vol. 2018, pp. 7694–7705, 2018.



Düzce University Journal of Science & and Technology

Research Article

Strawberry Ripeness Assessment Via Camouflage-Based Data Augmentation for Automated Strawberry Picking Robot

 Ferhat SADAK ^{a,*}

^a Department of Mechanical Engineering, Bartın University, Bartın, 74100, Turkey

* Corresponding author's email address: fsadak@bartin.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1075572

ABSTRACT

Vision-based strawberry picking and placing is one of the main objectives for strawberry harvesting robots to complete visual servoing procedures accurately. Occlusion is the main challenge in strawberry ripeness detection for agriculture robots. In this study, strawberry ripeness detection was proposed using a camouflage-based data augmentation strategy to simulate the natural environment of strawberry harvesting conditions. Yolov4, Yolov4 tiny and Yolov4 scaled, and their traditional data augmentation and camouflage-based data augmentation derivatives were used to find out the effect of camouflage-based augmentation technique in overcoming the occlusion issue. Then the results were mainly evaluated based on mean Intersection over Union (IoU), F-1 score, average precision (AP) for ripe and unripe strawberries and frame per second (fps). Yolov4 tiny with camouflage-based data augmentation technique has demonstrated superior performance in detecting ripe and unripe strawberries with 84% IoU accuracy ~99% AP for ripe and unripe strawberries at an average of 206-fps, satisfying the agriculture strawberry harvesting robot operation need. The performance of the suggested technique was then tested successfully using a dataset termed the challenge dataset in this study to demonstrate its performance in a complex and occluded strawberry harvesting environment. Camouflage-based data augmentation technique helps to increase the detection procedure of ripe and unripe strawberries toward autonomous strawberry harvesting robot.

Keywords: deep learning, Yolov4, data augmentation, strawberry ripeness detection, harvesting robot

Otonom Çilek Toplama Robotu İçin Kamufraj Tabanlı Veri Artırma Yoluyla Çilek Olgunluğu Değerlendirmesi

ÖZET

Görüye dayalı çilek toplama ve yerleştirme, çilek hasat robotlarının görsel servo prosedürlerini doğru bir şekilde tamamlaması için ana hedeflerden biridir. Tarım robotları için çilek olgunluğunun saptanmasındaki ana zorluk oklüzyondur. Bu çalışmada, çilek hasat koşullarının doğal ortamını simüle etmek için kamufraj tabanlı bir veri artırma stratejisi kullanılarak çilek olgunluğu tespiti önerilmiştir. Kamufraj tabanlı veri artırma tekniğinin oklüzyon sorununun üstesinden gelmedeki etkisini bulmak için Yolov4, Yolov4 tiny ve Yolov4 scaled ve bunların geleneksel veri artırma ve kamufraj tabanlı veri artırma türevleri kullanılmıştır. Daha sonra sonuçlar esas olarak ortalama kesişim değeri (IoU), F-1 skoru, ortalama hassaslık (AP), ve saniyedeki kare sayısı (fps) temel alınarak değerlendirilmiştir. Kamufraj tabanlı veri artırma tekniğine sahip Yolov4 tiny, ortalama 206 fps'de olgun ve olgunlaşmamış çilekler için %84 IoU doğruluğu ~%99 AP ile olgun ve olgunlaşmamış çilekleri tespit etmede üstün performans göstererek, tarım çilek hasat robotu operasyon ihtiyacını karşılamıştır. Önerilen tekniğin performansını çilek hasat ortamında göstermek için bu çalışma kapsamında belirlenen bir veri seti kullanılarak başarılı bir şekilde test edilmiştir. Kamufraj tabanlı veri artırma tekniği, otonom çilek hasat robotları için olgun ve olgunlaşmamış çileğin tespit prosedürünü artırmaya yardımcı olmuştur.

I. INTRODUCTION

Deep learning's rapid advancement has brought considerable convenience to our lives, and academics in the area are demanding to contribute to its development. Agricultural robot technology is also fast-evolving, and deep learning offers a wide range of possibilities for effective fruit detection [1]. Strawberry harvesting is the most time-consuming and labor-intensive part of the production process. Because manual harvesting does not meet the basic needs of the strawberry industry due to low production rates and a labour shortage, which has a negative impact on the industry's long-term viability and sustainability. Researchers have recently developed prototypes of commercial strawberry harvesting robots [2]–[4]. Target recognition and precise position detection (localization) of strawberry harvesting robots are difficult due to the complexity of the farm's natural environment and the unstructured features of the fruits. The natural factors include the intensity of the natural light, overlap of few fruits and occlusion of leaves. Therefore new solutions are necessary to overcome these challenges for developing autonomous strawberry harvesting robots [5].

Fruit ripeness detection has been investigated for various fruits to aid fully autonomous harvesting agriculture robots in making decisions about whether to pick the fruit. For instance, the colour and size values retrieved from RGB images, including 40 images for each of three stages, acquired using a computer vision system were used to determine banana maturity [6]. A total of 925 Cape gooseberry (*Physalis peruviana*) fruit samples were gathered and manually graded into one of seven different maturity grades approaches to classify the ripeness of Cape gooseberry using three colour spaces (RGB, HSV, and $L^*a^*b^*$) and the combination of four machine learning techniques [7].

To classify the different ripeness stages of tomatoes based on colour features, researchers employed an automated multi-class classification technique that included Principal Components Analysis (PCA), Support Vector Machines (SVMs), and Linear Discriminant Analysis (LDA) algorithms [8]. The Fuzzy Rule-Based Classification method (FRBCS) was used in a study to categorize the different ripeness stages of tomatoes, with six classes representing the six different phases of tomato ripeness [9]. The suggested FRBCS achieved a tomato ripeness classification accuracy of 94.29%. Based on the improving Otsu adaptive threshold algorithm and a novel feature in OHTA color space, an autonomous extraction method of strawberry maturity was examined in a complicated agricultural setting to assist fruit picking robot with a 95% extraction accuracy [10].

Deep learning (DL) approaches are currently widely recognized as the most promising technology for a wide range of computer vision applications, including medical robotics [11] and agricultural robotics [12], because they produce a superior performance to traditional machine learning techniques [13]. Faster-RCNN was used by Fanfang Gao et al. to detect apples, with an average precision of 0.909, 0.899, 0.858, and 0.848 for non-occluded, leaf-occluded, branch/wire-occluded, and fruit-occluded fruit, respectively [14]. The average precision in the fruit occluded scenario dropped to 6.1 % compared to the non-occluded example, demonstrating the importance of occlusion and its negative consequences in agricultural harvesting robotics. The Faster R-CNN was also used to detect apples, mangoes, and almonds, and the average accuracy results show that using this method can improve the accuracy of fruit recognition if data augmentation techniques such as flip and scale augmentation are used, as opposed to transferring the weight between orchards [15]. However, the processing time for Faster-RCNN is not sufficient in real-time operation that can be used in agriculture robotics.

You Only Look Once (YOLO) [16] and its improved versions are currently in high demand in various research fields, including agriculture robotics. YOLO's concept is to solve target detection as a regression task. Different research teams, for example, proposed apple detection based on an improved Yolov3 model [17], tomato detection based on a modified Yolov3 [18], and MangoYOLO based on Yolov3 and Yolov2(tiny) [19]. According to the Yolov4 model, occlusion performance is more accurate. As a result, more attention must be paid to the Yolov4 model [20] and its derivations to detect mature

and immature strawberries for robotic harvesting tasks accurately. For instance, a deep convolutional neural network was used to distinguish between mature and immature strawberries in a greenhouse. It was discovered that the mature class had a problem detecting occluded strawberries. In contrast, the immature class was confused by the backdrop colour [21]. Hence, the development of YOLO architecture as a feature extractor aside, attention is also given to the data augmentation techniques so that the model can be robustly used in the agriculture field.

To overcome these challenges above, while using the superior performance of deep learning techniques, the development of new data augmentation techniques were shown to be useful [22]–[24]. Kamilaris et al. reviewed 40 research papers dealing with the use of deep learning in the agriculture field and showed that 37% of the reviewed paper utilized data augmentation techniques [25]. This is because increasing the number of training images improves the overall learning procedure and performance and for generalization purposes, which is critical when developing a robust detection and classification algorithm for agricultural robots. However, the developmental stages of deep learning algorithms mostly tried to benefit from classical data augmentation techniques in agriculture. This includes various rotation, scaling and intensity of the object in [26], image mirroring and rotation in 90-degree increments [27], flip, scale, flip-scale and in [15], image cropping, resized by a factor of 0.75 in [28]. These data augmentation techniques are commonly used in various research fields, such as medical robotics, and were not developed solely to serve agriculture robot autonomy. Furthermore, none of these studies developed data augmentation techniques that considered the nature of the agriculture field, such as occlusion.

This paper proposes a camouflage-based data augmentation technique to be employed as a robust ripeness detection of a strawberry as a part of the autonomy of the strawberry harvesting robot. The technique is evaluated against traditional data augmentation techniques using Yolov4, Yolov4 tiny and Yolov4-scaled framework, and this technique can be generalized for any type of fruit to detect its ripeness stage. Later, experimental validations are presented to illustrate the generalization of the proposed technique.

II. MATERIALS AND METHOD

A. DATASET PREPARATION AND TRAINING

112 images which consist of 443 ripe strawberries and 306 unripe strawberries, were created from a strawberry harvesting field in Turkey with the size of 416 *416 pixels. The dataset was prepared under a natural environment to simulate the real-world condition for strawberry harvesting. 80% of the data was used for training procedures, while 20% was used for testing purposes to evaluate the developed model. Given the size of our dataset, this ratio is sufficient to demonstrate the performance of the trained neural network and its generalization. The dataset was annotated using the graphical image annotation tool LabelImg, developed in [29]. A farmer with more than 30 years of experience in strawberry planting from Turkey's Bartin province performed the annotation of ripe and unripe strawberries. When classified as ripe or unripe, the annotation essentially relies on human perception. The bounding box was carefully drawn to the strawberry's outer margin based on the farmer's instructions.

The training hyper-parameters were configured as follows: the number of max epochs was set to 6000, the learning rate was set to 0.001, the momentum was set to 0.949, and batch and subdivision were set to 64 and 16, respectively. The training procedure for all neural networks was carried out on Google Colaboratory. Google Colaboratory is a free Jupyter notebook environment that requires no installation and runs entirely in the cloud was used throughout our study. NVIDIA Tesla K80 GPU and 12 GB RAM were used with Google Colaboratory in all training procedures to make a reasonable comparison. Figure 1 depicts a strawberry sample dataset as well as its annotation.

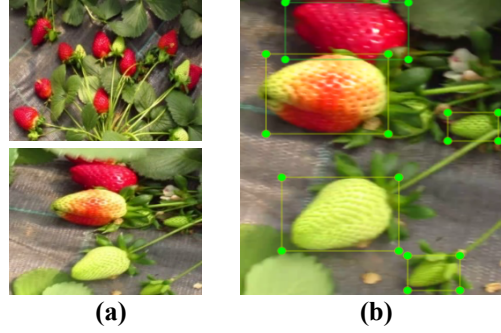


Figure 1. (a) Sample dataset of mature and immature strawberry (b) Sample annotation of mature and immature strawberry by LabelImg.

B. YOLOV4

The Yolov4 model, a state-of-the-art real-time detection model, is an improved version of the Yolov3. The fundamental difference between the network structures of Yolov3 and Yolov4 is that in Yolov3, the Darknet53 network is replaced with CSP Darknet53, and the CSP Darknet53 network, which is based on DenseNet, is employed as the backbone network in Yolov4. Additionally, the use of universal features such as Weighted-Residual-Connections (WRC), Cross-Stage-Partial-Connections (CSP), Cross mini-Batch Normalization (CmBN), Self-adversarial-training (SAT), and Mish-activation aids Yolov4 in achieving outstanding outcomes by increasing the learning capability of the Convolutional Neural Network (CNN). In comparison to Yolov3, Yolov4 is 12% faster and 10% more accurate.

The Yolo network approaches the detection problem as a regression problem, generating boundary coordinates and probability estimates for each class. If the center of the observed object falls within the artificially specified place, the network performs target detection using the trained Yolov4 loss functions, which include the bounding box location loss (L_{CIoU}), confidence loss ($L_{confidence}$), and classification loss (L_{class}) [20].

$$Loss = L_{CIoU} + L_{confidence} + L_{class} \quad (1)$$

The CIoU loss, in comparison to the IoU loss, incorporates two new concepts: central point distance and aspect ratio measurement between ground truth and predicted bounding box, and uses these three metrics to improve the quality of the predicted bounding box.

$$CIoU = IOU - \frac{\rho^2(b, b^{gt})}{c^2} - \alpha v \quad (2)$$

where $\rho^2(b, b^{gt})$ is the Euclidean distance between the prediction and real frames' center points, IOU defines the rate of overlap between the predicted and ground truth bounding box, and c signifies the diagonal distance of the smallest area that can contain both the prediction and real frames.

$$\alpha = \frac{v}{1 - IOU + v} \quad (3)$$

Here, α is a positive trade-off parameter,

$$v = \frac{4}{\pi^2} \left(\arctan \frac{w^{gt}}{h^{gt}} - \arctan \frac{w}{h} \right)^2 \quad (4)$$

and v measures the consistency of the aspect ratio.

Where h is the height of the bounding box and w is the width of the bounding box.

$$L_{CIoU} = 1 - IOU + \frac{\rho^2(b, b^{gt})}{c^2} + \alpha v \quad (5)$$

C. YOLOV4 TINY

The compressed version of Yolov4 is Yolov4 tiny. It is based on Yolov4 and is intended to simplify the network structure and decrease parameters. This makes it possible to use it on mobile and embedded devices. Yolov4 tiny has two Yolo heads compared Yolov4 model, which has three heads. Furthermore, Yolov4 tiny was trained from 29 pre-trained convolutional layers, whereas Yolov4 was trained from 137 pre-trained convolutional layers, which directly impacts training and detection time. Instead of the CSPDarknet53 network used in the Yolov4 technique, the Yolov4-tiny approach employs the CSPDarknet53-tiny network as the backbone network. Instead of using the ResBlock module in the residual network, the CSPDarknet53- a small network employs the CSPBlock module in the cross-stage partial network. As a result, the gradient flow can propagate along two different network channels, increasing the gradient information's correlation difference.

The FPS (Frames Per Second) of Yolov4 tiny is almost eight times faster than Yolov4. The accuracy of Yolov4 tiny is two-thirds that of Yolov4 when tested on the MS COCO dataset. As a result, the Yolov4 model that should be used is determined by the application considering the model's accuracy and detection time. It should be noted that highly accurate and fast models are in high demand in the agricultural robotics industry.

D. YOLOV4 SCALED

Scaled Yolov4 is a set of neural networks built on top of the Yolov4 network, which has been enhanced and scaled without using any pre-trained model [30]. The Yolov4-scaled model employs a scaling strategy that alters the network's depth, width, resolution, and structure, such as image size, number of layers and channels while optimizing the model performance and inference speed. ResNet, ResNeXt, and the traditional Darknet backbone, as well as a few CSP-ized CNN backbones, are all considered in their network. Applying the concepts given out in the Cross-Stage Partial Networks is what it means to CSP-ize. The CSP is a new approach to designing CNNs that reduces computation by 50% for various CNN networks. In Yolov4 scaled, network architecture was improved by optimizing the backbone and Cross-stage-partial (CSP) connections and Mish activations. In contrast to Yolov4, where just one neural network was trained for all resolutions, a separate neural network is trained for each resolution of the network in Yolov4 scaled.

E. PERFORMANCE EVALUATION

Yolov4, Yolov4 tiny and Yolov4 algorithms were evaluated based on precision, recall, F-1 score, mAP@0.5, AP and Average IoU.

Precision is defined as the purity of positive detections relative to the ground truth, indicating how many of the predicted objects had a matching ground truth annotation.

$$Precision = \frac{TP}{TP+FP} \quad (6)$$

Recall is described as the completeness of the positive predictions compared to the ground truth, answering what proportion of actual positives was correctly identified.

$$Recall = \frac{TP}{TP+FN} \quad (7)$$

The harmonic mean of the model's precision and recall is used to calculate the F-score.

$$F_1 \text{ score} = 2 \times \frac{\text{precision} \times \text{recall}}{\text{precision} + \text{recall}} \quad (8)$$

Intersection over Union is a metric used to evaluate the accuracy of an object detector on a given dataset. It is the rate at which the ground truth and prediction output overlap. Equation 9 shows the calculation of the IoU which *gt* refers to ground truth while *po* stands for prediction output.

$$IoU = \frac{Bgt \cap Bpo}{Bgt \cup Bpo} \quad (9)$$

The visual demonstration of the IoU calculation on an unripe strawberry as an example is shown in Figure 2.

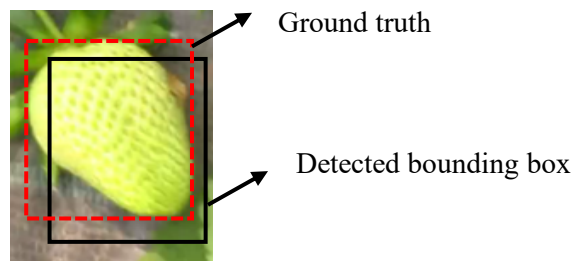


Figure 2. Intersection over Union (IoU) calculation.

Average precision (AP) is an evaluation metric for measuring the accuracy of the object detector. It is the measure of the area under the precision-recall curve. Finally, mAP@0.5 (AP with IoU = 0.50) is calculated as the average of the AP values for each class (ripe and unripe strawberry in our case).

F. DATA AUGMENTATION

In this study, eight traditional data augmentation techniques were applied: angle, saturation, exposure, hue, horizontal and vertical flip, Gaussian noise, and blur. 112 images were augmented for each augmentation procedure. The values and number of images set during the augmentation procedure in the Python environment are shown in Table 1.

Table 1 The values and number of images set during the traditional augmentation procedure.

	Angle [-30 30]	saturation =1.5	exposure = 1.5	hue=.1	horizontal flip=0.5	vertical flip=0.5	gaussian noise=1	blur=1
Number of augmented images	112	112	112	112	112	112	112	112

G. CAMOUFLAGE-BASED DATA AUGMENTATION TECHNIQUE

The camouflage-based data augmentation approach is a simple technique used in this study to describe the location of distinct strawberry leaves in five various shapes and sizes. 50 images of ripe and unripe strawberries were used to generate artificial data, then used to generate data from five distinct strawberry leaves. The leaf was chosen randomly to illustrate the most common occlusion scenario that deep learning systems may face. The primary idea behind this method is to expand the training dataset when the developed deep learning-based algorithms fail to recognize strawberries in complex scenarios. This is because typical data augmentation techniques such as scaling, and rotation are ineffective for detecting strawberries since they do not replicate the strawberries' natural state. The demonstration of the artificial data produced using five different strawberry leaf is shown in Figure 3.

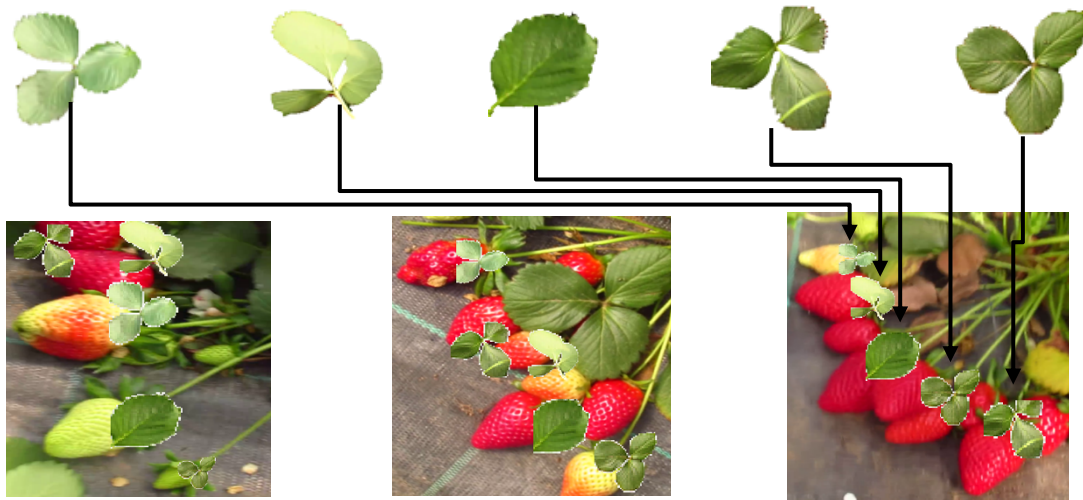


Figure 3. Illustration of five different strawberry leaf and the produced artificial data.

