

DÜZCE ÜNİVERSİTESİ

BİLİM ve TEKNOLOJİ DERGİSİ

Düzce University
Journal of
Science & Technology

e-ISSN: 2148-2446

Cilt
Volume

11

Sayı
Issue

3

Temmuz/July
2023

Düzce Üniversitesi
BİLİM ve TEKNOLOJİ DERGİSİ
DÜBİTED

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



Düzce University
JOURNAL of SCIENCE & TECHNOLOGY
DUBITED

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

Sahibi

Owner

Ali ÖZTÜRK (Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü)

(D. Ü. Lisansüstü Eğitim Enstitüsü adına)

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

Editör

Editor

Uğur GÜVENÇ

Resul KARA

Pınar GÜLTEKİN

Ahmet DEMİR

Erdem ELİBOL

Suat SARIDEMİR

Ümit AĞBULUT

Yardımcı Editörler

Assistant Editors

Berfin ŞENİK

Mertkan TEKİNALP

Özlem ÖZKAN ÖNÜR

Vesile YALÇIN

Anıl DEMİRCAN

Ahmet AYTEĞİN

Nisa KAPLAN ERGÜL

Sorumlu Yazı İşleri Müdürü

Publishing Manager

Ali ÖZTÜRK

Yayın Kurulu

Editorial Board

Ahmet Bora KIRKLIKÇI, Karamanoğlu Mehmet Bey
Üniversitesi, Türkiye

Ahmet DEMİR, Düzce Üniversitesi, Türkiye

Ali ÇALHAN, Düzce Üniversitesi, Türkiye

Ali Etem GÜREL, Düzce Üniversitesi, Türkiye

Ali ÖZDEMİR, Muş Alparslan Üniversitesi, Türkiye

Alper ERGÜN, Karabük Üniversitesi Teknoloji

Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği, Türkiye

Arif ÖZKAN, Kocaeli Üniversitesi, Türkiye
Aytaç AYDIN, Karadeniz Teknik Üniversitesi,
Türkiye
Barış KARAKAYA, Fırat Üniversitesi, Türkiye
Emre AVCI, Düzce 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 SÖNMEZ, Osmaniye Korkut Ata
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 Emin ŞAHİN, Yozgat Bozok Üniversitesi,
Türkiye
Muhammet GÜL, Munzur Üniversitesi, Türkiye
Murat AYDEMİR, Erzurum Teknik 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
Osman DİKMEN, 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 Onyediy Eylöl
Üniversitesi, Türkiye
Sinan TOKLU, Gazi Üniversitesi, Türkiye

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

Uğur GÜVENÇ, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Yasin KİŞİOĞLU, Kocaeli Üniversitesi, Türkiye
Yusuf AVCI, Bahçeşehir Üniversitesi, Türkiye
Zeki DEMİR, Düzce Üniversitesi, Türkiye

Uluslararası Danışma Kurulu
International Advisory Board

Abdelilah SLAOUI, Universite de Strasbourg, France
Clay S. GLOSTER, North Carolina A&T University, USA
Daniel BREAZ, University of Alba Lulia, Romania
Luis ROSEIRO, Coimbra Institute of Engineering, Portugal
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

11

Sayı
Issue

3

Temmuz / June
2023

Ürün Bilgisi

Product Information

Yayıncı
Publisher

Düzce Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Düzce University Institute of Graduate Programs

Sahibi

Ali ÖZTÜRK (Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü)

Owner

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

Sorumlu Yazı İşleri Müdürü
Publishing Manager

Ali ÖZTÜRK

Web Sayfası
Web Page

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

Basım Tarihi
Date of Publication

Temmuz 2023
June 2023

Yayın Dili
Language

Türkçe / İngilizce
Turkish / English

Yayın Aralığı*Frequency*

Yılda dört kez yayınlanır

*Published four times in a year***Yayın Türü***Type of Publication*

Sürelî yayın

*Periodical***e-ISSN Numarası***e-ISSN Number*

2148-2446

Yazışma Adresi

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

Telefon: +90 380 542 12 08

Fax: +90 380 542 12 38

E-posta: dubitedyayin@duzce.edu.tr

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

Correspondence Address

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

*Phone: +90 380 542 12 08**Fax: +90 380 542 12 38**E-mail: dubitedyayin@duzce.edu.tr*

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

İÇİNDEKİLER

Sayfa

Makale

BİYOLOJİ/BİYOKİMYA/MOLEKÜLER BİYOLOJİ VE GENETİK/SU ÜRÜNLERİ

Araştırma Makalesi/ Research Article

- 1282-1295 Enfeksiyöz Bronşite Karşı Sprey Aşılama Saha ve Kuluçkahane Uygulamalarının Karşılaştırılması
Comparison of Field and Hatchery Practices in Spray Vaccination Against Infectious Bronchitis
Kayhan ÖZKAN
- 1437-1445 Ticari Bal Kullanılarak ZnO Nanopartiküllerinin Yeşil Sentezi, Yapısal Karakterizasyonu ve Biyolojik Aktivitelerinin İncelenmesi
Green Synthesis, Structural Characterization and Investigation of Biological Activities of ZnO Nanoparticles Using Commercial Honey
Simge Nur GENÇAY, Sefa DURMUŞ, Ashhan DALMAZ, Görkem DÜLGER
- 1488-1497 Seçilmiş Bazı Bitki Ekstraktlarının *Penicillium expansum*'un Misel Büyümesi Üzerine in vivo ve in vitro Etkinliği
In vivo and in vitro Efficacy of Selected Some Plant Extracts on Mycelial Growth of *Penicillium expansum*
Seda BALKAN, Bilal BALKAN
- 1517-1528 Menengiç (*Pistacia terebinthus* L.) Ekstraktının Hepatoselüler Karsinom Hücrelerinde Antioksidatif ve Antikarsinojenik Etkileri
Antioxidative and Anticarcinogenic Effects of Terebinth (*Pistacia terebinthus* L.) Extract on Hepatocellular Carcinoma Cells
Güllü KAYMAK, Meliha Koldemir-Gündüz, Ertan Kanbur

Derleme Makale / Review Article

- 1498-1516 Tuz Stresinin Bitkiler Üzerindeki Etkileri ve Geliştirilen Tolerans Mekanizmaları
Effects of Salt Stress on Plants and Developed Tolerance Mechanisms
Büşra SEVGİ, Seda LEBLEBİCİ

BİLGİSAYAR / YAZILIM MÜHENDİSLİĞİ/BİLİŞİM SİSTEMLERİ VE TEKNOLOJİLERİ

Araştırma Makalesi/ Research Article

- 1250-1268 Implementation of Blockchain-Assisted Source Routing for Traffic Management in Software-Defined Networks
Yazılım Tanımlı Ağlarda Trafik Yönetimi İçin Blokzincir Destekli Kaynak Yönlendirmesinin Uygulanması
Murat KARAKUŞ
- 1388-1398 Görüntü Kazıma Yoluyla Oluşturulan Örnek Veri Kümesinin Evrimsel Sinir Ağı Tabanlı Görüntü Sınıflama Üzerine Etkisinin İncelenmesi
An investigation of the Effect of Dataset Sample Created via Image Scraping on Convolutional Neural Network Based Image Classification
Tolga HAYIT
- 1399-1423 Web Tarayıcılarında Tohum URL Seçimi ve Performans Analizi: Kapsamlı Bir İnceleme
Seed URL Selection and Performance Analysis in Web Crawlers: A Comprehensive Review
Zülfü ALANOĞLU, M. Ali AKCAYOL
- 1546-1562 Derin Paket İncelemesi için Önerilen Yeni Bir Örüntü Eşleştirme Algoritması
A New Pattern Matching Algorithm for Deep Packet Inspection
Merve ÇELEBİ, Uraz YAVANOĞLU
- 1584-1598 Derin Öğrenme Tabanlı Trafik Yoğunluğu Tahmini: İstanbul İçin Bir Vaka Çalışması
Deep Learning Based Traffic Density Prediction: A Case Study for Istanbul
Anıl UTKU

Derleme Makale / Review Article

- 1635-1654 Renk Tutarsızlığı Problemleri ve Çözümleri: Bir Araştırma
Color Inconsistency Problems and Solutions: A Survey
Melike BEKTAŞ KÖSESOY, Seçkin YILMAZ, Turgay Tugay BİLGİN

ELEKTRİK/ELEKTRONİK / ELEKTRİK ELEKTRONİK/ MEKATRONİK/ENERJİ MÜHENDİSLİĞİ

Araştırma Makalesi/ Research Article

- 1318-1326 Optik Spektrum Analizörü Kontrolü ve Ölçüm Doğruluğunun Artırılması
Optical Spectrum Analyzer Control and Increasing Measurement Accuracy
Murat YÜCEL, Zühal ASLAN AKYOL

Derleme Makale / Review Article

- 1151-1169 Fotovoltaik-Termoelektrik Hibrit Güç Üretim Sistemlerinde Son Gelişmeler
Recent Developments of Photovoltaic-Thermoelectric Hybrid Power Generation Systems
Cihan DEMİRCAN, Ali KEÇEBAŞ, Hilmi Cenk BAYRAKÇI

GIDA MÜHENDİSLİĞİ

Derleme Makale / Review Article

- 1655-1665 Geleceğin Gıdaları için Mikroalgler: Spirulina spp. ve Chlorella spp.
Microalgae for The Food of Future: Spirulina spp. and Chlorella spp.
Eda NURKO, Emine NAKİLCİOĞLU, Semih ÖTLEŞ

İNŞAAT / METALURJİ ve MALZEME / ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

Araştırma Makalesi / Research Article

- 1136-1150 Yüksek Dayanımlı Betonların Yarmada Çekme Dayanımlarının TYM Tabanlı Tahmini
Estimation of Splitting Tensile Strength of High Strength Concretes by RSM-Based
Tuba Demir, Muhammed ULUCAN, Kürşat Esat ALYAMAÇ
- 1241-1249 Mikrobiyal Aracılı Kalsit Çökmesi (MICP) Tekniğinde Çimentolama Solüsyonu Enjeksiyonuna Sodyum Aljinat Yoğunluğunun Etkisinin İncelenmesi
Investigation of the Effect of Sodium Alginate Density on Cementing Solution Injection in Microbial Induced Calcite Precipitation (MICP) Technique
Harun AKOĞUZ
- 1269-1281 Removal of Reactive Red 141 and Disperse Red 13 Dyes from Aqueous Solutions Using Different Coagulants: An Optimization and Comparison Study
Farklı Koagülanlar Kullanılarak Sulu Çözeltilerden Reaktif Kırmızı 141 ve Dispers Red 13 Boyalarının Giderimi: Bir Optimizasyon ve Karşılaştırma Çalışması
Ahmed ALBAHNASAWI

- 1424-1436 Öngerilmeli Poliamid 6 Dişlilerin Teorik ve Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Hesaplanan Yorulma Ömürlerinin Deneysel Sonuçlarla Karşılaştırılması
Comparison of Fatigue Life of Prestressed Polyamide 6 Gears Calculated by Theoretical and Finite Element Methods with Experimental Results
Hilal CAN
- 1563-1573 Tarihi Yapılarda Üst Örtülerin Çelik Malzeme ile Tamamlanmasının Yapısal Açıdan İncelenmesi
Structural Investigation of the Completion of the Upper Covers with Steel Material in Historical Buildings
Murat ÇAVUŞ, Metin ARSLAN
- 1623-1634 Biyolojik Yöntem ile GO Katkılı Al/(Biyo-ZnO)/pSi Schottky Diyotların Üretimi ve Elektriksel Karakterizasyonu
Fabrication and Electrical Characterization of GO Doped Al/(Bio-ZnO)/pSi Schottky Diodes by Green Synthesis
Mine KIRKBINAR, Fatih ÇALIŞKAN

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

Araştırma Makalesi/ Research Article

- 1184-1193 Aktif Karbon Katkılı Çimentolu Yonga Levhanın Bazı Teknolojik Özelliklerinin Belirlenmesi
Determination of Some Technological Properties of Activated Carbon-added Cementitious Particle Board
Gonca DÜZKALE SÖZBİR, Müberra DEMİRBÜK
- 1194-1205 Perde Tipi Engellerin Gözenek Oran ve Konumlarının Çalkantıyı Sönümleme Etkisinin Sayısal Olarak İncelenmesi
Numerical Investigation of solidity rate and position of baffles efficiency on damping sloshing
Tolga BAYRAMOĞLU, Fatih C. KORKMAZ
- 1206-1217 Investigation of Cutting Performance of Nano/Layered Hard Coatings in Face Milling of AISI D2 Steel
AISI D2 Çeliğinin Yüzey Frezelemesinde Nano/Tabakalı Sert Kaplamaların Kesme Performansının İncelenmesi
Bilal KURŞUNCU
- 1296-1302 Starter Selection for Diesel Engines
Dizel Motorlarda Marş Motoru Seçimi
Şenol GÜLGÖNÜL, Nedim SÖZBİR, Osman DUR

- 1303-1317 Radyal Fanlarda Karma Kanat Yapısının Nümerik Olarak İncelenmesi
Numerical Investigation of Mixed Blade Structure in Radial Fans
Halil KARTAL, Burak KURŞUN, Korhan ÖKTEN, Levent UĞUR
- 1327-1340 Effect of Polypropylene Fiber Type, Content and Length on Mechanical Performance of Rigid Polyurethane Composites
Polipropilen Lif Türü, İçeriği ve Uzunluğunun Sert Poliüretan Kompozitlerin Mekanik Performansına Etkisi
Bilal DEMİREL, Hale ASLANTAŞ, Fatih AKKURT, Ali YARAŞ, Fugen DAVER
- 1472-1487 Hidrolik Sistemlerdeki 90° Bükümlü Borularda Oluşan Basınç Kayıplarının Sayısal Olarak İncelenmesi
Numerical Investigation of Pressure Drops Occurring in 90° Elbow Pipes in Hydraulic Systems
Yavuz Selim KORKMAZ, İsmet TIKIZ
- 1610-1622 Lyapunov Tabanlı PI Kontrolör ile DC Motorun Hız Kontrolü
Speed Control of DC Motor by Lyapunov based PI Controller
Hilmi AYGÜN

ORMAN/ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ/ZİRAAT MÜHENDİSLİĞİ

Araştırma Makalesi/ Research Article

- 1341-1348 Bingöl Koşullarında Bazı Mısır (*Zea mays L.*) Çeşitlerinin Tane Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi
Determination of Grain Quality Characteristics of Some Corn (*Zea mays L.*) Varieties in Bingöl Conditions
Kağan KÖKTEN, Erdal ÇAÇAN, Mahmut KAPLAN, Selim ÖZDEMİR
- 1599-1609 Ülkemizde *Agaricus bisporus* Mantarları Üretimi Yapan İşletmelerin Karşılaştığı Sorunlar ve Çözüm Önerilerinin Belirlenmesi
Determination of the Problems and Suggestions of *Agaricus bisporus* Mushroom Manufacturing Plant in Our Country
Selim GÜVEN, Mesut YALÇIN, Tarık GEDİK

KİMYA MÜHENDİSLİĞİ

Araştırma Makalesi/ Research Article

- 1218-1233 Yerçekimi Güdümlü Yağ-su Ayırımı için Yeşil Polikaprolakton/Polihidroksibütirat Nanolifli Membranların Tek Basamaklı Üretimi
One Step Fabrication of Green Polycaprolactone/Polyhydroxybutyrate Nanofibrous Membranes for Gravity-driven Oil-water Separation
Fatma Bayram Sarıipek

MİMARLIK/ PEYZAJ MİMARLIĞI

Araştırma Makalesi/ Research Article

- 1446-1462 İklim Değişikliği Bağlamında Kültürel Mirasın Sürdürülebilirliği ve Enerji Korunumunun Değerlendirilmesi
Evaluation of The Sustainability of Culturel heritage and Energy Conservation in the Context of Climate Change
Merve DENİZ, Ruşen YAMAÇLI

FİZİK/ KİMYA/ MATEMATİK

Araştırma Makalesi/ Research Article

- 1170-1183 Yanıcı, Patlayıcı Kimyasalların Oluşturacağı Tehlikeli Bölgelerin Hesaplanarak Risklerin Değerlendirilmesi, Amonyak Tankı Örneği
Evaluation of Risks by Calculating Dangerous Areas to be Created by Flammable and Explosive Chemicals, Example of Ammonia Tank
Bülent BÜYÜKKIDAN, Ömer Ahmet USLU, Hüseyin GÜMÜŞ
- 1234-1240 Theoretical Investigation of Heat Capacities as a Function Temperature of Stannous Selenide (SnSe) Using Einstein-Debye Approximation
Einstein-Debye Yaklaşımı Kullanılarak Kalaylı Selenidin (SnSe) Bir Fonksiyon Sıcaklığı Olarak Isı Kapasitelerinin Teorik Olarak İncelenmesi
Mehriban EMEK, Ethem İlhan ŞAHİN
- 1349-1364 Gümüş Nanoparçacık İçeren Polimer Hibrit Nanomalzemelerin Sentezi ve Metilen Mavisini İndirgenmesine Nanoparçacık Etkisi
Synthesis of Polymer Hybrid Nanomaterials Containing Silver Nanoparticles and Nanoparticle Effect on Methylene Blue Reduction
Özlem ALTUNORDU KALAYCI, Hülya ARSLAN
- 1365-1377 Polylactic Acid-Activated Coal Electrospun Mat Production and Characterization
Polilaktik Asit-Aktif Kömür Elektrospun Mat Üretimi ve Karakterizasyonu
Erdi BULUŞ, Gülseren SAKARYA BULUŞ, Merve DANDAN DOĞANCI, Erdinç DOĞANCI
- 1378-1387 Rasyonel Sayılarda Tanımlı Düzgün Yıldız Çokgenler ve Köşe Sayı Dizileri
Regular Star Polygons Defined in Rational Numbers and Vertex Number Sequences
Mehmet ARSLAN