III. RESULTS

The results were evaluated based on precision, recall, F-1 score, AP-ripe strawberry, AP-unripe strawberry, mAP@0.5, Average IoU and frame per second (fps). Average IoU and fps are critical evaluation metrics since the overlap rate between ground truth and the detected bounding box for localization, and computational cost of detection for a real-time operation is a prerequisite for strawberry harvesting robots. The results were then revealed for Yolov4, Yolov4 tiny, Yolov4 scaled and Yolov4 with traditional data augmentation, Yolov4 tiny with traditional data augmentation, Yolov4 scaled with traditional data augmentation, Yolov4 with camouflage-based data augmentation, Yolov4 tiny with camouflage-based data augmentation and Yolov4 scaled with camouflage-based data augmentation. In this way, the usefulness of traditional data augmentation techniques and camouflage-based data augmentation techniques can be shown on state-of-the-art detection techniques, which are Yolov4, Yolov4 tiny and Yolov4 scaled in this study. Table 2 demonstrates the performance of deep learning models with different data augmentation approaches for detecting strawberry ripeness.

Table 2 Performance evaluation of various deep models for strawberry ripeness detection.

Parameters	Yolov4	Yolov4-tiny	Yolov4 -scaled	Yolov4 + Traditional data augmentation	Yolov4 tiny + Traditional data augmentation	Yolov4 scaled + Traditional data augmentation	Yolov4 + Camouflage-based data augmentation	Yolov4 tiny + Camouflage-based data augmentation	Yolov4 scaled+ Camouflage-based data augmentation
Precision	0.80	0.79	0.79	0.78	0.76	0.83	0.93	0.95	0.92
Recall	0.87	0.90	0.84	0.83	0.91	0.89	1.00	0.98	0.95
F-1 score	0.83	0.84	0.81	0.81	0.83	0.86	0.96	0.96	0.95
AP- ripe strawberry	0.9203	0.8989	0.8622	0.8859	0.9226	0.8896	0.9996	0.9849	0.9992
AP- unripe strawberry	0.8482	0.8215	0.7708	0.8768	0.8338	0.7944	1.00	0.9987	0.9987
mAP@0.5	0.8843	0.8602	0.8164	0.8813	0.8782	0.8420	0.9997	0.9918	0.9990
Average IoU	0.6311	0.6194	0.6333	0.6052	0.5980	0.6784	0.8067	0.8434	0.7863
Frame per second (fps)	30.45	206.61	33.19	30.64	205.88	33.25	30.62	206.73	33.45

On the left side of Figure 4, mAP@0.5, F-1 score, and Average IoU are evaluated and compared, and on the right side of Figure 4, AP for ripe and unripe strawberry is assessed and compared, as shown Figure 4.

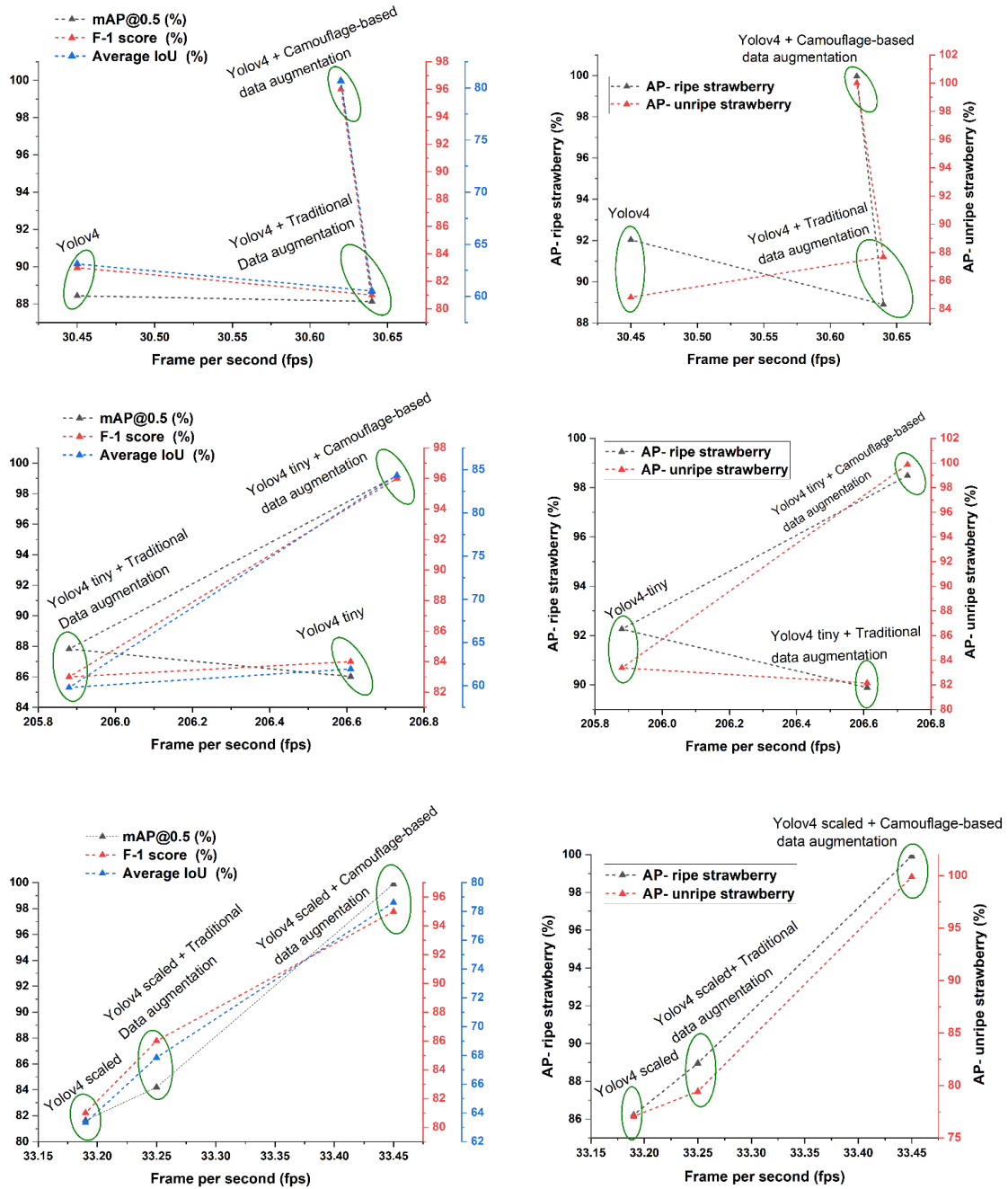


Figure 4. Performance evaluation of the model based-on mAP@0.5, F-1 score, Average IoU and AP for ripe and unripe strawberry ripeness detection.

In the following sections, the results will be examined, and a case study will be conducted to verify the effectiveness of the proposed augmentation approach in strawberry ripeness assessment task. Then the results will be compared with the literature to show its superior performance.

IV. DISCUSSION

As depicted from Table 2, F1 score for Yolov4 was calculated as 0.83, and its score was slightly decreased to 0.81 when the traditional data augmentation technique was used. On the other hand, its F1-score was increased from 0.83 to 0.96, representing a 13% rise. The AP for ripe strawberries was reduced by ~3%, and AP for unripe strawberries were increased by ~3%. Therefore, the mAP@0.5 was not changed between Yolov4 and Yolov4 using the traditional data augmentation technique. On the other hand, Yolov4 with a camouflage-based data augmentation approach has shown promising results for AP for ripe and unripe strawberry, 99 % and 100%, respectively. Compared to Yolov4 and Yolov4 with traditional data augmentation techniques, approximately 17% and 19% increase were obtained in AP for ripe and unripe strawberries. One of the most important phenomena resulted in the IoU metric. While IoU for Yolov4 and Yolov4 with traditional data augmentation technique resulted in 63%, its value has increased by ~17% and reached ~80% when the camouflage-based data augmentation is used along with Yolov4. Hence, the camouflage-based data augmentation strategy enhances the accuracy and detector's capacity to localize. No significant changes were observed for the fps parameter, which reached ~30 fps for Yolov4 and its augmentation derivatives.

F-1 score for Yolov4 tiny and Yolov4 with traditional data augmentation technique has only shown a 1% difference in favor of Yolov4 tiny. On the other hand, the F-1 score has reached ~83% to 96% when Yolov4 is used with the camouflage-based data augmentation technique. AP for ripe and unripe strawberries was also increased ~3% and ~1% when Yolov4 tiny is used traditional data augmentation. However, AP for ripe and unripe strawberry was increased to 9% and 17%, respectively, while almost reached 100% AP for both ripe and unripe strawberry classification when camouflage-based data augmentation is used. IoU score for Yolov4 tiny and Yolov4 with traditional data augmentation technique almost obtained 60%, while this score has increased to ~84%, which is nearly 24% difference compared to Yolov4 tiny and its traditional data augmentation derivative. This is a crucial stage in developing an autonomous agriculture robot since the precision of localization directly impacts picking and placing the strawberry crop by the robot's end effector. The fps score has nearly remained constant for all, reaching 206 fps for Yolov4 tiny and its augmented versions. Yolov4 and its data augmentation derivatives have over seven times greater fps score. This is due to the Yolov4 tiny's lighter neural network architecture.

F-1 score for Yolov4 scaled was obtained 81% and reached to 86% when it is used with data augmentation technique. On the other hand, its score has up to 14 % and reached a F-1 score of 95% when the camouflage-based data augmentation is used, demonstrating the effectiveness of this approach and its suitability within agriculture applications. AP for ripe and unripe strawberry was also increased ~2% for Yolov4 scaled with traditional data augmentation compared to Yolov4 scaled. However, AP for ripe and unripe strawberries was increased by 13% and almost reached to 100% AP for both ripe and unripe strawberry classification when Yolov4 is used with camouflage-based data augmentation technique. IoU score was increased from ~63% to ~67% when Yolov4 scaled is used with traditional data augmentation technique, while 78% IoU score was obtained when Yolov4 scaled is used with camouflage-based data augmentation technique. Fps score has recorded almost the same for all, which got to ~33 fps for Yolov4 scaled and its augmentation derivatives. This is approximately 3% higher than Yolov4 and its data augmentation derivatives and almost seven times less than Yolov4 tiny and its data augmentation derivatives.

Following the demonstration of the effectiveness of the camouflage-based data augmentation technique within each method, all models are evaluated and compared to each other based on mAP@0.5, F-1 score, and Average IoU on the left side of Figure 4, and AP for ripe and unripe strawberry on the right side of Figure 4. This is to determine the most promising ripeness detection neural network model and the data augmentation technique used. Figure 4 leads to the following conclusion.

- Although Yolov4 and Yolov4 scaled and their data augmentation derivatives demonstrate ~30 fps and 33 fps, respectively, Yolov4 tiny and its data augmentation derivatives illustrate almost

seven times faster processing speed of ~206 fps. However, since all models are meeting the real-time operation to automate a strawberry harvesting robot, the fps score for all models included in their data augmented versions are all in an acceptable range.

- Yolov4 and Yolov4 tiny have shown similar behaviour when used with traditional data augmentation techniques. At the same time, YoloV4 scaled with traditional data augmentation technique were slightly superior to Yolov4 scaled in terms of mAP@0.5, F-1 score and Average IoU.
- AP for ripe and unripe strawberry detection by Yolov4, Yolov4 tiny and Yolov4 scaled, and their traditional data augmentation techniques were similar to each other with no notable differences. On the other hand, Yolov4, Yolov4 tiny and Yolov4 scaled models used with camouflage-based data augmentation technique were superior to other models used in AP for ripe and unripe strawberry detection.
- Overall, while differentiating between ripe and unripe strawberries, the camouflage-based data augmentation strategy enhanced the Yolov4, Yolov4 tiny, and Yolov4 scaled models in all evaluation criteria. Yolov4 tiny with camouflage-based data augmentation technique outperformed other models, achieving 84 % IoU and 99 % AP for ripe and unripe strawberries with a ~206 frames per second processing speed. These results are enough for use with the agricultural strawberry harvesting robot. Yolov4 tiny with camouflage-based augmentation approach can also be employed to the mobile phone due to its fast-processing speed.

Therefore, based on the analysis of results, Yolov4 tiny with camouflage-based data augmentation technique was selected to conduct further investigation and comparison with the literature.

A. A CASE STUDY ON CHALLENGE DATASET

To demonstrate the efficiency of the Yolov4 tiny model when combined with the camouflage-based data augmentation technique for strawberry ripeness identification, a challenge dataset was constructed. This collection contains 57 strawberry objects, 36 of which are ripe and 21 of which are unripe. The dataset was carefully designed to handle the occlusion and complicated scene of a strawberry harvesting field where an autonomous strawberry harvesting robot operates. Only one out of twenty-one unripe strawberries could not be detected, whilst all ripe strawberries were accurately detected. Table 3 demonstrates the detected ripe and unripe strawberries for each image used in the experiment.

Table 3 Experimental results of correctly detected ripe and unripe strawberries.

Image number	Number of ripe strawberries	Number of unripe strawberries	Number of correctly detected ripe strawberry	Number of correctly detected unripe strawberry
0	5	0	5	0
1	1	2	1	2
2	3	0	3	0
3	1	1	1	1
4	2	1	2	1
5	3	1	3	0
6	3	1	3	1
7	8	1	8	1
8	1	4	1	4
9	3	3	3	3
10	1	5	1	5
11	1	1	1	1
12	4	1	4	1

As demonstrated in Figure 5, the mean accuracy for ripe strawberries ranges from 92% to 100%, while the mean accuracy for unripe strawberries ranges from 51% to 100%. It should be noted that only images 6 and 11 showed less than 70% mean accuracy for unripe strawberries since the unripe strawberries in

the image are hardly visible due to occlusion or are not entirely in the frame. However, the proposed method can still appropriately detect and classify strawberry ripeness.

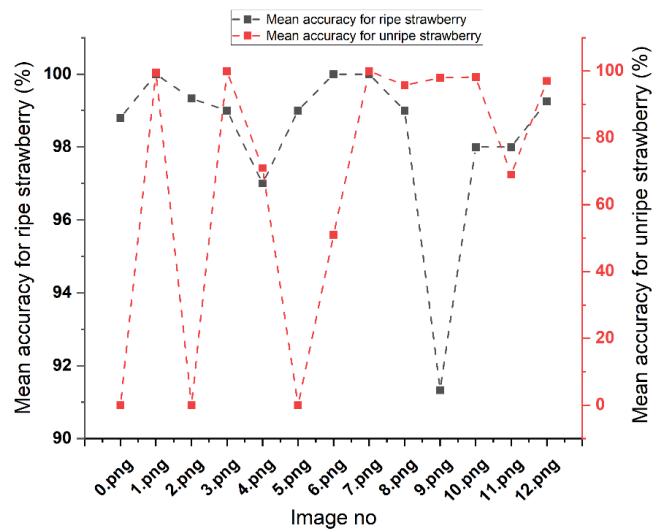


Figure 5 Mean accuracy for ripe and unripe strawberry for each image.

Figure 6 is depicted to demonstrate the effectiveness of the proposed approach. Figure 6 shows the promising results of the Yolov4 tiny with camouflage-based data augmentation technique and shows the complex scene of the strawberry harvesting circumstance. For instance, in Figure 6a, the unripe strawberry on the left side of the image is partially visible, while the leaf occludes the ripe strawberry on the right side. The method used in this study is not affected by the complex scene and occlusion by the leaf and successfully detects and classifies the strawberry. Occlusion can occur because of the strawberry itself. Strawberry can also obscure other strawberries, resulting in misdetection or misclassification. Figure 6f depicts eight ripe strawberries and one unripe strawberry, with the ripe strawberries stacked on top of each other and the unripe strawberry partially visible. The proposed approach again successfully detected and classified the ripe and unripe strawberries. The rest of the images in Figure 6 are also mostly occluded, or the strawberries are partially visible. Under this complex environment, the proposed approach can detect the ripeness of strawberries as a part of the visual-servoing of an autonomous strawberry harvesting robot.

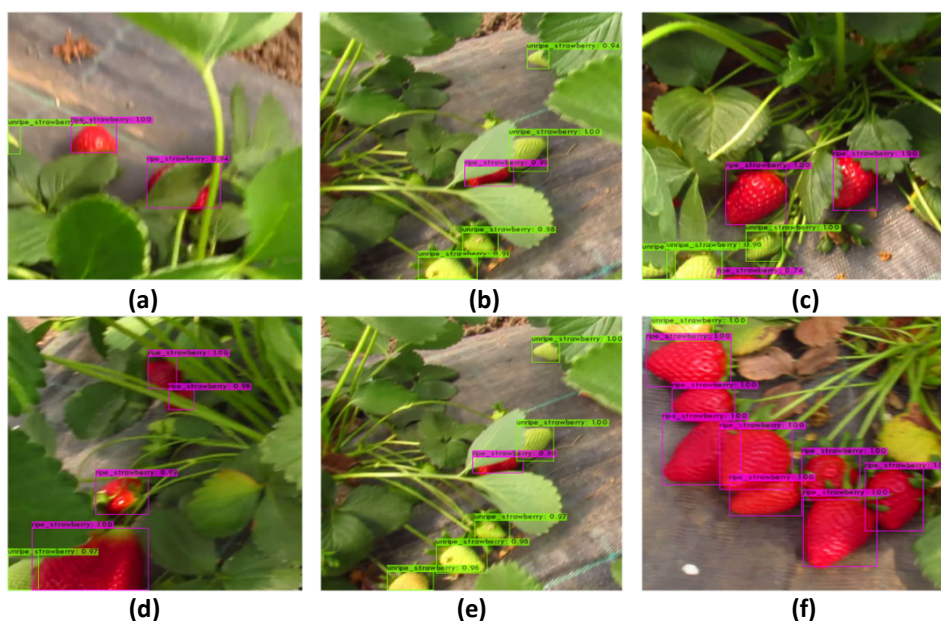


Figure 6 Example of detection results of ripe and unripe strawberries from the challenge dataset.

B. COMPARISON OF OUR WORK WITH LITERATURE

To the best of our knowledge, there is no publicly available benchmark to test strawberry ripeness detection. However, a few similar publications enable us to compare the proposed method in this study to the literature. Shao et al. [31] used portable hyperspectral imaging to determine strawberry maturity with a 96.7 % accuracy. However, the proposed method does not operate in real-time, and occlusion, the primary problem in strawberry ripeness assessment, was not prioritized. Habaragamuwa, on the other hand, provided a strawberry mature and immature detection framework utilizing a deep convolutional neural network, which is the first application of strawberry ripeness detection to be published in 2018 [21]. Occlusion is identified as the key issue and is excluded from the labeling process because it has reduced the AP by 50%. Our study has mostly focused on overcoming the occlusion issue to assist autonomous strawberry harvesting robots in picking the ripe strawberry while avoiding picking the unripe strawberry, regardless of whether the strawberries are occluded or not. This is consistent with the agricultural strawberry harvesting robot's real-time and natural operation conditions. This study has also shown that sufficient attention should be given to the data processing stage compared to the neural network architecture itself. The challenge dataset will be made accessible upon request so that researchers can put their approaches to the test in an obstructed strawberry harvesting scenario and compare the results provided in this study.

V. CONCLUSION

This study proposes a strawberry ripeness detection system through camouflage-based data augmentation technique. After the evaluation of the Yolov4, Yolov4 tiny and Yolov4 scaled, and their traditional data augmentation and camouflage-based data augmentation derivatives, Yolo tiny with camouflage-based data augmentation technique have established superior performance in detection of ripe and unripe strawberry with 84% IoU accuracy, ~99% AP for ripe and unripe strawberries at an average of 206-fps. Then, the performance of the proposed technique was tested on a challenging dataset and showed approximately above 92% to 100% mean accuracy for ripe strawberries. At the same time, the mean accuracy for unripe strawberries varies from ~51% to 100% due to occlusion or being partially in the frame for images 6 and 11. Real-time strawberry ripeness detection system in a complex and occluded strawberry harvesting environment was proposed to assist autonomous strawberry harvesting robots in completing visual servoing operations successfully. The proposed technique is not limited to strawberry harvesting robots but also can be used as a guide to be implementing it in other types of fruits. Future work will include an automated camouflage-based data augmentation framework in Python language specifically developed to assist for various fruit harvesting robotic applications that can be implemented automatically to the feature extractor used.

Funding: The author declares that no funds, grants, or other support were received during the preparation of this manuscript.