- 1463-1471 Ağrılıklı Jensen Eşitsizliği Yardımıyla Ortalama Eşitsizlikler
Mean inequalities with the help of the weighted Jensen inequality
Mehmet Zeki SARIKAYA, Gizem KOZAN
- 1529-1545 CO2 Emisyonu ve Birincil Enerji Tüketimi Arasındaki İlişkinin Kantil
Regresyon Modeli ile İncelenmesi
Investigation of the Relationship Between CO2 Emission and Primary
Energy Consumption with Quantile Regression Model
Hayriye Esra AKYÜZ
- 1574-1583 Diatomit (Van/Çaldıran) Kullanılarak Atık Sulardan Asit Blue 25
Boyar Maddesinin Adsorpsiyon Yöntemiyle Uzaklaştırılması
Removal of Acid Blue 25 Dye from Wastewater by Adsorption Method
Using Diatomite (Van/Çaldıran)
Ali Rıza KUL



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Yüksek Dayanımlı Betonların Yarmada Çekme Dayanımlarının TYM Tabanlı Tahmini

 Tuba DEMİR^{a,*},  Muhammed ULUCAN^b,  Kürşat Esat ALYAMAÇ^b

^a İnşaat Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, TÜRKİYE
^b İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: t.demir@firat.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1052806

Öz

Bu çalışmada yüksek dayanımlı betonların erken yaş yarmada çekme dayanım sonuçlarının kapsamlı değerlendirilmesi sunulmaktadır. Bunun için çimento ile hacimce %5, %10 ve %15 oranlarında silis dumanı ve ince agrega ile hacimce %8, %10 ve %12 oranlarında mermer tozu yer değiştirilerek 72 seri beton karışımı hazırlanmıştır. Hazırlanan bu karışımlarda Su/Çimento (S/C) oranları 0.20-0.25-0.30 ve çimento dozajı ise 400-450-500 kg/m³ olarak seçilmiştir. Elde edilen numunelere 3. ve 7. günlerde yarmada çekme dayanımı testi uygulanmıştır. Bu testler sonucunda alınan veriler tepki yüzeyi metodu (TYM) kullanılarak analiz edilmiştir. Analiz sonucunda yarmada çekme dayanımını tahmin eden matematiksel modeller geliştirilmiştir. Geliştirilen matematiksel modellerin doğruluğunun tespiti için 9 adet kontrol serisi hazırlanmış ve modelin tahmin sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Bunun sonucunda bağıl hata oranları (BHO) hesaplanarak geliştirilen matematiksel model doğrulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yüksek dayanımlı beton, Yarmada çekme dayanımı, Silis dumanı, Mermer tozu, Tepki yüzeyi metodu

Estimation of Splitting Tensile Strength of High Strength Concretes by RSM-Based

ABSTRACT

In this study, a comprehensive evaluation of the early age splitting tensile strength results of high strength concretes is presented. For this, 72 series concrete mix was prepared by replacing 5%, 10% and 15% silica fume by volume with cement and marble powder at 8%, 10% and 12% volume by volume. In these prepared mixtures, water/cement (W/C) ratios were chosen as 0.20-0.25-0.30 and cement dosage as 400-450-500 kg/m³. Splitting tensile strength test was applied to the samples obtained on the 3rd and 7th days. The data obtained as a result of these tests were analyzed using the response surface method (RSM). As a result of the analysis, mathematical models were developed that predict the splitting tensile strength. In order to determine the accuracy of the developed mathematical models, 9 control series were prepared and compared with the prediction results of the model. As a result, the mathematical model developed by calculating the relative error rates (ARD) was verified.

Geliş: 03/01/2022, Düzeltme: 10/05/2022, Kabul: 02/10/2022

Keywords: High strength concrete, Splitting tensile strength, Silica fume, Marble powder, Response surface method (RSM)

I. GİRİŞ

Yüksek dayanımlı beton (YDB), dayanım ve dayanıklılık gibi üstün özelliklere sahip olan özel bir beton türüdür. Bu beton türünde geleneksel betondan farklı olarak Su/Çimento oranı daha düşük olup bileşiminde çeşitli mineral katkıları kullanılmaktadır [1]. YDB'lerin en önemli mekanik özelliği basınç dayanımlarıdır. YDB'ler, ortalama basınç dayanımı 50 MPa ve üstü olan özel betonlardır [2], [3]. Bu beton türünün dayanımı, dayanıklılığı ve kompozitesi yüksektir [4]. YDB'lerin uygulama alanlarında yaygın olarak yüksek katlı yapılar, köprüler, açık deniz platformları, yollar, tüneller gibi uzun dönem performans istenen yapılar bulunmaktadır [5].

Betonun kalitesinin belirlenmesindeki önemli parametrelerden biri de betonun çekme dayanımıdır [6]. Bazı durumlarda, bir yapıyı analiz etmek ve tasarlamak için çekme dayanımının da bilinmesi büyük önem taşımaktadır [7]. Karayolu tasarımı uygulamalarında, havaalanı pist döşemelerinde, kütle betonlarında, su depolarında ve nükleer santraller gibi yapılarda, çatlak oluşmaması için betonun çekme dayanımlarının bilinmesi gereklidir [8]. Ayrıca betonun sürdürülebilirliği ve durabilitesi açısından da çekme dayanımı büyük önem taşımaktadır [9], [10].

Beton, çimento, agrega ve arayüz geçiş bölgesine sahip kompozit bir yapı malzemesidir [11]. Bu kompozit yapıdaki en zayıf kısım betonun mekanik özelliklerini de doğrudan etkileyen arayüz geçiş bölgesidir [12]. Betonda mikro çatlakların başlaması ve yayılması arayüz geçiş bölgesinin dayanımının belirlenmesinde önemli faktördür [13].

Betonun çekme dayanımının tespitinde üç değerlendirme yöntemi bulunmaktadır. Bu yöntemler, doğrudan çekme dayanımı testi, eğilme dayanımı testi ve yarmada çekme dayanımı testidir [14]. Bu üç yöntemden en basit ve en güvenilir olarak belirlenen tekniğin, genellikle daha küçük bir sapma katsayısı veren silindirik bir numunenin yarmada çekme dayanımı testi olduğu bazı araştırmacılar tarafından kanıtlanmıştır [15,16]. Bu testte numune plakalar arasına yerleştirilip, alt ve üst kısımlarına numuneye paralel ASTM C496/C496M-11 standartlarına uygun olarak çubuk şeklinde levha yerleştirilir [17]. Daha sonra numuneye yük uygulanır ve basınç gerilmesine dik yönde çekme gerilmeleri oluşur. Oluşan bu çekme gerilmesi Denklem 1 yardımıyla hesaplanır.

$$f_t = \frac{2F}{\pi \cdot D \cdot L} \quad (1)$$

Burada F, uygulanan yükü, D, numunenin çapını ve L, numunenin uzunluğunu ifade etmektedir.

Bu çalışmada yüksek dayanımlı betonların erken yaş yarmada çekme dayanım sonuçlarının kapsamlı değerlendirilmesi sunulmaktadır. Bunun için çimento ile hacimce %5, %10 ve 15 oranlarında silis dumanı ve ince agrega ile hacimce %8, %10 ve %12 oranlarında mermer tozu yer değiştirilerek 72 seri beton karışımı hazırlanmıştır. Hazırlanan bu karışımlarda su/çimento (S/C) oranları 0.20-0.25-0.30 ve çimento dozajı ise 400-450-500 kg/m³ olarak seçilmiştir. Elde edilen numunelere 3. ve 7. günlerde yarmada çekme dayanımı testi uygulanmıştır. Bu testler sonucunda alınan veriler tepki yüzeyi metodu (TYM) kullanılarak analiz edilmiştir. Analiz sonucunda yarmada çekme dayanımını tahmin eden matematiksel modeller geliştirilmiştir. Geliştirilen matematiksel modellerin doğruluğunun tespiti için 9 adet kontrol serisi hazırlanmış ve modelin tahmin sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Bunun sonucunda bağıl hata oranları (BHO) hesaplanarak geliştirilen matematiksel model doğrulanmıştır.

II. DENEYSEL PROSEDÜR

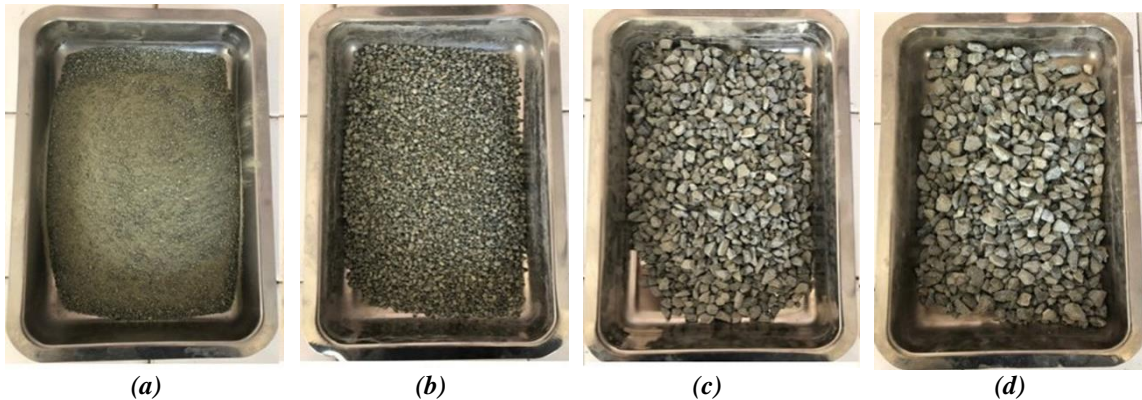
A. NUMUNE HAZIRLAMA

Bu çalışmada Elazığ Seza çimento fabrikasından temin edilen, CEM I 42.5 R Portland çimentosu kullanılmıştır [18]. Mineral katkı malzemesi olarak mermer tozu ve silis dumanı kullanılmıştır. Mermer tozu, Elazığ organize sanayi bölgesinden temin edilmiştir. Silis dumanı (mikro silis) Antalya Eti Metalurji'den temin edilmiştir. Bu malzemelerin kimyasal ve fiziksel özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Kullanılan malzemelerin kimyasal ve fiziksel özellikleri (%).

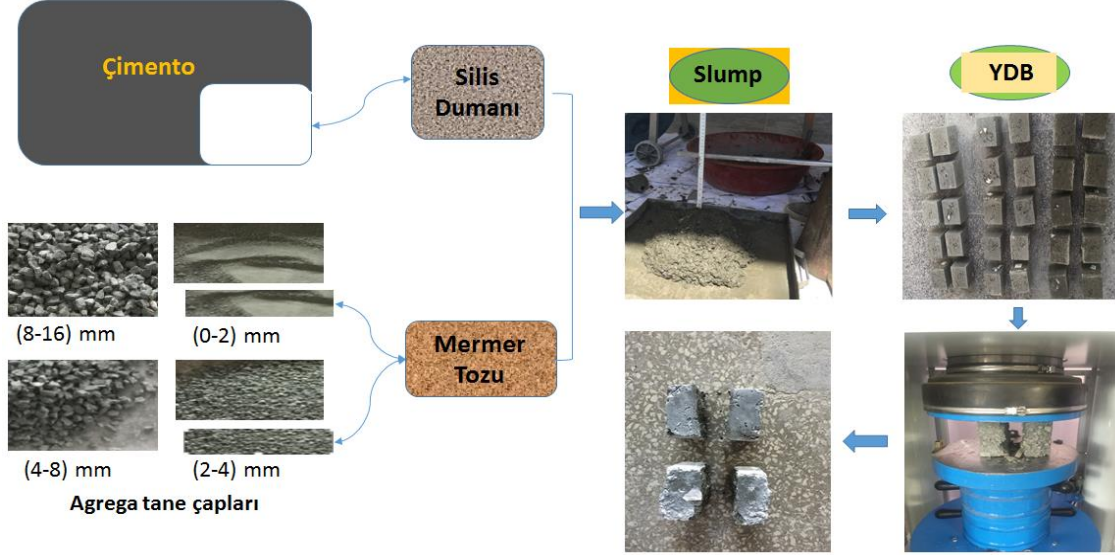
Kimyasal Özellikler	Çimento	Silis Dumanı	Mermer Tozu
CaO	63.19	0.40	40.45
SiO ₂	19.07	94.10	28.35
Fe ₂ O ₃	3.72	1.50	9.70
Al ₂ O ₃	4.82	0.90	0.17
SiO ₃	2.94	94.10	0.02
Na ₂ O	0.39	0.40	0.05
K ₂ O	0.62	0.90	0.01
MgO	1.83	0.10	16.25
Cl	0.0101	-	-
Çözünmeyen kalıntı	0.56	-	-
Kızdırma kaybı	3.43	-	4.84
Fiziksel Özellikler			
Özgül yüzey (Blaine)	3838		3920
Özgül ağırlık (g/cm ³)	3.13	2.20	2.71
Priz başlangıcı (dk)	135	-	-
Priz sonu (dk)	215	-	-
Hacim sabitliği (mm)	1	-	-

Beton karışımlarında % 52-63 oranında kuvars içeren, yüksek kompasite ve dayanıma sahip andezit agregası kullanılmıştır. Bu agregası türü, koyu renkli, emici olmayan, dağılmayan ve yoğun dokusu nedeniyle yüksek mukavemetli betonlar için uygundur [19]. Deneysel çalışmalarda kullanılan maksimum agregası tane çapı 16 mm olup, agregaları 0-2, 2-4, 4-8, 8-16 mm olarak 4 farklı gruba ayrılmıştır. Elek sınıflarına göre ayrılmış agregaları Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Deneysel çalışmalarda kullanılan andezit agregaları (mm) (a) (0-2) (b) (2-4) (c) (4-8) (d) (8-16).

Tüm karışımlarda, kimyasal katkı malzemesi olarak hiperakışkanlaştırıcı CHRYSO Fluid 518 kullanılmıştır. Silis dumanı, çimento ile hacimce %5-10-15 oranlarında yer değiştirilerek kullanılmıştır. Mermer tozu ise ince agrega ile hacimce %8-10-12 oranlarında yer değiştirilerek kullanılmıştır. Çalışmayı özetleyen akış şeması Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Çalışmanın Akış Şeması

B. KARIŞIM ÖZELLİKLERİ

Deneylerde farklı karışım oranlarına sahip 72 seri beton karışımı hazırlanmıştır. Karışımlara ait veriler Tablo 2'de, kontrol numunelerine ait karışım oranları Tablo 3'te verilmiştir. Hazırlanan numuneler 100x100x100 mm'lik kalıplara yerleştirilerek 24 saat laboratuvar ortamında bekletilmiştir. Prizini alan numuneler kalıplardan çıkarılarak kür havuzuna bırakılmıştır. Yarmada çekme testine tabi tutulmak üzere numuneler kür havuzundan çıkarılmıştır. Numunelere 3. ve 7. günlerde yarmada çekme dayanımı testi uygulanmıştır. Testler sonucu alınan verilerle, TYM yardımıyla analizler yapılmış ve matematiksel modeller geliştirilmiştir.

Tablo 2. Beton karışım miktarları (kg/m^3).

Seri Adı	Çimento	Su	Silis Dumanı	Mermer Tozu	İnce Agrega (0-2) mm	İnce Agrega (2-4) mm	Orta Agrega (4-8) mm	Kaba Agrega (8-16) mm
YDB400-1	380	80	14.1	83	577	380	411	615
YDB400-2	380	80	14.1	104	564	372	411	615
YDB400-3	380	80	14.1	125	552	363	411	615
YDB400-4	360	80	28.1	82	571	376	406	609
YDB400-5	360	80	28.1	103	559	368	406	609
YDB400-6	360	80	28.1	124	546	360	406	609
YDB400-7	340	80	42.2	82	565	372	402	603
YDB400-8	340	80	42.2	102	553	364	402	603
YDB400-9	340	80	42.2	122	541	356	402	603
YDB400-10	380	100	14.1	81	562	370	400	599
YDB400-11	380	100	14.1	101	550	362	400	599
YDB400-12	380	100	14.1	122	537	354	400	599
YDB400-13	360	100	28.1	80	556	366	395	593
YDB400-14	360	100	28.1	100	544	358	395	593
YDB400-15	360	100	28.1	120	532	350	395	593