Conflicts of Interest: The author has no relevant financial or non-financial interests to disclose.

VI. REFERENCES

- [1] N. Zhu *et al.*, “Deep learning for smart agriculture: Concepts, tools, applications, and opportunities,” *Int. J. Agric. Biol. Eng.*, vol. 11, no. 4, pp. 32–44, 2018, doi: 10.25165/j.ijabe.20181104.4475.
- [2] Y. Xiong, Y. Ge, L. Grimstad, and P. J. From, “An autonomous strawberry-harvesting robot: Design, development, integration, and field evaluation,” *J. F. Robot.*, vol. 37, no. 2, pp. 202–224, 2020, doi: 10.1002/rob.21889.
- [3] A. De Preter, J. Anthonis, and J. De Baerdemaeker, “Development of a Robot for Harvesting

Strawberries,” *IFAC-PapersOnLine*, vol. 51, no. 17, pp. 14–19, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.054>.

[4] Q. Feng, J. Chen, M. Zhang, and X. Wang, “Design and Test of Harvesting Robot for Table-top Cultivated Strawberry,” in *2019 WRC Symposium on Advanced Robotics and Automation (WRC SARA)*, 2019, pp. 80–85, doi: 10.1109/WRC-SARA.2019.8931922.

[5] C. W. Bac, E. J. van Henten, J. Hemming, and Y. Edan, “Harvesting robots for high-value crops: State-of-the-art review and challenges ahead,” *J. F. Robot.*, vol. 31, no. 6, pp. 888–911, 2014.

[6] D. Surya Prabha and J. Satheesh Kumar, “Assessment of banana fruit maturity by image processing technique,” *J. Food Sci. Technol.*, vol. 52, no. 3, pp. 1316–1327, 2015, doi: 10.1007/s13197-013-1188-3.

[7] W. Castro, J. Oblitas, M. De-La-Torre, C. Cotrina, K. Bazán, and H. Avila-George, “Classification of Cape Gooseberry Fruit According to its Level of Ripeness Using Machine Learning Techniques and Different Color Spaces,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 27389–27400, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2898223.

[8] N. El-Bendary, E. El Hariri, A. E. Hassanien, and A. Badr, “Using machine learning techniques for evaluating tomato ripeness,” *Expert Syst. Appl.*, vol. 42, no. 4, pp. 1892–1905, 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2014.09.057>.

[9] N. Goel and P. Sehgal, “Fuzzy classification of pre-harvest tomatoes for ripeness estimation – An approach based on automatic rule learning using decision tree,” *Appl. Soft Comput.*, vol. 36, pp. 45–56, 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2015.07.009>.

[10] X. Wei, K. Jia, J. Lan, Y. Li, Y. Zeng, and C. Wang, “Automatic method of fruit object extraction under complex agricultural background for vision system of fruit picking robot,” *Optik (Stuttg.)*, vol. 125, no. 19, pp. 5684–5689, 2014, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2014.07.001>.

[11] F. Sadak, M. Saadat, and A. M. Hajiyavand, “Real-Time Deep Learning-Based Image Recognition for Applications in Automated Positioning and Injection of Biological Cells,” *Comput. Biol. Med.*, p. 103976, 2020, doi: 10.1016/j.combiomed.2020.103976.

[12] Y. Onishi, T. Yoshida, H. Kurita, T. Fukao, H. Arihara, and A. Iwai, “An automated fruit harvesting robot by using deep learning,” *Robomech J.*, vol. 6, no. 1, pp. 1–8, 2019, doi: 10.1186/s40648-019-0141-2.

[13] M. H. Saleem, J. Potgieter, and K. M. Arif, “Automation in Agriculture by Machine and Deep Learning Techniques: A Review of Recent Developments,” *Precis. Agric.*, pp. 1–39, 2021, doi: 10.1007/s11119-021-09806-x.

[14] F. Gao *et al.*, “Multi-class fruit-on-plant detection for apple in SNAP system using Faster R-CNN,” *Comput. Electron. Agric.*, vol. 176, p. 105634, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105634>.

[15] S. Bargoti and J. Underwood, “Deep fruit detection in orchards,” in *2017 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, 2017, pp. 3626–3633, doi: 10.1109/ICRA.2017.7989417.

[16] J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick, and A. Farhadi, “You only look once: Unified, real-time object detection,” in *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2016, pp. 779–788, doi: 10.1109/CVPR.2016.91.


- [17] Y. Tian, G. Yang, Z. Wang, H. Wang, E. Li, and Z. Liang, "Apple detection during different growth stages in orchards using the improved YOLO-V3 model," *Comput. Electron. Agric.*, vol. 157, pp. 417–426, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.01.012>.
- [18] M. O. Lawal, "Tomato detection based on modified YOLOv3 framework," *Sci. Rep.*, vol. 11, no. 1, p. 1447, 2021, doi: [10.1038/s41598-021-81216-5](https://doi.org/10.1038/s41598-021-81216-5).
- [19] A. Koirala, K. B. Walsh, Z. Wang, and C. McCarthy, "Deep learning for real-time fruit detection and orchard fruit load estimation: benchmarking of 'MangoYOLO,'" *Precis. Agric.*, vol. 20, no. 6, pp. 1107–1135, 2019, doi: [10.1007/s11119-019-09642-0](https://doi.org/10.1007/s11119-019-09642-0).
- [20] A. Bochkovskiy, C.-Y. Wang, and H.-Y. M. Liao, "YOLOv4: Optimal Speed and Accuracy of Object Detection," 2020, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/2004.10934>.
- [21] H. Habaragamuwa, Y. Ogawa, T. Suzuki, T. Shiigi, M. Ono, and N. Kondo, "Detecting greenhouse strawberries (mature and immature), using deep convolutional neural network," *Eng. Agric. Environ. Food*, vol. 11, no. 3, pp. 127–138, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.eaef.2018.03.001>.
- [22] P. Pawara, E. Okafor, L. Schomaker, and M. Wiering, "Data Augmentation for Plant Classification," in *European Conference on Computer Vision*, 2017, pp. 615–626.
- [23] A. Hernández-García and P. König, "Further Advantages of Data Augmentation on Convolutional Neural Networks BT - Artificial Neural Networks and Machine Learning – ICANN 2018," in *International Conference on Artificial Neural Networks*, 2018, pp. 95–103.
- [24] A. Mikołajczyk and M. Grochowski, "Data augmentation for improving deep learning in image classification problem," in *2018 International Interdisciplinary PhD Workshop (IIPHDW)*, 2018, pp. 117–122, doi: [10.1109/IIPHDW.2018.8388338](https://doi.org/10.1109/IIPHDW.2018.8388338).
- [25] A. Kamilaris and F. X. Prenafeta-Boldú, "Deep learning in agriculture: A survey," *Comput. Electron. Agric.*, vol. 147, pp. 70–90, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.02.016>.
- [26] K. A. Steen, P. Christiansen, H. Karstoft, and R. N. Jørgensen, "Using Deep Learning to Challenge Safety Standard for Highly Autonomous Machines in Agriculture," *Journal of Imaging*, vol. 2, no. 1, 2016, doi: [10.3390/jimaging2010006](https://doi.org/10.3390/jimaging2010006).
- [27] M. Dyrmann, H. Karstoft, and H. S. Midtiby, "Plant species classification using deep convolutional neural network," *Biosyst. Eng.*, vol. 151, pp. 72–80, 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2016.08.024>.
- [28] P. Christiansen, L. N. Nielsen, K. A. Steen, R. N. Jørgensen, and H. Karstoft, "DeepAnomaly: Combining Background Subtraction and Deep Learning for Detecting Obstacles and Anomalies in an Agricultural Field," *Sensors*, vol. 16, no. 11, 2016, doi: [10.3390/s16111904](https://doi.org/10.3390/s16111904).
- [29] Tzutalin, "LabelImg." 2015, [Online]. Available: <https://github.com/tzutalin/labelImg>.
- [30] C.-Y. Wang, A. Bochkovskiy, and H.-Y. M. Liao, "Scaled-YOLOv4: Scaling Cross Stage Partial Network," in *In Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2021, pp. 13029–13038, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/2011.08036>.
- [31] Y. Shao *et al.*, "Assessment of strawberry ripeness using hyperspectral imaging," *Anal. Lett.*, vol. 54, no. 10, pp. 1547–1560, 2020.



Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

Effects of Green Light Supplementation with Red and Blue Combinations of LED Light Spectrums On The Growth of *Chlamydomonas Reinhardtii* (Chlorophyta)

 Murat TELLİ^{a,*},  Dina Nabil Mohammad ALJAMILI^a

^a Department of Biology, Faculty of Arts and Sciences, Bolu Abant İzzet Baysal University, Bolu, TURKEY

* Corresponding author's e-mail address: tellim@ibu.edu.tr

DOI: 10.29130/dübedited.1081185

ABSTRACT

Light management strategy regarding optimum spectral composition is a critical factor in microalgae cultivation to improve biomass and biosynthesis of valuable bioactive compounds. Recent advance in LED light technology provides unparalleled opportunity to test effects of specific wavelength on physiological response of algae. In this study, we investigated effects of white, monochromatic and combination of red (628 nm) and blue (462 nm) light in the ratio of 1: 1; 2: 1 and 1: 2 at the total light intensity of 40 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ on the growth of *Chlamydomonas reinhardtii*. Moreover, effects of green light (518 nm) supplementation on growth of algae, green light (518 nm) was added gradually into the combination of red:blue (1:2) at the light intensity of 3, 6, 9, 12 and 15 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ as an expense of red and blue light intensity at the ratio of 1:2. Results reveal that growth rate of *C. reinhardtii* was found in the order of red:blue (1: 2) > red:blue (2: 1) > red:blue (1: 1) > red > white > blue. Green light supplementation applied as 3 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ resulted in statistically significant higher optical density and dry weight than R:B (1: 2) used as control group in the experiment. Chlorophyll-a concentrations were found significantly higher in all green light supplementation than control group. Seems that 3 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ supplementation of green light together with red:blue combination results in a significant promotion on growth rate, chlorophyll-a and dry weight of *C. reinhardtii*.

Keywords: *Chlamydomonas reinhardtii*, Green Light Supplementation, Red Light, Blue Light, LED, Growth Rate

Mavi ve Kırmızı Işık Spektrumları İle Birlikte Yeşil Işık Katkısının *Chlamydomonas Reinhardtii* (Chlorophyta) Büyümesine Olan Etkileri

ÖZET

Mikroalg kültürlerinde uygulanacak optimum ışıklandırma stratejilerinin belirlenmesi, biyoaktif moleküllerin biyosentezi ve biokütle artışı sağlamada önemli bir parametredir. LED ışık teknolojilerinde son yıllarda yaşanan ilerlemeler, belirli ışık spektrumlarının ve bunların farklı karışımlarının mikro alglerin fizyolojik tepkilerine olan etkilerini araştırmak için önemli fırsatlar sağlamaktadır. Bu çalışmada, beyaz ışık, kırmızı (628 nm) ve mavi (462 nm) ışık spektrumları tek başına ve sırasıyla 1:1; 2:1 ve 1:2 oranlarında toplam ışık şiddeti 40 $\mu\text{mol foton m}^{-2} \text{s}^{-1}$ olacak şekilde *Chlamydomonas reinhardtii* mikroalg türünün büyümesine olan etkileri araştırılmıştır. Ayrıca, yeşil

ışık katkısının mikroalg büyümesine olan etkileri, kırmızı:yeşil (1:2) ışık karışımında 3, 6, 9, 12 ve 15 $\mu\text{mol foton m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ şiddetindeki mavi ışık şiddeti azaltılıp yerine yeşil ışık katkısı sağlanarak araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, *C. reinhardtii* mikroalg türünün büyüme oranları büyükten küçüğe doğru sırasıyla kırmızı:mavi (1: 2) > kırmızı:mavi (2: 1) > kırmızı:mavi (1: 1) > kırmızı > beyaz > mavi ışık olarak bulunmuştur. Yeşil ışık katkısında ise, 3 $\mu\text{mol foton m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ şiddetinde mavi ışıkla yer değiştirilen yeşil ışığın, mikroalg büyümesinde ve biokütle artışında kontrol grubu olarak kullanılan kırmızı:mavi (1:2) grubuna göre istatistiksel olarak kayda değer bir artış sağladığı bulunmuştur. Yeşil ışık katkısının uygulandığı tüm deneysel gruplarda kontrol grubuna oranla klorofil konsantrasyonunda kayda değer bir artış gözlemlenmiştir. Bu çalışmada 3 $\mu\text{mol foton m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ şiddetindeki yeşil ışık katkısının kırmızı:mavi ışık karışımı ile birlikte mikroalg büyümesinde, klorofil-a konsantrasyonunda ve kuru ağırlık eldesinde kayda değer bir artışa neden olduğu bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: *Chlamydomonas reinhardtii*, Yeşil Işık Katkısı, Kırmızı Işık, Mavi Işık, Büyüme, LED

I. INTRODUCTION

In recent past decades, microalgae have emerged as a promising alternative and renewable energy resources in different industrial sectors of biotechnology. Developing in bioreactor systems applied for mass cultivation of microalgae enable to extract high value of bioactive compounds such as protein, fatty acids, lipids, vitamins, phycobilins and carotenoids in industrial scale for production of biofuel, food additive component, nutraceuticals, and pharmaceuticals ingredients [1]-[4].

The design of effective illumination systems integrated into photobioreactors is one of the key parameters for lower operating cost of algae production. Although, using natural sunlight has been widely used as the most cost-effective illumination source, it is highly fluctuated in light intensity and quality over day depending on regional and seasonal variations. Algae cultures are often subjected to light limiting during early and late hours of daytime or photo-inhibition condition in mid of day [5]. Light emitting diodes (LEDs) with narrow light spectra, high conversion rate and low heat emission provide effective and controllable illumination systems compared to fluorescent and halogen lamps for photobioreactors [6]. Recent advance in LED light technology enable to researchers to use a variety of LEDs emitting from far red to purple to investigate the physiological effects of specific wavelength and their combinations on photosynthetic efficiency of algae. Therefore, species specific optimization of LED light illumination has become an essential research effort to reap maximum yield from microalgae cultures.

Previous studies showed that spectral composition of red, and blue light have a significant impact on regulation of photosynthesis, energy conversion, morphology, cell cycle and biochemical composition of microalgae [7-9]. Baer et al. [10] reported in their study utilizing different combination of red and blue light on different microalgae species that blue light spectrum enhances the function of photosystem I while red light enhances photosystem II. In *Nannochloropsis sp.*, blue light promotes biomass productivity and lipid biosynthesis [11]. Astaxanthin accumulation is enhanced under high irradiance of blue light illumination in *Haematococcus pluvialis*. [12]. Li et al. [13] shows lipid and carbohydrate synthesis are promoted under red-orange light combination, and protein synthesis under monochromatic blue light in *C. reinhardtii*. It has been reported that combination of red and blue light spectrums results in higher biomass, primary and secondary products of algae species than monochromatic light [6]. A complex antagonistic and synergetic interaction especially between phytochrome and cryptochrome photoreceptors regulating physiological response might be an explanation for attained higher biomass under red and blue light combinations [14].

However, green light as a supplementary light source in combination with red and blue light has not received attention due to its low absorption rate from chlorophyll. Studies associated with monochromatic green light applications on algae and plants has recorded the lowest biomass and cell proliferation compared to monochromatic blue and red light [10]. The only record associated with algae is published by Kalmaoğlu [15]. showed that green light supplplantation significantly promotes growth rate of *Haematococcus pluvialis*. Moreover, Kim et al. [16]. addressing a potential increase in lettuce growth under 24 % green light supplementation in combination with red and blue spectrums. However, there is no comprehensive literature on supplemental of green light effects on physiological and molecular mechanisms of plant and algae species. It has been considered that higher light penetration rate of green light into plant canopy may promote light harvesting rate of plants in lower canopy [16]-[17].

In the present study, we aimed to investigate optimum spectral light quality to improve growth rate of *C. reinhardtii* by using monochromatic and dichromatic blue and red LED light spectrum in different proportion. Moreover, we used gradually increased green light supplementation into red: blue light combinations to investigate its putative additive effects on growth parameters of *C. reinhardtii*.

II. MATERIAL AND METHODS

A. STRAINS and CULTURE CONDITIONS

C. reinhardtii was obtained from the culture collection of algae at UTEX (Utex number: 89, Massachusetts, USA) The axenic stock culture was maintained in a 250 mL conical flask containing 200 mL of modified BG-11 medium [18]. The medium consisted of NaNO₃, 1.5 g; K₃HPO₄, 0.4 g; MgSO₄*7H₂O, 75 mg; CaCl₂*2H₂O, 36 mg; C₆H₈O₇, 6 mg; Ammonium Fe (III) citrate, 0.006 g; Na₂ EDTA*2H₂O, 1 mg; Na₂CO₃, 20 mg; H₃BO₃, 2.9 mg; MnCl₂*4H₂O, 1.8 mg; ZnSO₄*7H₂O, 0.22 mg; Na₂MoO₄*2H₂O, 0.39 mg; CuSO₄*5H₂O, 0.08 mg; Co(NO₃)*6H₂O, 0.05 mg Thiamine-HCl, 0.1 mg per liter of deionized water. The algal cultures were illuminated from the bottom of conical flask at a light intensity of 40 μmol photons m⁻² s⁻¹ white LED light sourced at of 25 ± 0.5 °C in a cycle of 18 h light and 6 h dark. Aeration was supplied by air bubbling through a sterile membrane filter of 0.2 μm in pore size at a rate of 250 mL min⁻¹, supplemented with 5 % CO₂ to maintain the pH between 7.2 and 7.5.

B. EXPERIMENTAL CONDITIONS:

Two separate experiments (named as light quality and green light supplementation) were conducted. In light quality experiment we investigate effects of white, monochromatic and combination of red (peak value 628 nm) and blue (peak value 462 nm) light in the ratio of 1:1; 2:1 and 1:2 at the total light intensity of 40 μmol photons m⁻² s⁻¹. In green light supplplantation experiment, green light (peak value 518 nm) was supplemented gradually into the combination of red: blue (1: 2) at the light intensity of 3, 6, 9, 12 and 15 μmol photons m⁻² s⁻¹ as an expense of red and blue light intensity at the ratio of 1:2. Applied LED light conditions are given in Table 1. LED light systems is composed of 12V RGB 50/50 LED strips connected to an Arduino based computer control system. Light combinations were adjusted by changing electric currency of each R-G-B connections on LED strips using a modified Arduino software (Figure 1). Light intensities were measured by OHSP-350 portable light meter (Hopocolor, China) from the center of the culture flask. Treatments were isolated by light proof dark plexiglass and replicated 3 times.



Figure 1. Arduino based computer controlled addressable RGB LED light system used for the experiments.

Table 1. Applied LED light intensities and combinations in the experiments.

Light Quality Experiment	Light intensity $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$	Green Light Supplementation Experiment	Light intensity of R:G:B $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$
White	40	R:B (1:2)	13:0:27
Blue	40	R:G:B -1	12:3:25
Red	40	R:G:B -2	11:6:23
R:B (1:1)	20:20	R:G:B -3	10:9:21
R:B (2:1)	27:13	R:G:B -4	9:12:19
R:B (1:2)	13:27	R:G:B -5	8:15:21

C. GROWTH ANALYSES

The growth rate algae cultures were monitored by measuring optical density measured at 664 nm using VWR (UV-6300 PC model) double beam UV visible spectrophotometer. Biomass was measured by dry mass. 10 mL culture were filtered through pre-dried and pre-weighted 0.2- μm cellulose nitrate membrane filters (Sartorius) and dried at 60°C overnight. Chlorophyll-a concentrations were measured spectrophotometrically according to [19] with slight modifications: 4mL homogenized sample was centrifuged for 5 min at 5000 rpm, and the remaining pellet was re-suspended in 1 mL of absolute methanol and incubated overnight in dark at 4 °C after vigorous vortex. Then, the solution was centrifuged for 5 min at 5000 rpm, and the supernatant quantified spectrophotometrically at a wavelength of 665 and 652 nm. Chlorophyll-a was calculated as $\mu\text{g/ml}$ using the formula $16.72 \cdot A_{665} - 9.16 \cdot A_{652}$ where A_{665} and A_{652} absorbance values at 665 and 652 nm respectively.

III. RESULTS

Growth rate of *C. reinhardtii* measured as optical density under monochromatic blue and red-light source did not show significant differences then white light. There are significant higher growth rates measured under all red: blue combination of 1:1, 2:1 and 1:2 compared to white light (Figure 2 (a), Table 2 (a)). However, there is no statistically significant differences between red: blue combinations of 1:2 and 2:1. That might indicate, red or blue dominated fractions of combinations do not result in a significant difference in *C. reinhardtii*.

Table 2. Bonferroni *p*-value of Post-hoc Tukey HSD test for (a) growth rate, (b) chlorophyll-a and (c) dry weight mg mL⁻¹ of *C. reinhardtii* in different LED light quality. (statistically significance *p*<0.05*, *p*<0.01**).

Light Combinations	WHITE	RED	BLUE	R:B (1:1)	R:B (2:1)	R:B (1:2)
(a) Growth						
WHITE		1.620	3.352	0.03*	0.00**	0.00**
RED			0.159	0.805	0.00**	0.00**
BLUE				0.003**	0.00**	0.00**
R:B (1:1)					0.029*	0.221
R:B (2:1)						4.347
(b) Chlorophyll-a						
WHITE		0.00**	0.045*	6.362	4.351	11.290
RED			0.000**	0.000**	0.000**	0.000**
BLUE				0.021*	0.013*	0.029*
R:B (1:1)					11.770	9.340
R:B (2:1)						6.719
(c) Dry Weight						
WHITE		0.229	0.115	0.899	0.498	0.653
RED			0.899	0.576	0.012*	0.019*
BLUE				0.347	0.005**	0.009**
R:B (1:1)					0.183	0.283
R:B (2:1)						0.899

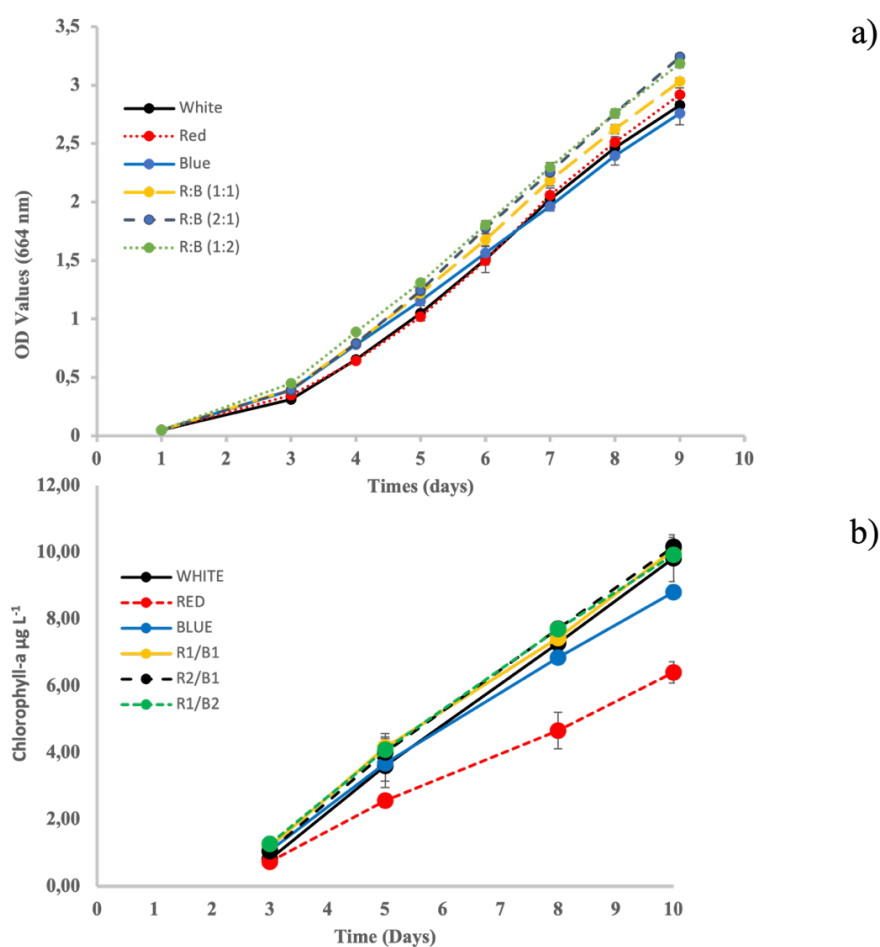


Figure 2. (a) Optical density changing and (b) chlorophyll-a concentration of *C. reinhardtii* cultures in different LED light quality.

Chlorophyll-a concentrations show a consistent pattern with growth rates that the lowest chlorophyll-a concentration was found in monochromatic red and blue light applications (Figure 2 (b); Table 2 (b)). However, the differences between white and red: blue combinations are not statistically significant. Associated with dry weight, it is not promoted by red: blue light combinations. Monochromatic blue and red light result in a significant decrease in dry weight compared to red: blue combinations of 1:2 and 2:1 ratios (Table 3 and 2 (c)).

Table 3. Dry weight of *C. reinhardtii* with standard deviations measured at the end of the light quality and green light supplementation experiments.

Light Quality Experiment	Dry Weight (mg mL ⁻¹)	Standard Deviation	Green Light Supplementation Experiment	Dry Weight (mg mL ⁻¹)	Standard Deviation
White	0.175	0.04	R:B (1:2)	0.183	0.07
Blue	0.105	0.04	R:G:B -1	0.275	0.05
Red	0.120	0.04	R:G:B -2	0.207	0.06
R:B (1:1)	0.213	0.08	R:G:B -3	0.230	0.03
R:B (2:1)	0.213	0.02	R:G:B -4	0.263	0.06
R:B (1:2)	0.200	0.03	R:G:B -5	0.233	0.03

Based on the highest growth rate measured on light quality applications, we choose R:B (1:2) to test if green light supplementation promote growth rate of *C. reinhardtii*. Growth rate given in Figure 3 (a) show that green light supplemented as 3, 6, 9, 12 and 15 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ as an expense of red and blue light intensity at the ratio of 1:2 respectively promote growth rate compared to R:B (1:2). Although, results are not statistically significant except for R:G:B-1 (3 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ supplementation), decreasing red and blue light quantity up to 15 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ did not result in decrease in growth rate (Table 4 (a)). Chlorophyll-a concentrations between green light supplementation treatments did not show statistically differentiation, but all supplemented groups are significantly higher chlorophyll-a concentration than R:B (1:2) used as control group in the experiment (Figure 3 (b) and Table 4 (b)). Dry weight results have also consistent pattern with growth rates that only R:G:B-1 (3 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ supplementation) is statically higher dry weight compared to R/B (1:2) (Table 3 and 4 (c)). Seems that 3 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ supplementation of green light promote growth rate, chlorophyll-a and dry weight of *C. reinhardtii*.

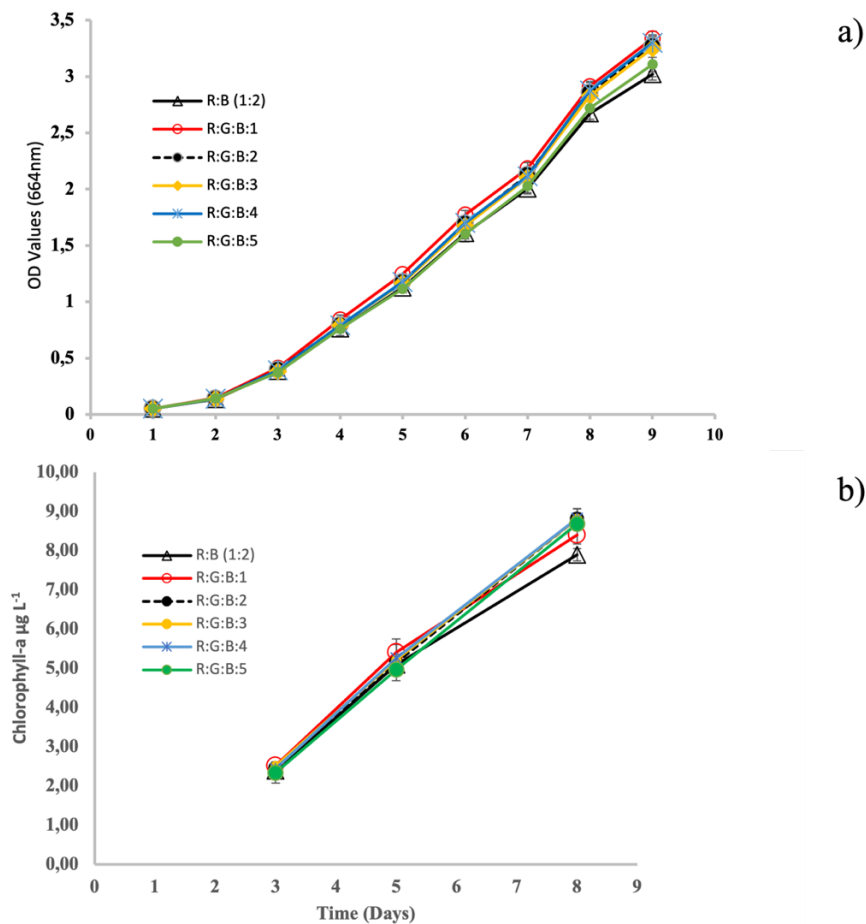


Figure 3. (a) Optical density changing and (b) chlorophyll-a concentration of *C. reinhardtii* cultures in different green light supplementation.

Table 4. Bonferroni *p*-value of Post-hoc Tukey HSD test for growth rate (a), chlorophyll-a (b) and dry weight mg mL⁻¹ (c) of *C. reinhardtii* in green light supplementation experiment. (*statistically significance for *p*<0.05, **statistically significance for *p*<0.01).

Light Combinations	R:B (1:2)	R:G:B -1	R:G:B -2	R:G:B -3	R:G:B -4	R:G:B -5
(a) Growth						
R:B (1:2)		0.016*	0.073	0.012	0.039	0.859
R:G:B -1			0.899	0.859	0.899	0.102
R:G:B -2				0.899	0.899	0.385
R:G:B -3					0.899	0.488
R:G:B -4						0.227
(b) Chlorophyll-a						
R:B (1:2)		0.089	0.006**	0.001**	0.001**	0.005**
R:G:B -1			0.611	0.224	0.194	0.560
R:G:B -2				0.899	0.899	0.899
R:G:B -3					0.899	0.899
R:G:B -4						0.899
(c) Dry Weight						
R:B (1:2)		0.045*	0.899	0.840	0.419	0.798
R:G:B -1			0.115	0.272	0.672	0.305
R:G:B -2				0.899	0.714	0.899
R:G:B -3					0.899	0.899
R:G:B -4						0.899

IV. DISCUSSION

Previous studies regarding optimum spectral light quality strategies to improve algae growth showed that blue and red-LED light combinations promote microalgae biomass compared with monochromatic or full spectrum of white light [20], [23]. However, results of related studies are not consistent and show species dependent pattern about optimal red and blue ratios. For example, red:blue ratios have been reported for as 1:3 for *Haematococcus lacustris* by Tran et al. [23], 1:1 for *Phaeodactylum tricornutum* and *Isochrysis galbana* and *Nannochloropsis salina* by Ra et al. [22], 1:3 for *Dunaliella salina* by Fu et al. [24], 3:7 for *Arthrospira platensis* by Lima et al. [25]. Results in the present study are consistent with the literature. Growth rate of *C. reinhardtii* was found in the order of red:blue - 1:2 > red:blue - 2:1 > red:blue - 1:1 > red > white > blue. Although red: blue combinations result in high optical density of algae cultures, red or blue dominated fraction rates seems not make a statistical significant differences between 2:1 and 1:2 of red: blue combinations (Table 2). Interestingly, under 1:1 ratio of red: blue combination growth rate is significantly decreased than 1:2 and 2:1 combination. Red dominated fraction rates may enhance excitation energy of PSII that might over-saturate PSI by promoting electron transfer to PSI over plastoquinone, cyt b₆f and plastocyanin complex. In blue dominated fraction rates, PSI may over-saturated directly by blue light together with electron transfer from PSII. Therefore, it might be logical to conclude that either in red or blue light fractionally dominated combination, reaction center of PSI is over-stimulated and increase photosynthetic activity compared to equal fractional rate of red and blue light combination in *C. reinhardtii* [14], [10]. Chlorophyll ratios were also found significantly higher in red: blue combinations and white lights than monochromatic red and blue light in *C. reinhardtii*. There are also significant differences between blue and red light. It has been reported that chlorophyll and carotenoid biosynthesis is mainly controlled by phototropin photoreceptors regulating blue light mediated changes in green algae of *Scenedesmus obliquus* and *Chlorella vulgaris* [26]. That might also be a case for blue light in *C. reinhardtii*. The same pattern was observed for dry weight between monochromatic and dichromatic light source, red: blue combinations resulted in significant higher dry weight (Table 2 and 3).

The second experiment was performed to test if green light supplementation promote growth rate of *C. reinhardtii*. As a general concept, green light spectrum is not absorbed and mostly reflected by plants and microalgae. Indeed, monochromatic green light applications results in the lowest photosynthetic activity in both plant and algae species. Therefore, green light has not received attention and mostly ignored in the literature. However recent publications showed that green light might have an important role regulating light harvesting, photosynthesis, and carbon assimilation in plant species [27], [16]. Terashima et al. [28] and Nishio [29] reported that depending on species, only 10-50 % of green light is reflected by chloroplast, the rest is absorbed by plant pigments. It is predicted that green light might have a vital role in CO₂ assimilation, signaling cascades regulation response of plant to changing in environmental conditions and promoting growth rate [27]. Green light might be used not only as photon source for photosynthesis but also as an information for signaling of light availability to acclimate shade conditions in lower canopy and control response of red and blue spectrum. However, the aforementioned studies only addressed higher plant species and there is no record on an algae species how to response to green light supplementation. Only study performed by Kalmaoğlu [15] on green algae *Haematococcus pluvialis* showed that algae species might have a similar function with higher plant in response to green light supplementation. Kalmaoğlu [15] reported that 20% green light supplementation with red and blue light combination result in around 20% increase in growth rate and upregulate expression of CO₂ assimilation gene Ribisco and light harvesting complex gene of PsbS in PSI.

In this study, green light supplementation was applied with red: blue (1:2) combinations that was recorded as highest growth rate of *C. reinhardtii*. We used a gradient green light supplementation dose of 3, 6, 9, 12 and 15 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ as an expense of red and blue light intensity at the ratio of 1:2. Light intensity was kept constant at 40 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ for all treatments against the bias

sourced from applied photon flux differences. Results show 10% increase in growth rate in 3 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ green light supplementation than red: blue (1:2) combinations. This results show a dose dependent green light enhancement effects together with red: blue combinations in growth rate of *C. reinhardtii*. Moreover, although OD values are not statistically significant except for R:G:B-1, none of treatments show decreasing in growth rate compared to red: blue combinations even the supplementation rate was 15 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ that composed of %38 of total light intensity. That might indicate a compensation capacity of green light supplementation against decreasing light intensity of red: blue combination in growth rate of *C. reinhardtii*. However, it is still an unsolved mechanism, how plant and algae harvest green light spectrum.

Carotenoids pigments such as xanthophylls having absorbance range extend into green region (400-550 nm) have been argued as a one of possible mechanism to harvest green light spectrum [30]. Xanthophylls is a key element of photoprotective mechanisms by dissipating excess energy into non-photochemical quenching under high irradiance. It has also transfer some of this excess energy to chlorophyll to be used in photosynthesis [31], [32]. Therefore, it might be logical to argue that xanthophylls pigments may have a role in harvesting green light spectrum to enhance growth rate in algae. The other argument as a putative electron acceptor mechanism form green light region is non-photosynthetic photoreceptors cryptochromes and tryptophan that absorb UV-A and blue light [33-35]. Sellaro et al. [35] showed that flavin adenine dinucleotide (FAD) light absorbing chromophore of cryptochrome may also absorbed green light region and transfer electron energy between flavin molecules during the redox reactions. However, it is not clear that if cryptochrome or uncharacterized another receptor regulate electron capture from green light and transfer the energy to be used in growth or developmental process in plant or algae.

V. CONCLUSION

LED light technology provide unparallel opportunity in plant and microalgae research to reveal effects of spectral light quality in photosynthesis and developmental process. That improve our knowledge to design species specific optimally balanced spectral LED system for higher growth in microalgae and plant. Results in this study show parallel with Kalmaoğlu [15] and Kim et al. [16] showing that dose dependent green light supplementation together with red:blue combinations can be used to increase growth rate of microalgae. Therefore, green light needs to be considered to use in horticultural LED light systems in indoor greenhouse applications for both plant and microalgae production.

ACKNOWLEDGEMENTS: This study was conducted in Bolu Abant İzzet Baysal University and supported by Beta ALG Biotechnology Limited Company. We are also grateful to Beta ALG Biotechnology Limited Company for their cooperation in allowing us to use their infrastructure.

VI. REFERENCES

- [1] S. Singh, B.N. Kate, U.C. Banerjee, "Bioactive compounds from cyanobacteria and microalgae: an overview". Crit Rev Biotechnol vol. 25, pp. 73–95, 2005.
- [2] M.A. Borowitzka, "High-value products from microalgae their development and commercialization". J. Appl. Phycol, vol. 25, pp. 743–756, 2013, doi:10.1007/s10811-013-9983-9.
- [3] M.L. Wells, P. Potin, J.S. Craigie, J.A. Raven, S.S. Merchant, K.E. Helliwell, A.G. Smith, M.E. Camire, S.H. Brawley, "Algae as nutritional and functional food sources: revisiting our understanding". J Appl Phycol, vol. 29, pp. 949–982, 2017.

- [4] M.I. Khan, J.H. Shin, J.D. Kim, “The promising future of microalgae: current status, challenges, and optimization of a sustainable and renewable industry for biofuels, feed, and other products”. *Microbial Cell Factories*, vol. 17, pp. 36-57, 2018, doi:10.1186/s12934-018-0879-x.
- [5] E.G. Nwoba, D.A. Parlevliet, D.W. Laird, K. Alameh, N.R. Moheimani, “Light management technologies for increasing algal photobioreactor efficiency”. *Algal Research*, vol. 39, pp. 101433, 2019.
- [6] P.S.C. Schulze, L.A. Barreira, H.G.C. Pereira, J.A. Perales et al., “Light emitting diodes (LEDs) applied to microalgal production”. *Trends Biotechnol*, vol. 32, pp. 422–430, 2014, doi:10.1016/j.tibtech.
- [7] H. Oldenhof, V. Zachleder, H. Van Den Ende, “Blue- and red-light regulation of the cell cycle in *Chlamydomonas reinhardtii* (Chlorophyta)”. *European Journal of Phycology*, vol. 41, no. 3, pp. 313-320, 2007, doi: 10.1080/09670260600699920.
- [8] D. Petroustos, R. Tokutsu, S. Maruyama, S. Flori, A. Greiner et al., “A blue-light photoreceptor mediates the feedback regulation of photosynthesis”. *Nature*, vol. 537, pp. 563–566, 2016, doi:10.1038/nature19358.
- [9] I. Wagner, C. Steinweg, C. Posten, “Mono and dichromatic LED illumination leads to enhanced growth and energy conversion for high-efficiency cultivation of microalgae for application in space”. *Biotechnol J.*, vol. 11, no. 8, pp. 1060-71, 2016, doi: 10.1002/biot.201500357.
- [10] S. Baer, M. Heining, P. Schwerna, R. Buchholz, H. Hübner, “Optimization of spectral light quality for growth and product formation in different microalgae using a continuous photobioreactor”. *Algal Res.*, vol. 14, pp. 109–115, 2016.
- [11] A. Vadivelooa, N.R. Moheimania, J.J.Cosgroveab, P.A. Bahri, D. Parlevliet, “Effect of different light spectra on the growth and productivity of acclimated *Nannochloropsis* sp. (*Eustigmatophyceae*)”. *Algal Research*, vol. 8, pp. 121-127, 2015.
- [12] S. Pereira, A. Otero, “*Haematococcus pluvialis* bioprocess optimization: Effect of light quality, temperature and irradiance on growth, pigment content and photosynthetic response”. *Algal Research*, vol. 51, pp.1020-27, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.algal.2020.102027>.
- [13] X. Li, J. Huff, D.W. Crunkleton, T.W. Johannes, “LED alternating between blue and red-orange light improved the biomass and lipid productivity of *Chlamydomonas reinhardtii*”. *Journal of Biotechnology*, vol. 341, pp. 96-102, 2021.
- [14] Casal, “Phytochromes, Cryptochromes, Phototropin: Photoreceptor Interactions in Plants”. *Photochemistry and Photobiology*, vol. 71, no. 1, pp. 1–11, 2000.
- [15] G. Kalmaoğlu, “Effects of green light spectrum on growth and gene expression profiles of green algae *Haematococcus pluvialis*”. M.S. thesis, Bolu Abant Izzet Baysal University Institute of Graduate Studies Department of Biology, Bolu, TURKEY, 2021.
- [16] H.H. Kim, G.D. Goins, R.M. Wheeler, J.C. Sager, “Green-light supplementation for enhanced lettuce growth under red- and blue-light-emitting diodes”. *HortScience*, vol. 39, no. 7, pp. 1617-22, 2004.
- [17] R.M. Klein, P.C. Edsall, A.C. Gentile, “Effects of near ultraviolet and green radiation on plant growth”. *Plant Physiol.*, vol. 40, pp. 903–906, 1965.