YDB400-16	340	100	42.2	79	550	362	391	587
YDB400-17	340	100	42.2	99	538	355	391	587
YDB400-18	340	100	42.2	119	526	347	391	587
YDB400-19	380	120	14.1	79	547	360	389	583
YDB400-20	380	120	14.1	99	535	352	389	583
YDB400-21	380	120	14.1	118	523	344	389	583
YDB400-22	360	120	28.1	78	541	356	385	577
YDB400-23	360	120	28.1	117	517	341	385	577
YDB400-24	340	120	42.2	77	535	352	381	571
YDB400-25	340	120	42.2	116	512	337	381	571
YDB450-1	428	90	15.8	80	557	367	396	594
YDB450-2	428	90	15.8	100	545	359	396	594
YDB450-3	428	90	15.8	120	532	351	396	594
YDB450-4	405	90	31.6	79	550	362	391	587
YDB450-5	405	90	31.6	119	526	346	391	587
YDB450-6	383	90	47.4	78	544	358	387	580
YDB450-7	383	90	47.4	98	532	350	387	580
YDB450-8	383	90	47.4	118	520	342	3867	580
YDB450-9	428	113	15.8	78	540	355	384	576
YDB450-10	428	113	15.8	97	528	348	384	576
YDB450-11	405	113	31.6	77	533	351	379	569
YDB450-12	405	113	31.6	115	510	336	379	569
YDB450-13	383	113	47.4	76	526	347	374	562
YDB450-14	383	113	47.4	95	515	339	374	562
YDB450-15	383	113	47.4	114	504	332	374	562
YDB450-16	428	135	15.8	75	523	344	372	557
YDB450-17	428	135	15.8	94	511	337	372	557
YDB450-18	428	135	15.8	113	500	329	372	557
YDB450-19	405	135	31.6	74	516	340	367	550
YDB450-20	405	135	31.6	112	494	325	367	550
YDB450-21	383	135	47.4	74	509	336	362	543
YDB450-22	383	135	47.4	92	498	328	362	543
YDB450-23	383	135	47.4	110	487	321	362	543
YDB500-1	475	100	17.6	77	536	353	381	572
YDB500-2	475	100	17.6	97	525	345	381	572
YDB500-3	475	100	17.6	116	513	338	381	572
YDB500-4	450	100	35.1	76	529	348	376	564
YDB500-5	450	100	35.1	95	517	341	376	564
YDB500-6	450	100	35.1	114	506	333	376	564
YDB500-7	425	100	52.7	75	522	344	371	556
YDB500-8	425	100	52.7	94	510	336	371	556
YDB500-9	425	100	52.7	113	499	329	371	556
YDB500-10	475	125	17.6	75	517	341	368	552
YDB500-11	475	125	17.6	93	506	333	368	552
YDB500-12	450	125	35.1	74	510	336	363	544
YDB500-13	450	125	35.1	110	488	321	363	544
YDB500-14	425	125	52.7	73	503	331	358	536
YDB500-15	425	125	52.7	91	492	324	358	536
YDB500-16	425	125	52.7	109	481	317	358	536
YDB500-17	475	150	17.6	72	498	328	354	532
YDB500-18	475	150	17.6	90	488	321	354	532
YDB500-19	475	150	17.6	108	477	314	354	532
YDB500-20	450	150	35.1	71	491	324	349	524
YDB500-21	450	150	35.1	106	470	309	349	524
YDB500-22	425	150	52.7	70	484	319	344	516
YDB500-23	425	150	52.7	87	473	312	344	516
YDB500-24	425	150	52.7	105	463	305	344	516

Tablo 3. Kontrol numunelerine ait beton karışım miktarları (kg/m³).

Seri Adı	Çimento	Su	Silis Dumanı	Mermer Tozu	İnce Agregası (0-2) mm	İnce Agregası (2-4) mm	Orta Agregası (4-8) mm	Kaba Agregası (8-16) mm
KYDB-1	360	120	28.1	98	529	349	385	577
KYDB-2	340	120	42.2	97	523	345	381	571
KYDB-3	405	90	31.6	99	538	354	391	587
KYDB-4	428	113	15.8	117	516	340	384	576
KYDB-5	405	113	31.6	96	521	343	379	569
KYDB-6	405	135	31.6	93	505	332	367	550
KYDB-7	475	125	17.6	112	495	326	368	552
KYDB-8	450	125	35.1	92	499	329	363	544
KYDB-9	450	150	35.1	89	480	316	349	524

C. YARMADA ÇEKME TESTİ

Yarmada çekme dayanımı testi, TS EN 12390-6 standardına göre belirlenmiştir [20]. Çalışma kapsamında kür havuzunda bekletilen numunelere, 3. ve 7. günlerde yarmada çekme dayanımı testi uygulanmıştır. Bu testler için 2000 kN kapasiteli dijital cihaz kullanılmış ve testler yapılırken numunenin alt ve üst kısımlarına her testte değiştirilmek suretiyle duralitler yerleştirilmiştir. Bu duralitler küp numunenin düzlem boyunca kırılmasını sağlamıştır (Şekil 3).



Şekil 3. Düzlem boyunca kırılan numuneler

III. MODELİN TASARIMI VE İSTATİSTİK ANALİZİ

Tepki yüzeyi metodu (TYM), matematiksel ve istatistiksel tekniklerin bir aracıdır. Sorunları geliştirmek, iyileştirmek ve optimize etmek için kullanılır. Bu metotta yanıt değişkeni, birden çok değişkenden etkilenir [21]. Bir TYM modeli geliştirmek, üç ana adımı içerir. Bunlar; ilgililenen yanıtın deneysel verilerini toplamak, bir TYM modeli oluşturmak ve doğruluğunu onaylamak, son olarak, istenen yanıt değişkenlerini hesaplamak için değişkenleri optimize etmektir [22]. TYM'nin, her yanıt için modeli tahmin etme, az sayıda deneysel veri noktasıyla sağlam bir model oluşturma, değişkenler arasındaki etkileşimini değerlendirme ve en uygun yanıtı bulma gibi çeşitli avantajları vardır [21].

Bu çalışmada deneysel tasarım ve analiz için piyasada bulunan bir yazılım paketi (Design Expert) kullanılmıştır [23]. Model geliştirilirken kullanılan değişkenler su/çimento (S/C), agrega/çimento (A/C), ve mermer tozu/ince agrega (MT/İA) oranlarıdır. S/C ve A/C oranı betonun dayanımı ve işlenebilirliği üzerinde önemli etkiye sahiptir [24]. Dolayısıyla S/C ve A/C oranları değişken olarak kesinlikle dikkate

alınmalıdır. Bunlara ek olarak, mermer tozunun kullanımıyla betonun boşluk oranı azalmaktadır. Yani, dolgu özelliği nedeniyle basınç dayanımını arttırmaktadır [25]. Ancak optimum değerden sonra dayanım değerlerinde azalmaya sebep olmaktadır [26].

Tablo 4'te ve Tablo 5'te, analizlerde kullanılan değişkenlere ve yanıtlara ait değerler verilmiştir. Bu tablolarda karışım kodlarına isimler verilirken, YDB değerleri yüksek dayanımlı betonu, 400-450-500 çimento dozajı olarak verilen değerler ve sağda verilen numaralar ise hazırlanan seri numarasına göstermektedir. Ayrıca KYDB kodları, kontrol yüksek dayanımlı betonu, sağda verilen numaralar ise hazırlanan seri numarasını belirtir.

Tablo 4. Analizde kullanılan yanıtlar ve değişkenlere ait değerler.

Karışım Kodu	S/C	A/C	MT/İA	f _t -3 gün (MPa)	f _t -7 gün (MPa)
YDB400-1	0.21	5.22	0.087	3.39	3.56
YDB400-2	0.21	5.16	0.111	3.52	3.69
YDB400-3	0.21	5.11	0.136	3.47	3.62
YDB400-4	0.22	5.45	0.087	3.48	3.69
YDB400-5	0.22	5.39	0.111	3.58	3.81
YDB400-6	0.22	5.34	0.136	3.52	3.76
YDB400-7	0.24	5.71	0.087	3.52	3.91
YDB400-8	0.24	5.65	0.111	3.63	4.01
YDB400-9	0.24	5.59	0.136	3.57	3.95
YDB400-10	0.26	5.08	0.087	3.68	4.17
YDB400-11	0.26	5.03	0.111	3.76	4.27
YDB400-12	0.26	4.97	0.136	3.72	4.21
YDB400-13	0.28	5.31	0.087	3.73	4.20
YDB400-14	0.28	5.25	0.111	3.83	4.32
YDB400-15	0.28	5.20	0.136	3.78	4.26
YDB400-16	0.29	5.56	0.087	3.72	4.19
YDB400-17	0.29	5.50	0.111	3.81	4.27
YDB400-18	0.29	5.44	0.136	3.77	4.23
YDB400-19	0.32	4.94	0.087	3.60	4.07
YDB400-20	0.32	4.89	0.111	3.68	4.18
YDB400-21	0.32	4.84	0.136	3.63	4.13
YDB400-22	0.33	5.16	0.087	3.55	4.02
YDB400-23	0.33	5.05	0.136	3.59	4.07
YDB400-24	0.35	5.41	0.087	3.35	3.81
YDB400-25	0.35	5.29	0.136	3.37	3.87
YDB450-1	0.21	4.47	0.087	3.61	3.83
YDB450-2	0.21	4.43	0.111	3.69	3.90
YDB450-3	0.21	4.38	0.136	3.64	3.86
YDB450-4	0.22	4.67	0.087	3.68	3.95
YDB450-5	0.22	4.57	0.136	3.72	4.00
YDB450-6	0.24	4.88	0.087	3.74	4.13
YDB450-7	0.24	4.83	0.111	3.85	4.23
YDB450-8	0.24	4.78	0.136	3.78	4.18
YDB450-9	0.26	4.34	0.087	3.88	4.40
YDB450-10	0.26	4.29	0.111	3.95	4.49
YDB450-11	0.28	4.52	0.087	3.98	4.51
YDB450-12	0.28	4.43	0.136	4.02	4.59
YDB450-13	0.29	4.73	0.087	3.93	4.46
YDB450-14	0.29	4.68	0.111	4.01	4.56
YDB450-15	0.29	4.63	0.136	3.96	4.51
YDB450-16	0.32	4.20	0.087	3.82	4.32
YDB450-17	0.32	4.16	0.111	3.89	4.44
YDB450-18	0.32	4.11	0.136	3.85	4.36
YDB450-19	0.33	4.38	0.087	3.73	4.16
YDB450-20	0.33	4.29	0.136	3.76	4.24
YDB450-21	0.35	4.58	0.087	3.52	4.04