- [18] R.Y. Stanier, R. Kunisawa, M. Mandel, G. Cohen-Bazire, “Purification and properties of unicellular blue-green algae (order Chroococcales)”. *Bacteriological Reviews*, vol. 35, no. 2, pp. 171–205, 1971, doi:10.1128/MMBR.35.2.171-205.1971 PMID:4998365.
- [19] Seely GR, Duncan MJ, Vidaver WE (1972). Preparative and analytical extraction of pigments from brown algae with dimethyl sulfoxide. *Marine Biology* 12(2): 184 –188. doi:org/10.1007/BF00350754.
- [20] X. Li, J. Manuel, D.W. Crunkleton, T.W. Johannes, “Effect of blue and red-orange LEDs on the growth and biochemical profile of *Chlamydomonas reinhardtii*”. *Journal of Applied Phycology*, vol. 33, pp. 1367–1377, 2020.
- [21] H. Xu, X. Liu, Z. Mei, J. Lin, S. Aaron, H. Du, “Effects of Various Light-Emitting Diode (LED) Wavelengths on the Growth of *Scenedesmus Obliquus* Fachb-12 and Accumulation of Astaxanthin”. *Phyton*, vol.88, no. 3, pp. 35-348, 2019.
- [22] C.H. Ra, P. Sirisuk, J.H. Jung, G.T. Jeong, S.K. Kim, “Effects of light- emitting diode (LED) with a mixture of wavelengths on the growth and lipid content of microalgae”. *Bioprocess Biosyst Eng.*, vol. 41, pp. 457–465, 2018.
- [23] H.L. Tran, K.H. Lee, C.H. Hong, “Effects of LED irradiation on the growth and Astaxanthin Production of *Haematococcus lacustris*”. *Biosciences Biotechnology Research Asia*, vol. 12, no. 2, pp. 1167-1173, 2015.
- [24] W. Fu, Ó. Guðmundsson, G. Paglia, G. Herjólfsson, Ó.S. Andrésón, B.Ø. Pálsson, S. Brynjólfsson, “Enhancement of carotenoid biosynthesis in the green microalga *Dunaliella salina* with light-emitting diodes and adaptive laboratory evolution”. *Appl Microbiol Biotechnol.*, vol. 97, pp. 2395–2403, 2013.
- [25] G.M. Lima, P.C.N. Teixeira, C.M.L.L. Teixeira, D. Filócomo, C.L.S. Lage, “Influence of spectral light quality on the pigment concentrations and biomass productivity of *Arthrospira platensis*”. *Algal Research*, vol. 31, pp. 157–166, 2018.
- [26] A. Kianianmomeni, A. Hallmann, “Algal photoreceptors: invivo functions and potential applications”. *Planta*, vol. 239, pp. 1–26, 2014, doi:10.1007/s00425-013-1962-5.
- [27] H.L. Smith, L. McAusland, E.H. Murchie, “Don’t ignore the green light: exploring diverse roles in plant processes”. *Journal of Experimental Botany*, vol. 68, no. 9, pp. 2099–2110, 2006, doi:10.1093/jxb/erx098.
- [28] I. Terashima, T. Fujita, T. Inoue, W.S. Chow, R. Oguchi, “Green light drives leaf photosynthesis more efficiently than red light in strong white light: revisiting the enigmatic question of why leaves are green”. *Plant and Cell Physiology*, vol. 50, pp. 684–697, 2009.
- [29] J.N. Nishio, “Why are higher plants green? Evolution of the higher plant photosynthetic pigment complement”. *Plant Cell and Environment*, vol. 23, pp. 539–548, 2000.
- [30] P.J. Walla, C.P. Holleboom, G.R. Fleming, “Non-photochemical quenching and energy dissipation in plants, algae and cyanobacteria”. in: B Demmig-Adams, G Garab, W Adams 3th eds. Dordrecht, Springer Netherlands, 2014.
- [31] H. Hashimoto, Y. Sugai, C. Uragami, A.T. Gardiner, R.J. Cogdell, “Natural and artificial light-harvesting systems utilizing the functions of carotenoids”. *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*, vol. 25, pp. 46–70, 2015.

- [32] E. Hofmann, P.M. Wrench, F.P. Sharples, R.G. Hiller, W. Welte, K. Diederichs, “Structural basis of light harvesting by carotenoids: peridinin-chlorophyll-protein from *Amphidinium carterae*”. *Science*, vol. 272, pp. 1788–1791, 1996.
- [33] L.S. Hayley, L. McAusland, E.H. Murchie, “Don’t ignore the green light: exploring diverse roles in plant processes”. *Journal of Experimental Botany*, vol. 68, no. 9, pp. 2099–2110, 2017, doi:10.1093/jxb/erx098.
- [34] B. Liu, H. Liu, D. Zhong, C. Lin, “Searching for a photocycle of the cryptochrome photoreceptors”. *Current Opinion in Plant Biology*, vol. 13, pp.578–586, 2010.
- [35] R. Sellaro, M. Crepy, S.A. Trupkin, E. Karayekov, A.S. Buchovsky, C. Rossi, J.J. Casal, “Cryptochrome as a sensor of the blue/green ratio of natural radiation in *Arabidopsis*”. *Plant Physiology*, vol. 154, pp. 401–409, 2010.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Natürel Sızma Zeytinyağının Kısa ve Uzun Süreli Isıl İşlem Sırasındaki Stabilitésinin Riviera Zeytinyağı ile Karşılaştırmalı Olarak Değerlendirilmesi

 Gülgün Çakmak Arslan*

Biyoloji Bölümü, Fen-Edebiyat Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

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

DOI: 10.29130/dubited.1110616

ÖZ

Zeytinyağının en az işlem görmüş çeşidi olan natürel sızma zeytinyağı (NSZY), içerdiği yüksek miktardaki antioksidanlar ve tekli doymamış yağ asitleri nedeniyle en sağlıklı yağlardan birisi olarak kabul edilmektedir. Ancak soğuk tüketilmesi gerektiğine inanıldığı için, bu yağ yemeklerde ve kızartmalarda tercih edilmemektedir. Bu çalışmada, kısa ve uzun süreli ısıl işlemin NSZY'nin kalitesi üzerindeki etkileri, pişirme tipi zeytinyağı olarak bilinen riviera zeytinyağı (RZY) ile karşılaştırmalı olarak Azaltılmış Toplam Yansıma-Fourier Dönüşüm Kızılötesi (ATR-FTIR) spektroskopisi kullanılarak araştırılmıştır. Yağ örnekleri günlük 6 saatlik periyotlarla, 24 saat boyunca fritözde ısıtılmış (180 °C) ve bu yağlardan kısa süreli ısıl etki için 1/2., 1. ve 2. saatin sonunda, uzun süreli etki için 6., 12., 18. ve 24. saatin sonunda alınan örnekler incelenmiştir. Sonuçlar, her iki yağda da ısıl işlemin cis yağ asitlerinin miktarında azalmaya, trans yağ asitlerinin ve birincil ve ikincil oksidasyon ürünlerinin miktarında artışa sebep olduğunu göstermiştir. Bu değişikliklerin çoğu NSZY'de RZY'den daha geç başlamış ve kısa süreli ısıl işlem boyunca daha düşük boyutlarda ortaya çıkmıştır. Uzun süreli ısıtmada ise NSZY'de meydana gelen değişimlerin RZY'den daha büyük boyutlarda olduğu gözlenmiştir. Bu sonuçlar kısa süreli ısıl işlem için NSZY'nin RZY'den daha dayanıklı olduğunu ve yemeklerde ve tekrarlı olmayan kızartmalarda daha sağlıklı bir alternatif olarak kullanılabileceğini ancak uzun süreli ısıl işlemler için tercih edilmemesi gerektiğini göstermiştir. Ayrıca bu çalışmanın sonuçları, yağların oksidatif stabilitesinin ATR-FTIR spektroskopisi ile herhangi bir ön işleme gerek duyulmaksızın hızlı bir şekilde analiz edilebileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Natürel sızma zeytinyağı, Riviera zeytinyağı, Azaltılmış Toplam Yansıma-Fourier Dönüşüm Kızılötesi (ATR-FTIR) spektroskopisi, Oksidatif stabilize, Lipit oksidasyonu

Evaluation of Extra Virgin Olive Oil Stability during Short and Long Term Heat Treatment in Comparison with Riviera Olive Oil

ABSTRACT

Extra virgin olive oil (EVOO), the least processed type of olive oil, is considered one of the healthiest oils due to its high content of antioxidants and monounsaturated fatty acids. However, since it is believed that it should be consumed cold, this oil is not preferred for cooking and frying. In this study, the effects of short and long term heat treatment on the quality of EVOO in comparison with riviera olive oil (ROO), which is known as cooking type olive oil, were investigated using Attenuated Total Reflection-Fourier Transformation Infrared (ATR-FTIR) spectroscopy. Oil samples were heated in a fryer (180 °C) for 24 hours with 6 h periods daily and the samples taken from these oils at the end of the 1/2., 1st and 2nd h for short-term thermal effect and at the end of the 6th, 12th, 18th and 24th h for long-term effects were examined. The results showed that heat treatment caused a

decrease in the amount of cis fatty acids and increases in the amounts of trans fatty acids and primary and secondary oxidation products in both oils. Most of these changes started later in EVOO than in ROO and occurred at lower rates during short-term heat treatment. It was observed that the changes in EVOO were larger than ROO in long-term heating. These results showed that EVOO is more resistant than ROO for short-term heat treatment and can be used as a healthier alternative in cooking and non-repetitive frying but it should not be preferred for long-term heat treatment. In addition, the results of this study showed that the oxidative stability of oils can be analyzed quickly by ATR-FTIR spectroscopy without the need for any pre-processing.

Keywords: *Extra virgin olive oil, Riviera olive oil, Attenuated Total Reflection-Fourier Transform Infrared (ATR-FTIR) Spectroscopy, Oxidative stability, Lipid oxidation*

I. GİRİŞ

Rafine edilmeden ham olarak tüketilebilen tek bitkisel yağ olan natürel sızma zeytinyağı (NSZY) Akdeniz ülkelerinde binlerce yıldır salatalarda kullanılmaktadır [1]. Son yıllarda yemek pişirme ya da kızartma sırasında oluşan lipit oksidasyonu nedeniyle yağlarda oluşan toksik maddelerin tehlikesiyle ilgili endişeler tüm dünyada bu yağa olan ilginin artmasına sebep olmuştur [1]. Eşsiz tadı ve aromasının yanı sıra içerdiği yüksek miktardaki tekli doymamış yağ asitleri, tokoferoller, fenoller, beta karoten, skuelan gibi antioksidanlar NSZY’i sağlıklı beslenme açısından diğer bitkisel yağlara göre daha üstün kılmaktadır [2], [3]. NSZY, rafinasyon işlemi uygulanmadan kontrollü sıcaklık koşulları altında mekanik presle elde edildiği için içindeki tekli doymamış yağ asitlerinin çoklu doymamış yağ asitlerine oranı ve önemli biyoaktif bileşikler korunmaktadır [4]. Dolayısıyla, NSZY en az işlem görmüş ve antioksidanlar açısından en zengin zeytinyağıdır. Bu yağın insan sağlığı üzerindeki olumlu etkileri uzun yıllardır bilinmektedir. Daha önce gerçekleştirilen çalışmalarda, NSZY’nin içerdiği yüksek miktardaki tekli doymamış yağ asitleri ve antioksidan maddeler nedeniyle koroner kalp hastalıklarını [5], [6], bazı kanserleri [7], Alzheimer hastalığı riskini [8] azalttığı gösterilmiştir. Ayrıca önceki araştırmalarda NSZY’nin vücutta kan basıncını düşürdüğü [9], HDL-kolesterolü artırıp LDL-kolesterolü azaltarak lipit profilini iyileştirdiği [10], inflamasyonu [11], LDL’nin oksidasyonunu [12], istenmeyen kan pıhtılaşmalarını [13] ve nükleik asitler üzerindeki oksidatif hasarı [14] önlediği gösterilmiştir.

NSZY en sağlıklı yağlardan birisi olmasına rağmen yüksek fiyatı ve yetersiz tüketici bilinci nedeniyle çok yaygın olarak tüketilmemektedir [15]. Dünya zeytinyağının çoğu Akdeniz ülkelerinde üretilmektedir. Ancak, Akdeniz bölgesinde üretilen önemli miktarda zeytinyağı (toplam üretimin %20’sinden fazlası) o kadar düşük kalitededir ki insan tüketimine uygun hale gelmesi için rafine edilmesi gerekir [16]. Doğrudan tüketilemeyecek kalitede olan zeytinyağlarına uygulanan rafinasyon işlemi reçinenin uzaklaştırılması, nötralizasyon, ağartma, koku giderme gibi işlemleri içermektedir ve bu işlemler sırasında bazı istenmeyen özellikler ortadan kaldırılrsa da, yağın kendine özgü aroması ve içindeki faydalı biyoaktif bileşikler büyük oranda kaybolmaktadır [17]. NSZY’ye göre biraz daha ucuz olan fiyatı nedeniyle daha çok tercih edilen riviera zeytinyağı (RZY), rafine edilmiş zeytinyağı ile doğrudan tüketime uygun natürel zeytinyağlarının değişen oranlarda (%5-20) karışımından oluşmaktadır [15]. RZY’nin pişirme ve kızartmaya daha uygun olduğu görüşü nedeniyle bu yağ pişirme tipi zeytinyağı olarak bilinir ve daha çok yemek pişirmek için tercih edilir [18]. NSZY’nin ise her zaman soğuk tüketilmesi gerektiğine inanılmaktadır. Ancak son yıllarda, ısı kaynaklı bozulma ve dönüşüme rağmen içindeki yüksek miktardaki antioksidan maddeler nedeniyle NSZY’nin yemek pişirmek içinde en iyi yağlardan biri olabileceğine dair görüşler artmıştır [19], [21]. NSZY’nin, tekli doymamış yağ asitleri açısından zengin ve çoklu doymamış yağ asitleri açısından fakir olması nedeniyle ve içindeki antioksidan bileşiklerin pişirme sırasındaki bozulmaya karşı koruyucu bir etki göstermesi beklendiği için yemek pişirmek ve hatta kızartma için RZY’den daha kaliteli bir yağ olabileceği düşünülmektedir [21].

Yemeklik yağların bozulmasında en önemli etkenlerden birisi olan oksidasyon, yağların kalitesinin ve besin değerinin azalmasına neden olur [22]. Bu nedenle yağların kalitesini araştıran çalışmalar ağırlıklı olarak yağ oksidasyonuna odaklanmaktadır. Lipid bozunması oda sıcaklığında oldukça yavaş bir süreç

olduğundan, yağların oksidatif stabilitesini nispeten kısa sürede tahmin etmek için hızlandırılmış prosedürler kullanılmaktadır. Yağların oksidasyonunu değerlendirmek için kullanılan yaklaşımlardan birisi, onları kızartma sıcaklığı gibi yüksek sıcaklıklarda ısıtmak ve peşinden çeşitli biyokimyasal ve analitik tekniklerle belli ölçümler yapmaktır [23], [24]. Bu amaçla kullanılan birçok biyokimyasal teknik vardır ancak bu teknikler genellikle tehlikeli ve toksik çözücüler, uzun deney ve analiz süreleri gerektirmektedir [25], [28]. Bu nedenle son yıllarda yağ analizi için nükleer manyetik rezonans (NMR), Fourier Dönüşüm Kızıl Ötesi (FTIR), kütle spektroskopisi, gaz kromatografisi gibi analitik tekniklere olan ilgi artmıştır [29], [32]. Bu analitik tekniklerden birisi olan FTIR spektroskopisine azaltılmış toplam yansıma (ATR) aksesuarının eklenmesi ile oluşturulan ATR-FTIR spektroskopisi yağların oksidasyonu hakkında oldukça değerli bilgiler vermesinin yanı sıra diğer tekniklere göre birçok avantaja sahiptir. Ölçüm için çok az miktarda numuneye ihtiyaç duyması, ölçümleri çok kısa sürede ve son derece hassas bir şekilde gerçekleştirebilmesi ve incelenecek numuneye herhangi bir ön işlem uygulanmasına gerek olmaması bu tekniğin avantajlarından sadece birkaç tanesidir [33], [34]. ATR-FTIR spektroskopisinde her fonksiyonel grubun karakteristik titreşim modları belirli dalga sayılarında bantlarla sonuçlanır. Bu kızılötesi bantlar analiz edilerek incelenen numune hakkında çok önemli nitel ve nicel bilgiler elde edilebilir [35]. Bu teknik daha önce çeşitli yağların oksidatif stabilitesinin karşılaştırılması amacıyla birçok çalışmada kullanılmıştır [33], [35], [37]. Literatürde NSZY'nin kızartma sıcaklığındaki termal stabilitesini araştıran çok az sayıda çalışma mevcuttur ve bu çalışmalar genellikle çeşitli biyokimyasal tekniklerle gerçekleştirilmiştir [21], [38], [39]. Daha önce ATR-FTIR spektroskopisi kullanarak gerçekleştirdiğimiz bir çalışmada NSZY'nin uzun süreli ısıtma işlemi sırasında termal stabilitesi fındık yağı ile karşılaştırılmıştır [35]. Ancak, literatürde NSZY'nin termal stabilitesini, RZY ile karşılaştıran bir çalışma mevcut değildir. Bu çalışmanın amacı, kısa ve uzun süreli ısıtma işleminin NSZY'nin kalitesi üzerindeki etkilerini RZY ile karşılaştırmalı olarak ortaya çıkarmaktır. Bu amaç doğrultusunda, kızartma sırasında NSZY ve RZY'de yüksek ısının neden olduğu yapısal ve kompozisyonel değişiklikler ATR-FTIR spektroskopisi kullanılarak belirlenmiş ve bu değişikliklerin boyutları birbiriyle kıyaslanmıştır.

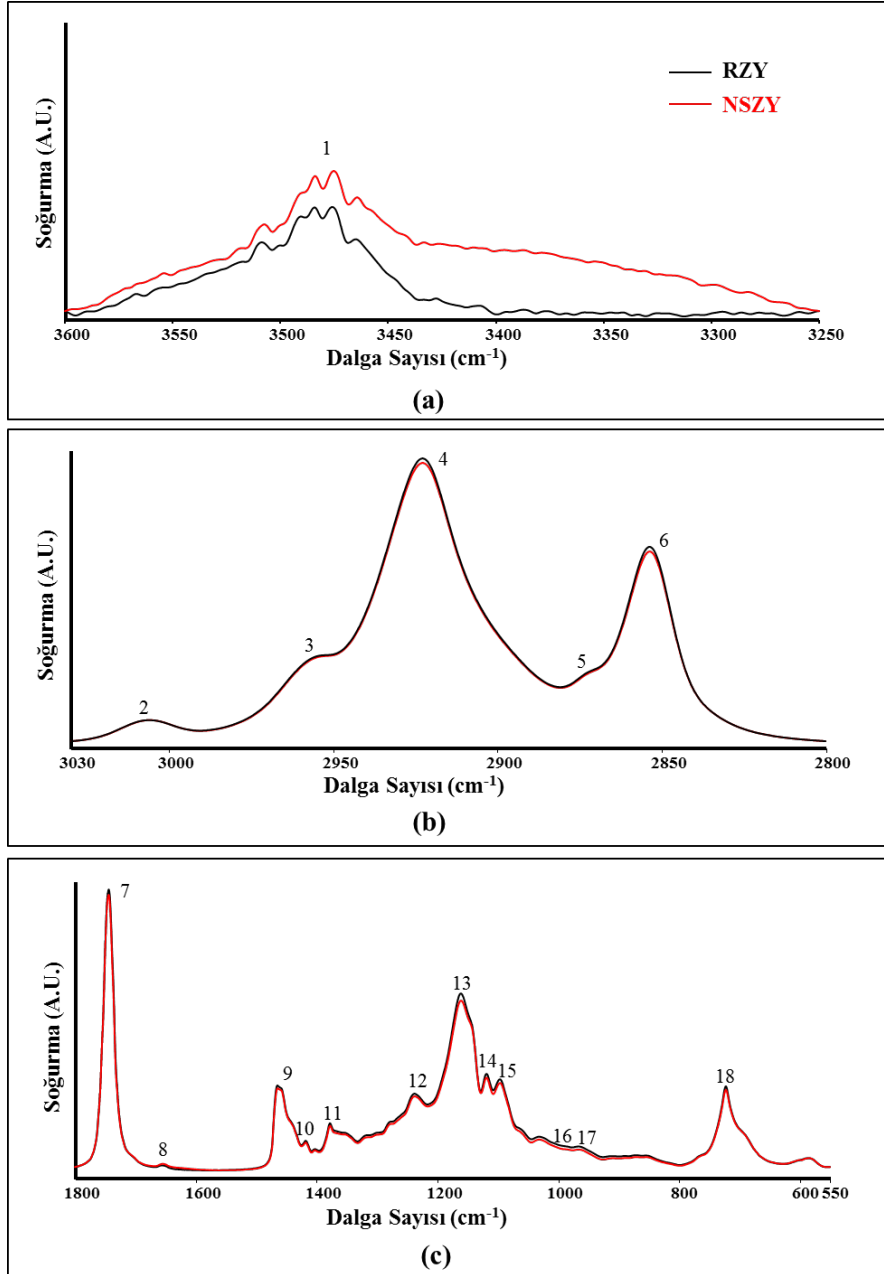
II. MATERYAL VE METOT

Çalışmada Düzce ilindeki yerel marketlerden satın alınmış, 2021 sezonunda üretilen aynı markaya ait NSZY ve RZY kullanılmıştır. Termal oksidasyon işlemi, 3 L'lik bir fritözde (Remta, Türkiye) gerçekleştirilmiştir. Deney boyunca yağın sıcaklığını kontrol edebilmek için fritöze bir termometre yerleştirilmiştir. Yaklaşık 2 L NSZY ve RZY günde 6 saatlik periyotlarla toplam 24 saat boyunca 180 °C'de ısıtılmıştır. Isıtma işlemi boyunca kısa süreli ısıtmanın etkisini görebilmek için 1/2, 1 ve 2 saat sonra, uzun süreli etkiyi görebilmek için 6., 12., 18. ve 24. saatlerde yağlardan 3 mL numune alınmıştır. Örnekler ATR-FTIR spektroskopi ölçümlerine kadar 4 °C'de kahverengi cam şişelerde saklanmıştır. Her numunenin ısıtma işlemi iki kez gerçekleştirilmiştir.

Yağların ATR-FTIR spektrumları, ATR aksesuarına (PerkinElmer Ltd., UK) bağlı Spectrum Two FTIR spektrometresi ile kaydedildi. Spektrumlar, oda sıcaklığında 4000-550 cm^{-1} dalga boyu aralığında 32 tarama ile 4 cm^{-1} çözünürlükte elde edildi. Deneyler, ATR ünitesinin elmas/çinko-selenid kristali üzerine 5 μL yağ numunesi pipetlenerek yapıldı. ATR ünitesinin kristali, önceki numuneden kalan kalıntıları ortadan kaldırmak için etanol kullanılarak temizlendi. Sonuçların güvenilirliğini artırmak için her numuneden üç kez çekim yapıldı. Böylece, her ısıtma zamanı aralığı için altı spektrum elde edildi ve daha sonra bu altı spektrumun ortalaması alınarak bir ısıtma zamanı aralığını temsil eden tek bir spektrum oluşturuldu. Her numune ölçümünün başında yeni bir arka plan (background) spektrumu kaydedildi. Kızılötesi bantların analizleri Spectrum 100 yazılımı (Perkin Elmer) kullanılarak gerçekleştirildi [35].

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Şekil 1a-c ısıtılmamış NSZY ve RZY'den elde edilen ATR-FTIR spektrumlarının 3600-3250, 3030-2800 ve 1800-550 cm^{-1} bölgelerini göstermektedir. Bu şekillerde başlıca bantlar işaretlenmiş ve bu bantların literatüre göre tanımları Tablo 1'de verilmiştir. Şekillerden görüldüğü gibi kızılötesi spektrumu, yağda bulunan çeşitli fonksiyonel gruplara atfedilebilen birçok farklı banttandır ve NSZY ve RZY spektrumları birkaç banttaki küçük farklılıklar dışında birbirine oldukça benzemektedir.

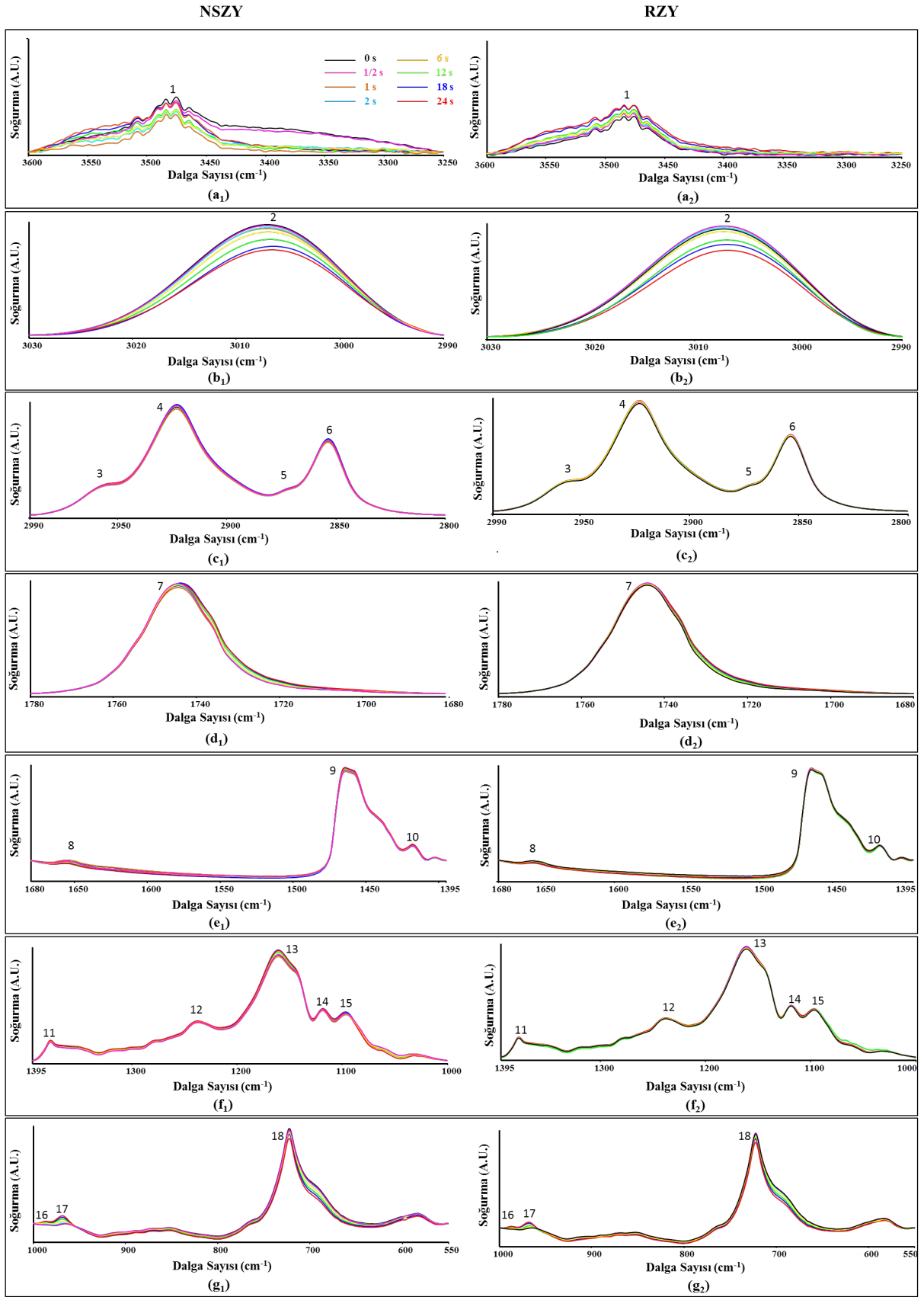


Şekil 1. Isıtılmamış NSZY ve RZY'nin (a) 3600-3250 cm^{-1} , (b) 3030-2800 cm^{-1} ve (c) 1800-550 cm^{-1} bölgelerindeki ATR-FTIR spektrumları.

Tablo 1. NSZY VE RZY'nin ATR-FTIR spektrumundaki başlıca soğurma bantları [34], [36], [40].

Bant No	Dalga Sayısı (cm ⁻¹)	Spektral Bantların Tanımı
1	3475	Trigliseritlerin ester gruplarının gerilme titreşimleri
2	3007	Cis çift bağların C-H simetrik gerilme titreşimleri
3	2956	Alifatik CH ₃ gruplarının C-H antisimetrik gerilme titreşimleri
4	2923	Alifatik CH ₂ gruplarının C-H antisimetrik gerilme titreşimleri
5	2873	Alifatik CH ₃ gruplarının C-H simetrik gerilme titreşimleri
6	2854	Alifatik CH ₂ gruplarının C-H simetrik gerilme titreşimleri
7	1744	Trigliseritlerin ester karbonil (C=O) gerilme titreşimleri
8	1653	C=C cis-olefinlerin gerilme titreşimleri
9	1464	CH ₂ alifatik gruplarının eğilme titreşimleri
10	1418	Cis-disübstitüsyon olefinlerin C-H bağlarının salınma titreşimleri
11	1377	CH ₂ gruplarının C-H bağlarının eğilme titreşimleri
12	1237	Ester gruplarının C-O gerilme titreşimleri ve CH ₂ gruplarının eğilme titreşimleri
13	1160	Ester gruplarının C-O gerilme titreşimleri ve CH ₂ gruplarının eğilme titreşimleri
14	1119	Ester gruplarının C-O gerilme titreşimleri
15	1096	Ester gruplarının C-O gerilme titreşimleri
16	987	Konjuge C-H trans olefinik gruplarının eğilme titreşimleri
17	965	İzole edilmiş trans olefinlerin C-H fonksiyonel gruplarının eğilme titreşimi
18	722	CH ₂ salınma titreşimi ve cis-disübstitüsyon olefinlerin düzlem dışı titreşimi

Bu çalışmada, NSZY ve RZY'de kısa (1/2, 1 ve 2 saatlik) ve uzun süreli (6, 12, 18, 24 saatlik) ısıtım işlemi sonrası meydana gelen değişimleri daha detaylı ortaya çıkarabilmek için kızıl ötesi spektrumları 7 bölgeye ayrılarak incelenmiştir. Şekil 2a-g, ısıtılmamış ve kısa ve uzun süreler boyunca ısıtılmış NSZY ve RZY'nin kızılötesi spektrumlarının 3600-3250, 3030-2990, 2990-2800, 1780-1680, 1680-1395, 1395-1000 ve 1000-550 cm⁻¹ bölgelerini göstermektedir. Bu şekillerden görüldüğü gibi bazı kızılötesi bantlarda (# 1, 2, 7, 8, 16, 17, 18) ısıtılmamış ve ısıtılmış numuneler arasında önemli farklar olmasına rağmen bazı bantlarda fark ortaya çıkmamıştır.



Şekil 2. Isıtılmamış ve kısa (1/2, 1 ve 2 saatlik) ve uzun (6, 12, 18, 24 saatlik) süreler boyunca ısıtılmış NSZY ve RZY'nin ATR-FTIR spektrumlarının (a_{1,2}) 3600-3250, (b_{1,2}) 3030-2990, (c_{1,2}) 2990-2800, (d_{1,2}) 1780-1680, (e_{1,2}) 1680-1395, (f_{1,2}) 1395-1000 ve (g_{1,2}) 1000-550 cm⁻¹ bölgeleri.

Bir FTIR spektrumunda spesifik moleküllerden kaynaklanan bantların sinyal şiddeti ve/veya altındaki alan, sistemdeki o fonksiyonel grupların miktarı ile doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle kızılötesi bantların altında kalan alan değerleri ölçülerek o molekülün miktarı hakkında bilgi sahibi olunabilmektedir [41]. Isıtılmamış, kısa ve uzun süreler boyunca ısıtılmış NSZY ve RZY'den elde edilen, önemli farkların gözlemlendiği kızılötesi bantların altında kalan alanlardaki değişiklikler Tablo 2'de verilmiştir. Bu tabloda, NSZY ve RZY'de meydana gelen değişimlerin büyüklüklerinin birbiriyle karşılaştırılabilmesi için ısıtılmamış yağlara göre gerçekleşen değişim miktarları yüzdelik olarak verilmiştir.

Tablo 2. NSZY ve RZY'den elde edilen, önemli farkların gözlemlendiği kızılötesi bantların alan değerlerinde, kısa (1/2, 1 ve 2 saatlik) ve uzun (6, 12, 18, 24 saatlik) süreli ısıtılma işleminden sonraki değişiklikler. Isıtılmış yağlardaki ısıtılmamış yağa göre gözlenen değişimler yüzde olarak alan değerlerinin altında verilmiştir. (-) kontrole göre bir azalmayı ve (+) kontrole göre bir artışı göstermektedir.

Dalga Sayısı (cm ⁻¹)			Isıtma Zamanı (saat)						
			0	1/2	1	2	6	12	18
3475 (# 1)	NSZY	0,25	0,1	0,08	0,12	0,13	0,13	0,16	0,17
			-60,00%	-68,00%	-52,00%	-48,00%	-48,00%	-36,00%	-32,00%
	RZY	0,1	0,11	0,12	0,12	0,14	0,15	0,17	0,19
			10,00%	20,00%	20,00%	40,00%	50,00%	70,00%	90,00%
3007 (# 2)	NSZY	0,19	0,18	0,18	0,18	0,17	0,16	0,15	0,13
			-5,26%	-5,26%	-5,26%	-10,53%	-15,79%	-21,05%	-31,58%
	RZY	0,19	0,19	0,19	0,19	0,18	0,16	0,16	0,15
			0,00%	0,00%	0,00%	-5,26%	-15,79%	-15,79%	-21,05%
1744 (# 7)	NSZY	4,78	4,84	4,84	4,85	4,91	5,02	5,14	5,27
			1,26%	1,26%	1,46%	2,72%	5,02%	7,53%	10,25%
	RZY	4,91	5,01	5,01	5,01	5,02	5,11	5,16	5,3
			2,04%	2,04%	2,04%	2,24%	4,07%	5,09%	7,94%
1653 (# 8)	NSZY	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01
			0,00%	0,00%	0,00%	-33,33%	-33,33%	-66,67%	-66,67%
	RZY	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02
			0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-33,33%	-33,33%	-33,33%
987 (# 16)	NSZY	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,03	0,04
			0,00%	0,00%	0,00%	100,00%	200,00%	200,00%	300,00%
	RZY	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03
			0,00%	0,00%	0,00%	100,00%	100,00%	200,00%	200,00%
965 (# 17)	NSZY	0,09	0,09	0,09	0,1	0,12	0,14	0,16	0,17
			0,00%	0,00%	11,11%	33,33%	55,56%	77,78%	88,89%
	RZY	0,09	0,1	0,1	0,1	0,11	0,12	0,14	0,16
			11,11%	11,11%	11,11%	22,22%	33,33%	55,56%	77,78%
722 (# 18)	NSZY	2,48	2,42	2,4	2,37	2,29	2,14	2,04	1,91
			-2,42%	-3,23%	-4,44%	-7,66%	-13,71%	-17,74%	-22,98%
	RZY	2,45	2,45	2,43	2,4	2,33	2,22	2,11	2
			0,00%	-0,82%	-2,04%	-4,90%	-9,39%	-13,88%	-18,37%

Şekil 2a, NSZY ve RZY'de kısa ve uzun süreli ısıtma işlemi sırasında 3600-3250 cm⁻¹ bölgesinde meydana gelen değişimleri göstermektedir. Bu bölgede, yaklaşık 3444 cm⁻¹'de ortaya çıkan bant, lipid oksidasyonunun birincil ürünleri olan hidroperoksitlere ve 3475 cm⁻¹'deki (# 1) bant esas olarak gliserid ester karbonil absorpsiyonlarına atfedilir [34]. Bu şekillerden görüldüğü gibi, ısıtılmamış

NSZY ve RZY spektrumlarında 3444 cm^{-1} 'de bir bant yoktur. Bir numunede çok düşük miktarlarda bulunan bileşikler, kızılötesi spektrumda tespit edilemeyen çok zayıf bantlar verdiği için, bu sonuç, ısıtılmamış yağlarda hidroperoksit olmadığını göstermektedir. 3475 cm^{-1} bantının tokoferollerdeki -OH gruplarından da güçlü sinyaller aldığı bilinmektedir [35], [42]. Dolayısıyla, bu bant ısıtılmamış yağlardaki gliserit esterlerin miktarlarının değerlendirilmesinin yanında tokoferol miktarlarının değerlendirilmesinde de kullanılabilir. Daha net bir biçimde Şekil 1a'dan ve Tablo 2'den görüldüğü gibi 3475 cm^{-1} bantının altında kalan alan ısıtılmamış NSZY'de ısıtılmamış RZY'den daha büyüktür (2,5 kat). Bitkisel yağlardaki en önemli oksidasyon engelleyici ajanlar olarak kabul edilen tokoferoller, natürel zeytinyağında genellikle 5-400 mg/kg arasında değişen miktarlarda bulunmaktadır [43], [44]. Ancak, yapıları son derece hassas olan bu bileşiklerin miktarlarının rafinasyon işlemi sırasında önemli ölçüde azaldığı bilinmektedir [16], [45]. RZY, rafine ve natürel zeytinyağlarının bir karışımı olduğundan ısıtılmamış RZY'de bu bantın alan değerinin düşük olmasının sebebi içindeki tokoferol miktarının NSZY'den daha düşük olması olabilir. Buradaki sonuçla uyumlu bir şekilde önceki çalışmalarda rafinasyon işleminden sonra zeytinyağının tokoferol içeriğinde %52,5'lük bir azalma olduğu ve çeşitli bölgelerden toplanmış rafine zeytinyağlarının tokoferol miktarlarının maksimum seviyelerinin 114-152 mg/kg arasında değiştiği rapor edilmiştir [16], [45], [47].