YDB450-22	0.35	4.53	0.111	3.59	4.19
YDB450-23	0.35	4.48	0.136	3.54	4.13
YDB500-1	0.21	3.88	0.087	3.72	4.46
YDB500-2	0.21	3.84	0.111	3.82	4.58
YDB500-3	0.21	3.80	0.136	3.76	4.52
YDB500-4	0.22	4.04	0.087	3.81	4.52
YDB500-5	0.22	4.00	0.111	3.92	4.68
YDB500-6	0.22	3.95	0.136	3.84	4.62
YDB500-7	0.24	4.22	0.087	3.90	4.66
YDB500-8	0.24	4.17	0.111	3.98	4.79
YDB500-9	0.24	4.13	0.136	3.92	4.71
YDB500-10	0.26	3.74	0.087	3.98	4.81
YDB500-11	0.26	3.70	0.111	4.04	4.92
YDB500-12	0.28	3.89	0.087	4.10	4.95
YDB500-13	0.28	3.81	0.136	4.14	5.03
YDB500-14	0.29	4.06	0.087	4.03	4.88
YDB500-15	0.29	4.02	0.111	4.10	5.04
YDB500-16	0.29	3.98	0.136	4.08	4.96
YDB500-17	0.32	3.61	0.087	3.90	4.73
YDB500-18	0.32	3.57	0.111	3.98	4.87
YDB500-19	0.32	3.53	0.136	3.94	4.81
YDB500-20	0.33	3.75	0.087	3.83	4.60
YDB500-21	0.33	3.67	0.136	3.86	4.68
YDB500-22	0.35	3.91	0.087	3.62	4.42
YDB500-23	0.35	3.87	0.111	3.70	4.56
YDB500-24	0.35	3.83	0.136	3.66	4.50

Tablo 5. Kontrol numuneleri analizinde kullanılan yanıtlar ve değişkenlere ait değerler.

Karışım Kodu	S/C	A/C	MT/İA	f _t -3 gün (MPa)	f _t -7 gün (MPa)
KYDB-1	0.33	5.11	0.111	3.63	4.07
KYDB-2	0.35	5.35	0.111	3.40	3.89
KYDB-3	0.22	4.62	0.111	3.73	4.05
KYDB-4	0.26	4.25	0.136	3.86	4.47
KYDB-5	0.28	4.47	0.111	4.01	4.66
KYDB-6	0.33	4.33	0.111	3.76	4.33
KYDB-7	0.26	3.66	0.136	3.97	4.82
KYDB-8	0.28	3.85	0.111	4.15	5.06
KYDB-9	0.33	3.71	0.111	3.87	4.71

Değişkenlerin YDB'ler üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla matematiksel model geliştirilmiştir. Bu model geliştirilirken S/C, A/C ve MT/İA değişkenleri dikkate alınmıştır. Geliştirilen modeldeki önemsiz terimler, model üzerinde t testi yapılarak kaldırılmıştır. Son olarak, model kalan değerlere göre oluşturulmuştur. Modelin yeterliliğini doğrulamak için temel olarak P değerleri ve F değerleri kullanılmaktadır. Bu değerleri belirlemek için varyans analizi (ANOVA) yapılmıştır. Modellere ait ANOVA sonuçları Tablo 6'da sunulmuştur.

Tablo 6. Modele ait ANOVA sonuçları.

Sonuç	Model	
	F-değeri	P-değeri
f _t -3 gün (MPa)	93.90	< 0.0001
f _t -7 gün (MPa)	60.81	< 0.0001

Bu çalışmada, f_t-3 ve f_t-7 gün değerlerini tahmin etmek için matematiksel bir model geliştirilmiştir. f_t-3 ve f_t-7 gün için geliştirilen modele ait belirlilik katsayıları (R²) sırasıyla 0.91-0.92'dir. Belirlilik katsayıları arttıkça modelin tahmin gücü giderek artmaktadır. Aynı zamanda geliştirilen modelin P-değerinin de <0.0001 olması modelin anlamlı ve değerli olduğunu göstermektedir.

Modelin anlamlı ve değerli olduğu belirlendikten sonra, her değişkenin yanıtlar üzerindeki etkisini değerlendirmek için ANOVA analizi yapılmıştır. Her değişkenin önemi, analiz sonucunda elde edilen P değerine bağlıdır. Modelde kullanılan değişkenler, P değerinin genellikle 0.05'in altında olup olmadığı dikkate alınarak belirlenmiştir. Değişkenlere ait P değerleri, terimlerin anlamlı olduğunu ve katkılarının modeli iyileştirdiğini göstermektedir. Geliştirilen modele ait katsayılar ve ilgili P değerleri Tablo 6'da sunulmuştur.

Tablo 7. Geliştirilen modelin analiz sonuçları.

Model Terimleri	f _{t-3} gün (MPa)		f _{t-7} gün (MPa)	
	Katsayı	P-değeri	Katsayı	P-değeri
A (S/C)	36.906	0.0017	44.577	0.018
B (A/C)	-0.297	< 0.0001	-2.831	< 0.0001
C (MT/İA)	22.611	0.1124	31.105	0.366
AB	0.387	0.1019	2.029	0.0005
AC	-2.157	0.7425	3.002	0.8408
BC	-0.133	0.7984	-0.039	0.9738
A ²	-69.509	< 0.0001	-95.532	< 0.0001
B ²	-	-	0.0197	< 0.0001
C ²	-93.673	0.0002	-139.524	0.0132
Sabit	-1.285	-	3.96	-

IV. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada yüksek dayanımlı betonların erken yaş yarmada çekme dayanım sonuçlarının kapsamlı değerlendirilmesi araştırılmıştır. Bu kapsamda 72 seri beton karışımı hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelerden alınan verilerle yapılan analizler sonucunda f_{t-3} ve f_{t-7} gün değerlerine ait matematiksel modeller geliştirilmiştir. Daha sonra geliştirilen modelin doğruluğunu test etmek amacıyla 9 kontrol serisi hazırlanmıştır. Bu kontrol serilerine ait f_{t-3} ve f_{t-7} değerleri ile modelin tahmin ettiği f_{t-3} ve f_{t-7} değerleri karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalar sonucunda modele ait BHO hesaplanmıştır. BHO değerleri, Denklem 2 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$BHO (\%) = \frac{\text{Deney} - \text{Model}}{\text{Deney}} \times 100 \quad (2)$$

Geliştirilen modelin tahmin ettiği f_{t-3} ve f_{t-7} ve BHO değerleri Tablo 8'de verilmiştir. Geliştirilen model dikkate alındığında f_{t-3} ve f_{t-7} değerlerine ait BHO değerleri %10'un altında kalmaktadır. Böylece, geliştirilen modelin kontrol numunelerini tahmin etmede oldukça başarılı sonuçlar elde ettiği görülmektedir.

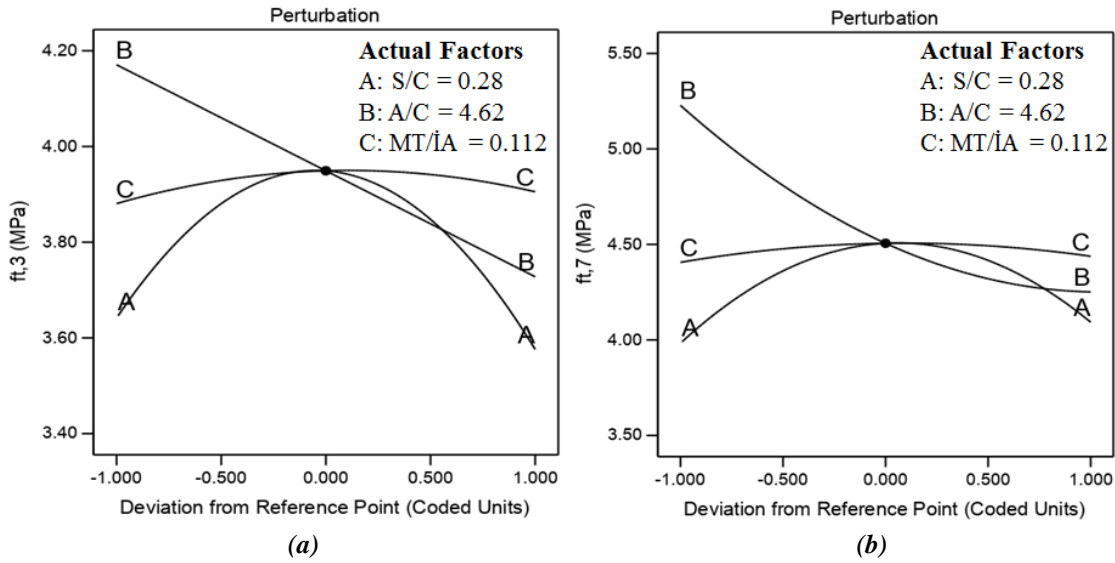
Tablo 8. Geliştirilen modellerin f_{t-3}, f_{t-7} günlük tahmin sonuçları ve BHO değerleri.

Sonuçlar	Karışım Kodu	Deney Sonuçları	Model	BHO (%)
f _{t-3} gün (MPa)	KYDB-1	3.63	3.64	-0.2
	KYDB-2	3.40	3.42	-0.5
	KYDB -3	3.73	3.74	-0.4
	KYDB -4	3.86	3.97	-2.9
	KYDB -5	4.01	3.98	0.7
	KYDB -6	3.76	3.78	-0.6
	KYDB -7	3.97	4.10	-3.1
	KYDB -8	4.15	4.11	1.1

f_{i-7} gün (MPa)	KYDB -9	3.87	3.89	-0.4
	KYDB-1	4.07	4.16	-2.3
	KYDB-2	3.89	3.95	-1.5
	KYDB -3	4.05	4.15	-2.4
	KYDB -4	4.47	4.61	-3.1
	KYDB -5	4.66	4.58	1.8
	KYDB -6	4.33	4.39	-1.5
	KYDB -7	4.82	5.04	-4.4
	KYDB -8	5.06	4.97	1.9
	KYDB -9	4.71	4.75	-0.8

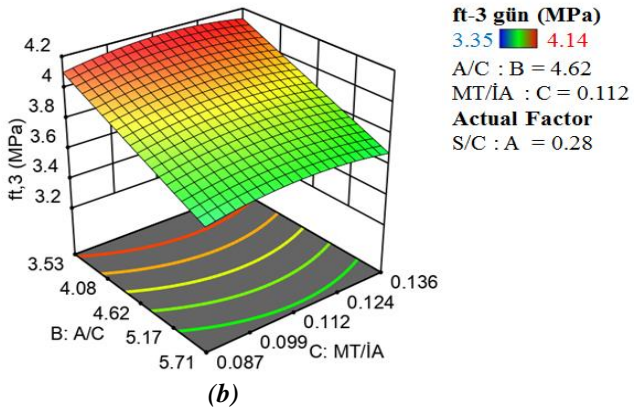
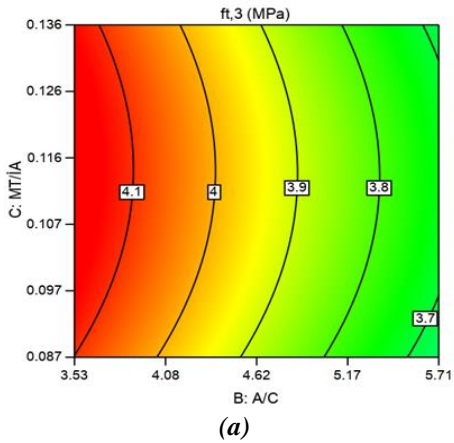
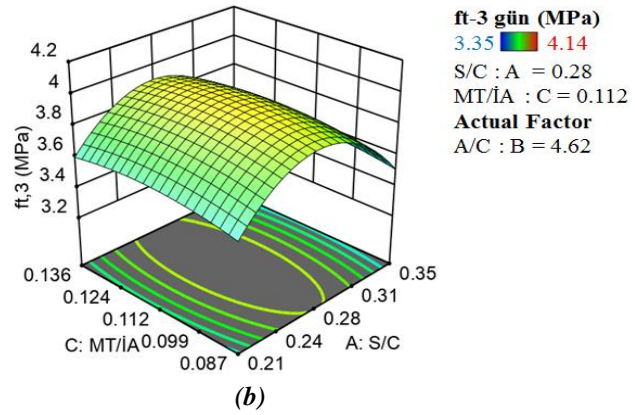
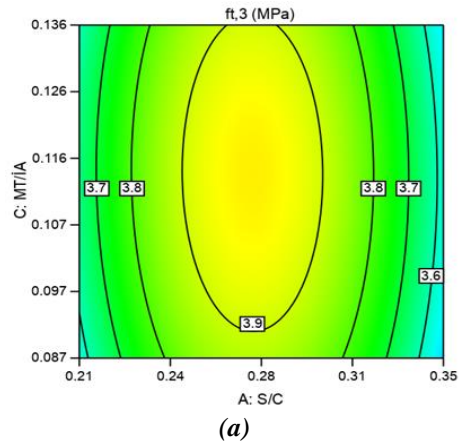
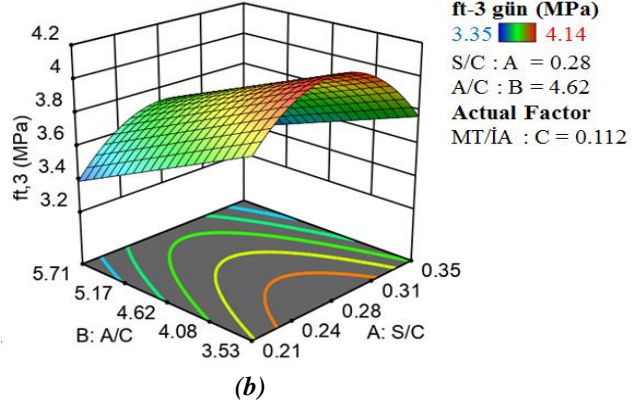
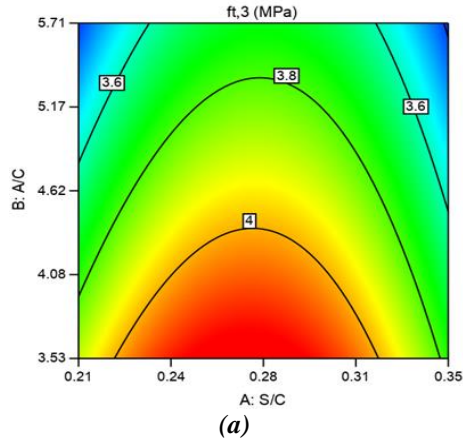
Şekil 4'te, f_{i-3} ve f_{i-7} değerlerini tahmin etmek için geliştirilen modele ait değişkenlerin etkilerini açıklayan pertürbasyon eğrisi verilmiştir. Pertürbasyon eğrileri, geliştirilen modele ait değişkenlerin, yanıtlar üzerindeki sonuçlarını daha iyi açıklayabilmek için kullanılmaktadır. Bu eğriler incelendiğinde S/C oranı 0.21-0.28 aralığındayken f_{i-3} ve f_{i-7} değerlerinin arttığı, 0.28-0.35 aralığında ise f_{i-3} ve f_{i-7} gün değerlerinin azaldığı görülmektedir. Aynı zamanda A/C miktarı arttıkça f_{i-3} gün değerlerinde azalma meydana gelmektedir. MT/İA oranı 0.087-0.112 aralığındayken f_{i-3} ve f_{i-7} değerleri artmakta, 0.112-0.136 aralığında ise f_{i-3} ve f_{i-7} gün değerleri azalmaktadır.

Pertürbasyon eğrilerinde 0.28 ve 4.62 olarak verilen değerler, değişkenlere ait en düşük ve en yüksek değerlerin aritmetik ortalamasını ifade etmektedir. Bu değerler, pertürbasyon eğrisinde 0 noktasına karşılık gelen değerleri belirtmektedir.