Kızartma işlemi yağın içinde gerçekleşen ve sıcaklık, oksijen, pH, vb. faktörlerden etkilendiği bilinen birçok reaksiyondan oluşan kompleks bir süreçtir [48]. Kızartma sırasında gerçekleşen en önemli reaksiyon yağ asitlerinin oksidasyonudur [22]. Bazı parametreler yağdan yağa farklılık gösterse de, yağlardaki oksidasyon sürecinin ana aşamaları benzerdir. Yağlarda bu süreçte ilk önce birincil oksidasyon ürünleri olarak bilinen hidroperoksitlerin oluşumuna neden olan otooksidasyon başlar ve daha sonra bu bileşiklerin parçalanması, ikincil ve üçüncül oksidasyon ürünlerinin oluşumuna yol açar [22]. Oksidasyon prosesi ilerledikçe yağın içindeki hidroperoksit gruplarının miktarının ve bunların kızılötesi spektrumdaki absorpsiyonunun arttığı bilinmektedir. 3444 cm^{-1} 'de ortaya çıkan hidroperoksitlerin fonksiyonel grubu 3475 cm^{-1} 'deki gliserid ester bantıyla örtüşen ve bu bantın absorpsiyonunda bir artışa neden olan geniş bir bant verir [34]. Bu nedenle oksidasyon işlemi sırasında hidroperoksit üretimi hakkında bilgi sahibi olmak için 3475 cm^{-1} bantının absorpsiyon/alan analizi yapılabilir [34]. Şekil 2a ve Tablo 2'den görüldüğü gibi NSZY'de bu bantın altında kalan alan ilk 1 saatte dramatik bir şekilde azalmış, ondan sonra 24 saat boyunca hep artma eğiliminde olmuştur. RZY'de ise bu bantın altında kalan alan 24 saat boyunca hep artış eğiliminde olmuştur. Bu artış, ilk yarım saatte %10, 1 ve 2. saatte %20 oranında ortaya çıkarken, 6. saatte %40'a, 24. saatte %90'a ulaşmıştır. Bu bantta gözlenen değişimler ısıtma süresi ile birlikte her iki yağda da hidroperoksitlerin konsantrasyonunun arttığını göstermiştir. Ancak bu değişimin NSZY'de ilk 1 saatte azalma olarak ortaya çıkıp daha sonra artışa dönüşmesi bu yağda yüksek miktarda bulunan tokoferollere bağlanabilir. Yüksek derecelerdeki ısı muamelesi nedeniyle NSZY'de ilk 1 saatte tokoferol miktarında önemli bir azalma meydana gelmiş, bu azalmadan dolayı bantın alan değeri azalmıştır ancak 2. saatten sonra sistemdeki hidroperoksit miktarındaki artıştan kaynaklı bu bantın alanında bir artış meydana gelmiştir. RZY'de ise tokoferol miktarı NSZY'den çok daha düşük olduğu için yağdaki hidroperoksit artışından dolayı ilk yarım saatten itibaren alan değerinde bir artış gözlenmiş ve bu artışın boyutu 24 saat boyunca hep yükselmiştir. Ayrıca Tablo 2'den NSZY'de bu bantın alanındaki artışın 12. saatten sonra daha dramatik hale geldiği de görülmektedir. Tablodaki değişim oranları 0 saate göre hesaplandığından ve NSZY'de tokoferol içeriğindeki azalmadan dolayı bantın alanında ilk 1 saatte ciddi derecede bir azalma olduğundan yüzdelik değişim değerleri negatif çıkmıştır. NSZY'de ısıtma boyunca en düşük değere sahip olan 1. saatle 6. ve 12. saat arasındaki yüzdelik değişim oranı hesaplandığında artışın %62,5; 18. saat arasındaki değişim oranının %100, 24. saat arasındaki değişim oranının %112,5 olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuç, NSZY'deki yüksek miktardaki tokoferol içeriğinin ilk 12 saat boyunca bir dereceye kadar NSZY'de hidroperoksit oluşumunu engellediğini fakat 12. saatin sonunda yağdaki tokoferollerin tamamının yapısının bozulmuş olması nedeniyle, bu yağda hidroperoksit miktarının çok daha yüksek oranda artmaya başladığını göstermektedir. Bu bulgular, kısa süreli ısıtmada NSZY'nin içerdiği tokoferol ve diğer antioksidan maddelerin yağda meydana gelen otooksidasyonu engellemesinden dolayı birincil oksidasyon ürünlerinin artışının engellenebildiğini ama sonrasında yüksek sıcaklık nedeniyle yapıları bozulduğu için bu engelin ortadan kalktığını göstermiştir. Buradaki sonuçla uyumlu olarak önceki çalışmalarda NSZY'deki

tokoferollerin miktarının ilk 3 saatlik ısıtmadan sonra ciddi derecede azaldığı, 8-9. saatten sonra tamamen kaybolduğu gösterilmiştir [38], [39], [49]. RZY’de ise hem kısa hem uzun süreli ısıtma birincil oksidasyon ürünlerinin miktarında önemli artışlara sebep olmuştur. Daha önce gerçekleştirilen, rafine zeytinyağı ile NSZY’nin içerdiği tokoferol içeriklerinin ısı muamelesi ile nasıl değiştiğini araştıran bir çalışmada rafine zeytinyağındaki tokoferol miktarında meydana gelen azalmanın NSZY’deki azalmadan çok daha fazla olduğu rapor edilmiş ve bu değişim rafinasyon sırasında miktarları azalan diğer antioksidan maddelere bağlanmıştır [28].

Şekil 2b, 3007 cm^{-1} deki (# 2) banttaki değişiklikleri göstermektedir. Bu bant cis-olefinik çift bağların C-H gerilme titreşimlerinden kaynaklanmaktadır ve doymamış yağ asitlerinin cis çift bağlarının miktarları hakkında bilgi vermektedir [50]. Şekil 2b ve Tablo 2’den görüldüğü gibi hem NSZY hem RZY’de ısıtma işleminden sonra bu bantın altında kalan alan azalmıştır ancak bu azalma NSZY’de ilk yarım saatte ortaya çıkarken (%5,26) RZY’de 6. saatte ortaya çıkmıştır. Ayrıca azalma genel olarak NSZY’de RZY’den daha yüksek oranda ortaya çıkmıştır. Örneğin, 6 saatlik ısıtma süresi sonunda azalma oranı NSZY için %10,53 iken RZY için bu oran %5,26’dır. Bu eğilim 24 saat boyunca devam etmiş ve 24. saatin sonunda NSZY için %31,58, RZY için %21,05 olmuştur. Bu sonuç ısıtma işleminin NSZY ve RZY’deki doymamış yağ asitlerinin cis olefinik çift bağlarının miktarında bir azalmaya neden olduğunu ve bu azalmanın NSZY’de biraz daha erken ve daha yüksek oranda ortaya çıktığını göstermiştir. Bu bulgu yine doymamış yağ asitlerinin cis çift bağlarından kaynaklanan 1653 ve 722 cm^{-1} bantlarının analizlerinden elde edilen sonuçlarla güçlü bir şekilde desteklenmiştir. 1680-1395 cm^{-1} spektral bölgesindeki (Şekil 2e) 1653 cm^{-1} de (# 8) ortaya çıkan zayıf bant, cis-disübstitüsyon olefiniklerin C=C gerilme titreşimleri ile ilişkilidir [51]. Şekil 2e ve Tablo 2’den görüldüğü gibi, bu bantın altındaki alan NSZY’de ilk 2 saat, RZY’de ilk 6 saat boyunca hiçbir değişime uğramamış daha sonra her iki yağda da azalmıştır. 24 saatlik ısıtma sırasında NSZY’de (%66,67) RZY’nin (%33,33) iki katı oranında bir azalma olmuştur. Benzer şekilde, 1000-550 cm^{-1} bölgesinde yer alan 722 cm^{-1} bantı (# 18) (Şekil 2g) tıpkı 3007 ve 1653 cm^{-1} bantları gibi doymamış yağ asitlerinin cis çift bağlarından kaynaklanır ve bunların değerlendirilmesi için kullanılır [34], [35]. Şekil 2g ve Tablo 2’den görüldüğü gibi, bu bantın altındaki alan NSZY’de ilk yarım saatte %2,42 oranında azalmış, bu azalma ilk iki saatte %4,44’e yükselmiş ve kademeli olarak artarak 24 saatlik ısıtma sonunda %23’e ulaşmıştır. RZY’de ise ilk yarım saatte bir değişim gözlenmemiş, 1. saatin sonunda %0,82’lik bir artış ortaya çıkmış ve bu değişim oranındaki artış NSZY’dekinden daha düşük oranlarda artarak 24 saatin sonunda %18,37’ye ulaşmıştır. Bu sonuç, 3007 ve 1653 cm^{-1} bantlarından elde edilen ısıtma sürecinin her iki yağdaki cis yağ asidi miktarını azalttığını, bu azalmanın NSZY’de biraz daha yüksek oranda ortaya çıktığı sonucunu desteklemektedir.

Yukarıda da bahsedildiği gibi lipit oksidasyonu eş zamanlı veya ardışık birçok reaksiyondan oluşan bir süreçtir. Oksidasyonun ilk aşamasında, yağlardaki yağ asitlerinden H atomu uzaklaştırılır ve lipit alkil radikalleri oluşur. Bu H atomunu yağ asitinden uzaklaştırmak için gereken enerji, hidrojen atomunun molekül içindeki konumuna bağlı olarak değişmektedir. Özellikle iki çift bağ arasındaki bir karbon atomuna bağlı olan H atomlarını molekülden uzaklaştırmak için gereken enerji daha az olduğundan bu H’ler molekülden kolaylıkla uzaklaştırılır, C radikaline bitişik olan çift bağ, daha kararlı olan bir sonraki C atomuna kayar ve yapısını cis formdan trans forma değiştirir [22]. Dolayısıyla oksidasyon reaksiyonları çift bağların yeniden düzenlenmesine neden olmakta ve oksidasyon süreci ilerledikçe sistemdeki cis yağ asidi miktarı azalmakta, onunla paralel olarak trans yağ asidi miktarı artmaktadır. 3007, 1653 ve 722 cm^{-1} bantlarının alan analizlerinden elde ettiğimiz, bu bantların alan değerlerinde azalma meydana geldiği sonucu ısıtma süreci boyunca cis konformasyona sahip çift bağların sayısının bu iki yağda da azaldığını göstermektedir.

Şekil 2d’de gösterilen 1780-1680 cm^{-1} arasındaki bölge, esterler, aldehitler ve ketonları da içeren trigliseritlerin karboksilik asit titreşimlerinden sinyaller almaktadır [51]. Bu bölgedeki 1744 cm^{-1} deki (# 7) bant esas olarak lipidlerdeki karbonil esterlere atfedilir. Isıtılmamış NSZY ve RZY spektrumları karşılaştırıldığında bu bantın alan değerinin NSZY’de RZY’den oldukça düşük olduğu görülmektedir (Tablo 2). Sistemde bulunan tüm karbonil bileşiklerinden sinyaller alan bu bant yağlardaki serbest yağ asitlerinin değerlendirilmesinde de kullanılabilir. Çünkü sistemde serbest yağ asitleri biriktiğinde ortaya 1710 cm^{-1} ’de bir bant çıkmakta ve 1744 cm^{-1} bantının alan değerinde bir artış

meydana getirmektedir [52, 53]. Dolayısıyla ısıtılmamış RZY’de kaydedilen daha büyük alan değeri, ısıtılmamış RZY’de serbest yağ asidi miktarının daha fazla olmasının bir sonucu olabilir. Zeytinyağı için önemli bir kalite ölçütü olan serbest asitlik, yağların sınıflandırılmasında yani ticari değerlerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır ve asitlik düzeyinin düşük olması bir yağın kalitesi için çok önemlidir [54]. Dolayısıyla bu bulgu NSZY’nin daha düşük asitlik değerine sahip olmasından dolayı daha kaliteli bir yağ olduğunu doğrulamaktadır. Isıl işlemin NSZY ve RZY üzerindeki etkileri karşılaştırıldığında Şekil 2d ve Tablo 2’den de görüldüğü gibi, bu bantın alan değeri her iki yağda da ısıtma işleminden sonra artmıştır. Fakat ilk yarım saatlik ısı maruziyeti sonrası RZY’deki artış (%2,04) NSZY’deki artıştan (%1,26) daha yüksek oranda ortaya çıkmış, bu artış oranı her iki yağda da ilk 2 saat boyunca korunmuştur. Ancak 6. saatten sonra NSZY’de daha büyük oranda bir artış gözlenmiş ve bu eğilim 24 saat boyunca devam etmiştir. Yukarıda da bahsedildiği gibi yağlardaki oksidasyon süreci sırasında oluşan birincil oksidasyon ürünlerinin parçalanması ile esterler, alkoller, aldehitler, ketonlar, laktonlar, hidrokarbonlar ve serbest yağ asitleri gibi karbonil içeren birçok ikincil oksidasyon ürünü oluşur [55], [56]. Önceki çalışmalarda 1744 cm^{-1} bantındaki değişikliklerin doymuş aldehitlerin üretimi, hidroperoksitlerin dekompozisyonu ya da lipid oksidasyonu sırasında ortaya çıkan diğer ikincil oksidasyon ürünlerinden kaynaklanan yaklaşık 1728 cm^{-1} ’de ortaya çıkan bir banttan ve serbest yağ asitlerinden kaynaklanan bir bant olan 1710 cm^{-1} bantından kaynaklanabileceği gösterilmiştir [36], [52], [53], [57]. Bu iki bant 1744 cm^{-1} bantına çok yakındır, onunla üst üste çakışabilir ve bu bantın genişlemesine ve alanının artmasına neden olur. Bu nedenle her iki yağda da ısıl işlemden sonra bu bantın alan değerlerinde gözlenen artışlar yağlarda meydana gelen lipid oksidasyon sürecinin ve bu süreçte lipidlerin parçalandığının ve ikincil oksidasyon ürünlerinin oluştuğunun bir kanıtıdır. Bu oksidasyon ürünleri NSZY’de kısa süreli ısıtmada (ilk 2 saat) RZY’den daha düşük oranda ortaya çıkmış olmasına rağmen 6. saatten itibaren artış oranının NSZY’de daha yüksek oranda ortaya çıkması NSZY’de yüksek miktarda bulunan antioksidan madde miktarına bağlanabilir. Tıpkı birincil oksidasyon ürünlerinde olduğu gibi NSZY’nin içindeki antioksidanlar ilk 6 saat boyunca sistemde ikincil oksidasyon ürünü miktarının artışı engelleyen ama uzun süreli ısıtmada yapıları bozulduğu için bu ürünlerin artışı engellenememiştir.

$1000\text{-}550\text{ cm}^{-1}$ bölgesindeki 987 ve 965 cm^{-1} bantları sistemdeki trans doymamış yağ asitlerinin miktarını belirlemek için kullanılır (Şekil 2g). 987 cm^{-1} ’deki (# 16) bant, hidroperoksitlerin C-H trans konjuge dien gruplarının bükülme titreşimlerinden sinyaller almaktadır [58]. Şekil 2g ve Tablo 2’de görüldüğü gibi, bu bant ısıtılmamış yağ numunelerinde yok denecek kadar zayıftır ve her iki yağda da bu bantın altında kalan alan kısa süreli ısıtma süresince yani ilk 2 saat boyunca değişmemiş ve 6. saatin sonunda her iki yağda da %100 artmıştır. Ancak NSZY’de 12 saatlik ısıl işlemden sonra bu bantın alanında %200’lük bir artış ortaya çıkmış ve artış oranı 24 saatlik ısıl işlemden sonra %300 olarak maksimum seviyeye ulaşmıştır. RZY’de ise %200’lük artış oranına 18. saatte ulaşılmış ve 24. saatte bu artış %200’de sabit kalmıştır. Yani kısa süreli ısıtmada her iki yağda da bir değişim olmamıştır ancak uzun süreli ısıtmada NSZY’deki değişim daha yüksek oranda gerçekleşmiştir. 965 cm^{-1} ’deki bant (# 17), trans çift bağlar içeren ketonlar veya aldehitler gibi ikincil oksidasyon ürünlerinden kaynaklanmaktadır [34], [59]. Şekil 2g ve Tablo 2’de görüldüğü gibi, ısıtılmamış NSZY ve RZY numunelerinde 965 cm^{-1} ’de zayıf bir bant vardır ve bu bantın alanı her iki yağda da ısıl işlemden sonra artmıştır. Ancak, NSZY ve RZY’de bu artışın başlangıç zamanı ve oranı farklı olmuştur. Isıtılmış NSZY’de ilk 1 saatte bir değişiklik olmamış, 2 saatlik ısıl işlemden sonra alanda %11,11’lik bir artış gözlenmiş ve 6. saatten sonra bu artış %33,33’e ulaşmış, 18 saatlik ısıl işleme kadar bu oran değişmeden kalmış ve 24. saatin sonunda %88,89’a kadar ulaşmıştır. Ancak, RZY’de, ilk yarım saatlik ısıl işlemden sonra bile bir artış (%11,11) gözlenmiş, bu artış ilk 2 saat boyunca sabit kalmış, 6. saatte %22,22’ye, 18. saatte %33,33’e, 24. saatte %77,78’e ulaşmıştır. Yani NSZY’de değişim daha geç başlamıştır ancak uzun süreli ısıtmada bu yağda meydana gelen değişim RZY’den daha yüksek oranda ortaya çıkmıştır. Bunun sebebi, NSZY’deki antioksidanların başlangıçta yağı koruması, 2. saatten sonra ise korumanın azalması sonucu trans yağ asidi oluşumunun hızlanması olarak açıklanabilir. Sonuç olarak, 3007 , 1653 ve 722 cm^{-1} bantlarının alan değerlerindeki azalmalar ve 987 , 965 cm^{-1} bantlarının alanlarındaki artışlar ısıtılmış yağ numunelerinde çift bağların konjugasyonunu ve cis-trans izomerizasyonun meydana geldiğini ortaya çıkarmıştır [36], [51], [58]. NSZY ve RZY’de ısıtma süresi arttıkça cis-doymamışlık seviyesi azalmış ve trans yağ asitleri artmıştır. Her ne kadar NSZY ve RZY’de ısıya maruz kalma süresi ile azalan cis-doymamışlık ve artan

trans-yağ asitleri eğilimi genel olarak benzesede, cis-trans dönüşümü üzerinde kısa süreli ısıtmanın etkisinin RZY’de daha yüksek olduğu ama uzun dönem ısıtmanın etkisinin NSZY’de daha yüksek olduğu görülmüştür.

Bu çalışmada belirli kızılötesi bantlar analiz edilerek NSZY ve RZY’nin termal oksidasyonu sırasında meydana gelen temel olaylar olan cis/trans izomerizasyonu ve birincil ve ikincil oksidasyon ürünlerinin üretimi hakkında değerli bilgiler elde edilmiştir [34]. Sonuçlar kısa ve uzun süreli ısıtma işlemi açısından her iki yağ için karşılaştırıldığında cis yağ asidi miktarındaki azalmanın kısa süreli ısıtmada NSZY’de biraz daha yüksek olmasına rağmen her iki yağda da çok düşük olduğu, uzun süreli ısıtmada ise NSZY’de daha büyük boyutta ortaya çıktığı tespit edilmiştir. Trans yağ asitlerindeki artışlar değerlendirildiğinde NSZY’de ilk 1-2 saatte değişim gözlenmemiş, RZY’deki artış ise ilk yarım saatte başlamıştır. Uzun süreli ısıtmada ise NSZY’deki trans yağ asidi artış oranı RZY’den daha büyük boyutta ortaya çıkmıştır. Benzer şekilde birincil ve ikincil oksidasyon ürünlerinin miktarındaki artış kısa süreli ısıtmada NSZY’de RZY’den daha düşük oranda ortaya çıkmasına rağmen, uzun süreli ısıtmada daha yüksek oranda ortaya çıkmıştır.

Oksidasyon reaksiyonlarının hızının çeşitli faktörlerden etkilendiği ve oksidasyonu etkileyen en önemli faktörlerin yağlardaki doymamış yağ asitlerin miktarının ve antioksidanların (tokoferoller, polifenoller, beta karoten vb.) varlığının olduğu bilinmektedir. NSZY ve RZY’de doymamış yağ asitlerinin miktarı açısından çok önemli bir fark olmamasına rağmen bu iki yağın içerdiği antioksidan madde miktarının farklı olduğu bilinmektedir. Zeytinyağında bulunan polifenoller, esas olarak serbest radikalleri temizleyerek ve metallere karşı şelatlayıcı ajanlar olarak otooksidasyonun ilk aşamasında antioksidanlar olarak hareket eder [60], [61]. Öte yandan, gıda ve biyolojik sistemlerde önemli lipid oksidasyon inhibitörleri olarak kabul edilen tokoferoller, zeytinyağında en bol bulunan lipofilik antioksidanları temsil eder [43], [44], [62]. Ancak natürel zeytinyağındaki tokoferollerin rafinasyon işleminin hem kimyasal hem de fiziksel arıtma proseslerinde koku giderme/damıtma aşamaları sırasında kısmen uzaklaştırıldığı ve miktarlarının ciddi derecede azaldığı, nötralizasyon adımıyla ise fenolik maddelerin yok edildiği veya indirgenildiği önceki çalışmalarda gösterilmiştir [17], [45], [63]. Dolayısıyla rafinasyon işlemi sırasında miktarı azalan hatta yok olan antioksidan maddeler nedeniyle rafine zeytinyağının oksidatif stabilitesi düşmektedir. Isıtma işlemi sırasında ortamda antioksidanlar varsa, bunlar oksidatif reaksiyonların başlangıcında oluşan oksi- ve peroksit radikallerine, zincir reaksiyonlarına girmeden önce bağlanırlar ve bu sayede otokatalitik reaksiyonları engellerler. RZY rafine ve natürel zeytinyağlarının karışımı olduğundan içindeki antioksidan madde miktarı NSZY’ye göre daha düşüktür. Dolayısıyla ilk 2 saatte NSZY’de gözlenen daha düşük oranlardaki değişimlerin NSZY’nin içerdiği yüksek antioksidan madde miktarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu antioksidanlar ilk 2 saat boyunca NSZY’yi korumuş ve kısa süreli ısıtma sırasında bu yağda daha az değişim meydana gelmesini sağlamıştır. Ancak yüksek ısının etkisiyle 2 saat içinde bu antioksidanların yapısı bozulmaya başladığı için uzun süreli ısıtma işlemi sırasında ortaya çıkan değişimlerin büyüklüğü NSZY’de daha fazla olmuştur. RZY’nin içindeki antioksidan madde miktarı daha düşük olduğundan kısa süreli ısıtma işlemi boyunca bu yağda NSZY’den daha büyük boyutta değişimler ortaya çıkmıştır. Uzun süreli ısıtma sonuçları karşılaştırıldığında RZY’deki değişim oranının NSZY’den biraz daha düşük olduğu görülmektedir. Bu çalışmanın sonuçları ile uyumlu bir şekilde Casal ve ark. [38] Portekiz’in çeşitli bölgelerinden topladığı farklı ticari zeytinyağlarının kızartma koşulları altındaki kalite parametrelerini karşılaştırdığı çalışmada, ısıtılmamış NSZY’deki toplam tokoferol miktarını 189 mg/kg, β -karoten miktarını $5,2 \pm 0,1$, fenolik madde miktarını 204 ± 17 olarak; RZY’de tokoferol miktarını 165 mg/kg, β -karoten miktarını $1,6 \pm 0,0$, fenolik madde miktarını 154 ± 5 olarak tespit etmiştir. Aynı ekip, her iki yağda da tokoferol miktarının ilk 3 saatte ciddi derecede azaldığını, 9. saatte tamamen tükendiğini, β -karoten miktarının ilk 9 saatte ciddi derecede azaldığını, fenollerin ise RZY’de ilk 6 saatte tamamen tükenirken NSZY’de ilk 9 saatte tükendiğini tespit etmiştir. Benzer şekilde Qulies ve ark. [39] kısa süreli kızartma işleminin İspanya’nın yerel marketlerinden satın alınmış çeşitli bitkisel yağlar üzerindeki etkilerini incelediği çalışmada NSZY ve RZY’de ilk 60 dakikada tokoferol miktarının önemli derecede azaldığını rapor etmiştir.

IV. SONUÇ

Bu çalışma, NSZY ve RZY'nin kısa ve uzun süreli ısıtma sırasındaki termal stabilitesini ATR-FTIR spektroskopisi ile karşılaştıran ilk çalışmadır. Çalışmanın sonuçları ısıtma işleminin NSZY ve RZY'de önemli yapısal ve kompozisyonel değişikliklere sebep olduğunu ve bu değişimlerin boyutunun yağ çeşidine ve ısıtma süresine göre farklı olduğunu göstermiştir. Örneğin, NSZY'de ilk 1 saat içinde birincil ve ikincil oksidasyon ürünü ve trans yağ asidi oluşumu gözlenmemiş, 2 saat boyunca bu bileşikler NSZY'de RZY'den daha düşük oranda ortaya çıkmıştır. RZY'de ise tüm bu ürünler ilk yarım saatte ortaya çıkmaya başlamış ve 2 saat boyunca daha yüksek oranda gözlenmiştir. 6. saatten 24. saatin sonuna kadar analizi yapılan tüm parametrelerde NSZY'de RZY'den daha yüksek değişim oranları ortaya çıkmıştır. Bu sonuçlar, kısa süreli ısıtma boyunca NSZY'nin, uzun süreli ısıtma boyunca ise RZY'nin daha yüksek termal stabiliteye sahip olduğunu ortaya çıkarmıştır. NSZY'nin kısa süreli ısıtma sırasındaki daha yüksek stabilitesi, içerdiği daha fazla miktardaki antioksidan maddelerin ilk 2 saat boyunca sağladığı korumaya, uzun süreli ısıtma sırasındaki stabilite kaybı ise bu bileşiklerin ısıtma süresi arttıkça bozulan yapılarından dolayı koruma oranının düşmesine bağlanabilir. Sonuç olarak, NSZY kısa süreli ısıtma gerektiren pişirme ve kızartma işlemleri için daha sağlıklı bir alternatif olarak kullanılabilir ancak 2 saatten daha uzun süreli pişirme ve tekrarlı kızartma işlemleri için tercih edilmemelidir. Ayrıca, bu çalışma, ATR-FTIR spektroskopisi ile herhangi bir ön işleme gerek duyulmaksızın hızlı, kolay ve hassas bir şekilde yağ oksidasyonunun analiz edilebileceğini ve 3475, 3007, 1744, 1653, 987, 965 ve 722 cm⁻¹'deki bantların yemeklik yağlarda oksidasyonu tespit etmek için biyobelirteçler olarak kullanılabilirliğini göstermiştir.

V. KAYNAKLAR

- [1] A. K. Kiritsakis, "Flavor components of olive oil-A review," *Journal of the American Oil Chemists' Society*, vol. 75, no. 6, pp. 673-681, 1998.
- [2] F. Visioli and C. Galli, "Olive oil phenols and their potential effects on human health," *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 46, no. 10, pp. 4292-4296, 1998.
- [3] G. Türk, Taccar Caba, Z. , Çakmak, B. & Özpınar, H. , "Evaluation of Turkish olive oil quality: some quality characteristics and Turkish food codex," *International Journal of Food Engineering Research*, vol. 2, no. 2, pp. 1-17, 2016.
- [4] E. Borello and V. Domenici, "Determination of pigments in virgin and extra-virgin olive oils: a comparison between two near uv-vis spectroscopic techniques," (in eng), *Foods*, vol. 8, no. 1, Jan 7 2019.
- [5] L. Schwingshackl and G. Hoffmann, "Monounsaturated fatty acids, olive oil and health status: a systematic review and meta-analysis of cohort studies," (in eng), *Lipids Health Dis*, vol. 13, p. 154, Oct 1 2014.
- [6] G. Zong *et al.*, "Monounsaturated fats from plant and animal sources in relation to risk of coronary heart disease among US men and women," (in eng), *Am J Clin Nutr*, vol. 107, no. 3, pp. 445-453, Mar 1 2018.
- [7] T. Psaltopoulou, R. I. Kostis, D. Haidopoulos, M. Dimopoulos, and D. B. Panagiotakos, "Olive oil intake is inversely related to cancer prevalence: a systematic review and a meta-analysis of 13,800 patients and 23,340 controls in 19 observational studies," (in eng), *Lipids Health Dis*, vol. 10, p. 127, Jul 30 2011.
- [8] H. Qosa *et al.*, "Extra-virgin olive oil attenuates amyloid- β and tau pathologies in the brains of TgSwDI mice," *The Journal of Nutritional Biochemistry*, vol. 26, no. 12, pp. 1479-1490, 2015.

- [9] M. Massaro *et al.*, "Effects of Olive Oil on Blood Pressure: Epidemiological, Clinical, and Mechanistic Evidence," (in eng), *Nutrients*, vol. 12, no. 6, 2020.
- [10] M. A. Carluccio, M. Massaro, E. Scoditti, and R. De Caterina, "Vasculoprotective potential of olive oil components," (in eng), *Mol Nutr Food Res*, vol. 51, no. 10, pp. 1225-34, 2007.
- [11] T. Wongwarawipat, N. Papageorgiou, D. Bertias, G. Siasos, and D. Tousoulis, "Olive oil-related anti-inflammatory effects on atherosclerosis: potential clinical implications," (in eng), *Endocr Metab Immune Disord Drug Targets*, vol. 18, no. 1, pp. 51-62, 2018.
- [12] Á. Hernandez *et al.*, "Olive oil polyphenols decrease ldl concentrations and ldl atherogenicity in men in a randomized controlled trial," (in eng), *J Nutr*, vol. 145, no. 8, pp. 1692-7, 2015.
- [13] A. Mehmood, M. Usman, P. Patil, L. Zhao, and C. Wang, "A review on management of cardiovascular diseases by olive polyphenols," *Food Science & Nutrition*, vol. 8, no. 9, pp. 4639-4655, 2020.
- [14] A. Machowetz *et al.*, "Effect of olive oils on biomarkers of oxidative DNA stress in Northern and Southern Europeans," (in eng), *Faseb j*, vol. 21, no. 1, pp. 45-52, 2007.
- [15] H. K. Turkoğlu, Z. , "Nizip ve çevresinde satışa sunulan zeytinyağı rneklerinin bazı zellikleri," *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, vol. 16, no. 3, pp. 1-8, 2014.
- [16] P. Lucci, V. Bertoz, D. Pacetti, S. Moret, and L. Conte, "Effect of the refining process on total hydroxytyrosol, tyrosol, and tocopherol contents of olive oil," (in eng), *Foods*, vol. 9, no. 3, 2020.
- [17] M. Alpaslan, S. Tepe, and O. Simsek, "Effect of refining processes on the total and individual tocopherol content in sunflower oil," *International Journal of Food Science & Technology*, vol. 36, no. 7, pp. 737-739, 2001.
- [18] A. O. K. Altan, *Yağ işleme Teknolojisi. Bizim Buro Yayınevi. Sakarya*, 2009.
- [19] F. de Alzaa, C. Guillaume, and L. Ravetti, "evaluation of chemical and nutritional changes in chips, chicken nuggets, and broccoli after deep-frying with extra virgin olive oil, canola, and grapeseed oils," *Journal of Food Quality*, vol. 2021, p. 7319013, 2021.
- [20] J. Lozano-Castellon, A. Vallverdu-Queralt, J. F. Rinaldi de Alvarenga, M. Illan, X. Torrado-Prat, and R. M. Lamuela-Raventos, "Domestic sauteing with evoo: change in the phenolic profile," *Antioxidants*, vol. 9, no. 1, p. 77, 2020.
- [21] J. Lozano-Castellon, J. F. Rinaldi de Alvarenga, A. Vallverdu-Queralt, and R. M. Lamuela-Raventos, "Cooking with extra-virgin olive oil: A mixture of food components to prevent oxidation and degradation," *Trends in Food Science & Technology*, vol. 123, pp. 28-36, 2022.
- [22] E. Choe and D. B. Min, "mechanisms and factors for edible oil oxidation," *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, vol. 5, no. 4, pp. 169-186, 2006.
- [23] J. Velasco and C. Dobarganes, "Oxidative stability of virgin olive oil," *European Journal of Lipid Science and Technology*, vol. 104, no. 9-10, pp. 661-676, 2002.
- [24] I. P. Roman Falco, N. Grane Teruel, S. Prats Moya, and M. L. Martın Carratala, "Kinetic study of olive oil degradation monitored by fourier transform infrared spectrometry. application to oil characterization," *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 60, no. 47, pp. 11800-11810, 2012.

- [25] F. A. Aladedunye and R. Przybylski, "Degradation and nutritional quality changes of oil during frying," *Journal of the American Oil Chemists' Society*, vol. 86, no. 2, pp. 149-156, 2009.
- [26] R. Farhoosh and S. M. R. Moosavi, "Carbonyl value in monitoring of the quality of used frying oils," *Analytica Chimica Acta*, vol. 617, no. 1, pp. 18-21, 2008.
- [27] A. G. Ardabili, R. Farhoosh, and M. H. H. Khodaparast, "Frying stability of canola oil in presence of pumpkin seed and olive oils," *European Journal of Lipid Science and Technology*, vol. 112, no. 8, pp. 871-877, 2010.
- [28] S. Gharby, H. Harhar, B. Matthäus, Z. Bouzoubaa, and Z. Charrouf, "The chemical parameters and oxidative resistance to heat treatment of refined and extra virgin Moroccan Picholine olive oil," *Journal of Taibah University for Science*, vol. 10, no. 1, pp. 100-106, 2016.
- [29] A. Cert, W. Moreda, and M. C. Pérez-Camino, "Chromatographic analysis of minor constituents in vegetable oils," *Journal of Chromatography A*, vol. 881, no. 1, pp. 131-148, 2000.
- [30] F. J. Hidalgo and R. Zamora, "Edible oil analysis by high-resolution nuclear magnetic resonance spectroscopy: recent advances and future perspectives," *Trends in Food Science & Technology*, vol. 14, no. 12, pp. 499-506, 2003.
- [31] I. Marcos Lorenzo, J. L. Pérez Pavón, M. E. Fernández Laespada, C. García Pinto, and B. Moreno Cordero, "Detection of adulterants in olive oil by headspace-mass spectrometry," *Journal of Chromatography A*, vol. 945, no. 1, pp. 221-230, 2002.
- [32] V. Baeten and R. Aparicio, "Edible oils and fats authentication by Fourier transform Raman spectrometry," *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment*, vol. 4, no. 4, pp. 196-203, 2000.
- [33] M. Mahboubifar, B. Hemmateenejad, K. Javidnia, and S. Yousefinejad, "Evaluation of long-heating kinetic process of edible oils using ATR-FTIR and chemometrics tools," *Journal of Food Science and Technology*, vol. 54, no. 3, pp. 659-668, 2017.
- [34] M. a. D. Guillén and N. Cabo, "Fourier transform infrared spectra data versus peroxide and anisidine values to determine oxidative stability of edible oils," *Food Chemistry*, vol. 77, no. 4, pp. 503-510, 2002.
- [35] G. Cakmak-Arslan, "Monitoring of Hazelnut oil quality during thermal processing in comparison with extra virgin olive oil by using ATR-FTIR spectroscopy combined with chemometrics," *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, vol. 266, p. 120461, 2022.
- [36] M.-A. Poiana, E. Alexa, M.-F. Munteanu, R. Gligor, D. Moigradean, and C. Mateescu, "Use of ATR-FTIR spectroscopy to detect the changes in extra virgin olive oil by adulteration with soybean oil and high temperature heat treatment," *Open Chemistry*, vol. 13, no. 1, 2015.
- [37] J. Moros, M. Roth, S. Garrigues, and M. d. I. Guardia, "Preliminary studies about thermal degradation of edible oils through attenuated total reflectance mid-infrared spectrometry," *Food Chemistry*, vol. 114, no. 4, pp. 1529-1536, 2009.
- [38] S. Casal, R. Malheiro, A. Sendas, B. P. Oliveira, and J. A. Pereira, "Olive oil stability under deep-frying conditions," (in eng), *Food Chem Toxicol*, vol. 48, no. 10, pp. 2972-9, 2010.

- [39] J. L. Quiles, M. C. Ramírez-Tortosa, J. A. Gómez, J. R. Huertas, and J. Mataix, "Role of vitamin E and phenolic compounds in the antioxidant capacity, measured by ESR, of virgin olive, olive and sunflower oils after frying," *Food Chemistry*, vol. 76, no. 4, pp. 461-468, 2002.
- [40] A. Rohman and Y. B. Che Man, "Quantification and Classification of Corn and Sunflower Oils as Adulterants in Olive Oil Using Chemometrics and FTIR Spectra," *The Scientific World Journal*, vol. 2012, p. 250795, 2012.
- [41] G. Cakmak, I. Togan, and F. Severcan, "17Beta-estradiol induced compositional, structural and functional changes in rainbow trout liver, revealed by FT-IR spectroscopy: a comparative study with nonylphenol," (in eng), *Aquat Toxicol*, vol. 77, no. 1, pp. 53-63, 2006.
- [42] Y. B. Che Man, W. Ammawath, and M. E. S. Mirghani, "Determining α -tocopherol in refined bleached and deodorized palm olein by Fourier transform infrared spectroscopy," *Food Chemistry*, vol. 90, no. 1, pp. 323-327, 2005.
- [43] A. G. Pérez, L. León, M. Pascual, R. de la Rosa, A. Belaj, and C. Sanz, "Analysis of Olive (*Olea Europaea* L.) Genetic Resources in Relation to the Content of Vitamin E in Virgin Olive Oil," (in eng), *Antioxidants (Basel)*, vol. 8, no. 8, 2019.
- [44] D. B. Boscou, G. Tsimidou, M. , D. Boskou, Ed. *Olive oil composition. In Olive Oil: Chemistry and Technology*, 2nd ed ed. Urbana, IL, USA: AOCS, 2006, pp. 41-72.
- [45] P. G. Ergönül and O. Köseoğlu, "Changes in α -, β -, γ - and δ -tocopherol contents of mostly consumed vegetable oils during refining process," *CyTA - Journal of Food*, vol. 12, no. 2, pp. 199-202, 2014/04/03 2014.
- [46] A. Kamal-Eldin and R. Andersson, "A multivariate study of the correlation between tocopherol content and fatty acid composition in vegetable oils," *Journal of the American Oil Chemists' Society*, vol. 74, no. 4, pp. 375-380, 1997.
- [47] M. Tasioula-Margari and O. Okogeri, "Simultaneous determination of phenolic compounds and tocopherols in virgin olive oil using HPLC and UV detection," *Food Chemistry*, vol. 74, no. 3, pp. 377-383, 2001.
- [48] J. Sun *et al.*, "The effect of processing and cooking on glucoraphanin and sulforaphane in brassica vegetables," *Food Chemistry*, vol. 360, p. 130007, 2021.
- [49] N. Romero, "Effect of α -tocopherol and α -tocotrienol on the performance of Chilean hazelnut oil (*Gevuina avellana* Mol) at high temperature," *Journal of the science of food and agriculture*, vol. v. 84, no. no. 9, pp. pp. 943-948-2004 v.84 no.9, 2004.
- [50] M. Poiana, G. Mousdis, C. Georgiou, E. Alexa, D. Moigradean, and I. Cocan, "Detection of thermal processing impact on olive and sunflower oil quality by FTIR spectroscopy," 2013.
- [51] N. Vlachos, Y. Skopelitis, M. Psaroudaki, V. Konstantinidou, A. Chatzilazarou, and E. Tegou, "Applications of Fourier transform-infrared spectroscopy to edible oils," *Analytica Chimica Acta*, vol. 573-574, pp. 459-465, 2006.
- [52] Y. B. Che Man and G. Setiowaty, "Application of Fourier transform infrared spectroscopy to determine free fatty acid contents in palm olein," *Food Chemistry*, vol. 66, no. 1, pp. 109-114, 1999.
- [53] A. A. Ismail, F. R. van de Voort, G. Emo, and J. Sedman, "Rapid quantitative determination of free fatty acids in fats and oils by fourier transform infrared spectroscopy," *Journal of the American Oil Chemists' Society*, vol. 70, no. 4, pp. 335-341, 1993.

- [54] M. Kayahan, Tekin, A. , *Zeytinyağı Üretim Teknolojisi*. ANKARA: TMMOB Gıda Mühendisleri Odası, 2006.
- [55] M. A. Moharam and L. M. Abbas, "A study on the effect of microwave heating on the properties of edible oils using FTIR spectroscopy," *African Journal of Microbiology Research*, vol. 4, no. 19, pp. 1921-1927, 2010.
- [56] M. C. M. Moya Moreno, D. Mendoza Olivares, F. J. Amézquita López, J. V. Gimeno Adelantado, and F. Bosch Reig, "Analytical evaluation of polyunsaturated fatty acids degradation during thermal oxidation of edible oils by Fourier transform infrared spectroscopy," *Talanta*, vol. 50, no. 2, pp. 269-275, 1999.
- [57] M. D. Guillén and N. Cabo, "Some of the most significant changes in the Fourier transform infrared spectra of edible oils under oxidative conditions," *Journal of the Science of Food and Agriculture*, vol. 80, no. 14, pp. 2028-2036, 2000.
- [58] M. D. Guillén, N. Cabo, M. L. Ibargoitia, and A. Ruiz, "Study of both Sunflower Oil and Its Headspace throughout the Oxidation Process. Occurrence in the Headspace of Toxic Oxygenated Aldehydes," *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 53, no. 4, pp. 1093-1101, 2005.
- [59] F. R. van de Voort, A. A. Ismail, J. Sedman, and G. Emo, "Monitoring the oxidation of edible oils by Fourier transform infrared spectroscopy," *Journal of the American Oil Chemists' Society*, vol. 71, no. 3, pp. 243-253, 1994.
- [60] F. Di Meo *et al.*, "Free radical scavenging by natural polyphenols: atom versus electron transfer," (in eng), *J Phys Chem A*, vol. 117, no. 10, pp. 2082-92, 2013.
- [61] M. Deiana, A. Rosa, C. F. Cao, F. M. Pirisi, G. Bandino, and M. A. Dessì, "Novel Approach to Study Oxidative Stability of Extra Virgin Olive Oils: Importance of α -Tocopherol Concentration," *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 50, no. 15, pp. 4342-4346, 2002.
- [62] M. Jukić Špika, K. Kraljić, O. Koprivnjak, D. Škevin, M. Žanetić, and M. Katalinić, "Effect of Agronomical Factors and Storage Conditions on the Tocopherol Content of Oblica and Leccino Virgin Olive Oils," *Journal of the American Oil Chemists' Society*, vol. 92, no. 9, pp. 1293-1301, 2015.
- [63] M. Tasan and M. Demirci, "Total and individual tocopherol contents of sunflower oil at different steps of refining," *European Food Research and Technology*, vol. 220, no. 3, pp. 251-254, 2005.