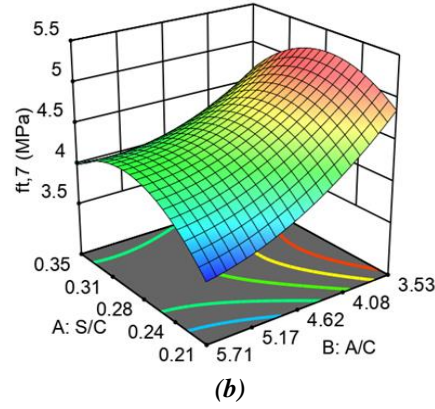
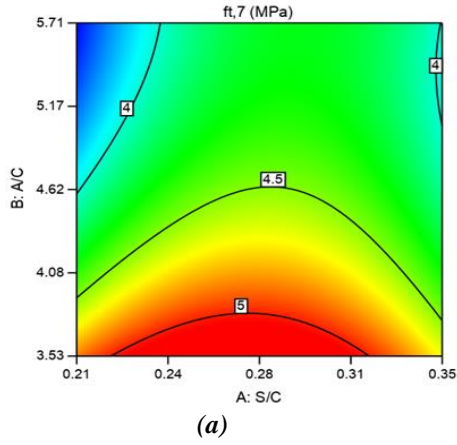
Şekil 4. Geliştirilen modelin (a) f_{i-3} gün (b) f_{i-7} gün değerlerine ait pertürbasyon eğrileri

Şekil 5'te f_{i-3} gün değeri için geliştirilen modele ait iki ve üç boyutlu etki grafikleri verilmiştir. Bu etki grafiği incelendiğinde S/C oranı arttıkça f_{i-3} gün değerlerinin arttığı görülmektedir. Aynı zamanda A/C ve MT/İA oranları arttıkça f_{i-3} gün değerinin azaldığı üç boyutlu etki grafiğinden açıkça görülmektedir. Bunun nedeni, A/C oranı arttıkça karışımdaki agrega miktarının artmasıdır. Böylece, karışımın su emme miktarı artmakta ve daha kuru bir karışım elde edilmektedir. Ayrıca, MT/İA oranı 0.087-0.112 aralığında f_{i-3} gün değerleri artmakta, 0.112-0.136 aralığında azalmaktadır. Bunun nedeni mermer tozunun optimum değere kadar basınç dayanımını arttırması, optimum değerden sonra basınç dayanımı değerlerinde olumsuz etki yaratmasıdır.

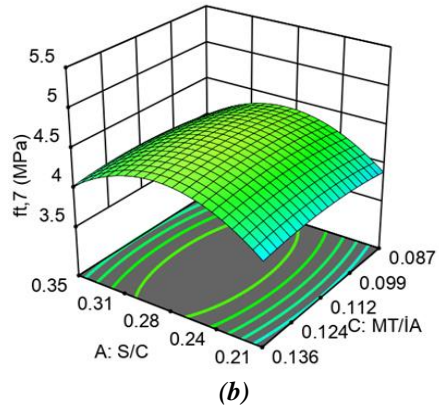
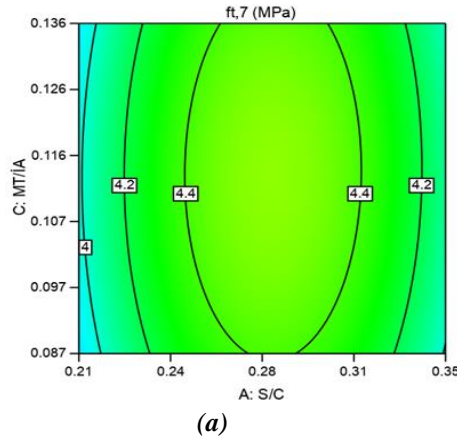


Şekil 5. f_{t-3} gün değerine ait (a) iki boyutlu (b) üç boyutlu etki grafikleri

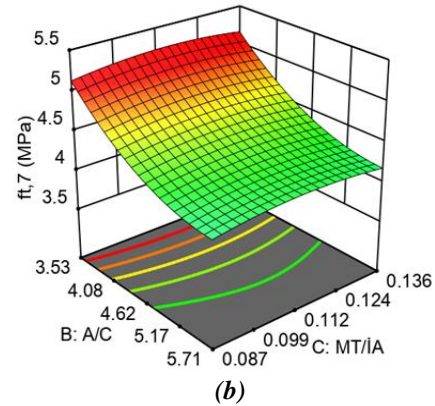
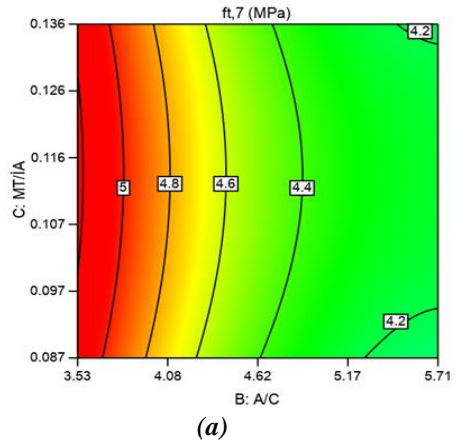
Şekil 6'da f_{t-7} gün değeri için geliştirilen modele ait iki ve üç boyutlu etki grafikleri verilmiştir. Bu grafikler incelendiğinde f_{t-7} gün değeri sonuçları f_{t-3} gün değeri sonuçları ile benzer çıkmıştır.



ft-7 gün (MPa)
 3.56 5.04
 S/C : A = 0.28
 A/C : B = 4.62
Actual Factor
 MT/IA : C = 0.112



ft-7 gün (MPa)
 3.56 5.04
 S/C : A = 0.28
 MT/IA : C = 0.112
Actual Factor
 A/C : B = 4.62



ft-7 gün (MPa)
 3.56 5.04
 A/C : B = 4.62
 MT/IA : C = 0.112
Actual Factor
 S/C : A = 0.28

Şekil 6. f_t-7 gün değerine ait (a) iki boyutlu (b) üç boyutlu etki grafikleri

A. SONUÇLAR

Betonun çekme dayanımı, betonun çatlama performansı ve durabilite gibi özelliklerinin tespitinde büyük öneme sahiptir. Bu çalışmada yüksek dayanımlı betonların erken yaş yarmada çekme dayanım sonuçlarının kapsamlı değerlendirilmesi yapılmış ve bunun sonucunda matematiksel modeller geliştirilmiştir. Yapılan değerlendirme ve geliştirilen matematiksel modellerle aşağıdaki sonuçlara varılmıştır:

- YDB üretiminde mermer tozu ve silis dumanı kullanım oranının %10'a kadar artmasıyla dayanım değerlerinde artma görülmüştür. %10 değerinden sonraki numunelerde ise dayanım değerinde azalma görülmüştür. Yapılan testler ve alınan sonuçlar doğrultusunda, betonun yarmada çekme dayanımı değişiminde, beton karışımında kullanılan mermer tozu ve silis dumanı kullanım oranlarının etkili olduğu tespit edilmiştir.
- Üretilen YDB numunelerinin erken yaş yarmada çekme dayanımlarını incelemek amacıyla 3. ve 7. günde numuneler teste tabi tutulmuşlardır. Bu çalışmada f_t-3 ve f_t-7 gün için bir TYM modeli geliştirilmiştir. Bu model yardımıyla erken yaş yarmada çekme dayanımları yüksek doğrulukla tahmin edilebilmektedir. Özellikle betonun kalitesinin ve betondaki çatlak durumunun belirlenmesinde erken yaş çekme dayanımının belirlenmesi avantaj sağlamaktadır. Dolayısıyla kütle betonları, su depoları ve nükleer santraller gibi büyük yapılarda bu modellerin kullanılmasının önemli kazançlar sağlayacağı düşünülmektedir.
- Son yıllarda TYM'nin beton teknolojisinde kullanımı da giderek yaygınlaşmaktadır. Bu çalışmada erken yaş yarmada çekme dayanımını tahmin etmek ve pratik bir karışım hesabı sunmak için TYM tabanlı matematiksel bir model geliştirilmiştir. Bu model incelendiğinde BHO değerlerinin %10'un altında kaldığı görülmüştür. Böylece, TYM kullanılarak geliştirilen modelin kontrol numunelerini tahmin etmede oldukça başarılı sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

V. KAYNAKLAR

- [1] H. T. N. Le, L. H. Poh, S. Wang, and M.-H. Zhang, "Critical parameters for the compressive strength of high-strength concrete," *Cem. Concr. Compos.*, vol. 82, pp. 202–216, 2017.
- [2] A. C. I. C. 363, Report on High-Strength Concrete (ACI 363R-10). ACI, 2010.
- [3] S. Ahmad, I. Hakeem, and M. Maslehuddin, "Development of an optimum mixture of ultra-high performance concrete," *Eur. J. Environ. Civ. Eng.*, vol. 20, no. 9, 2016.
- [4] T. Erdogan, Beton. Ankara: METU Press, 2003.
- [5] Y. Zhong, Y. Sun, K. H. Tan, and O. Zhao, "Testing, modelling and design of high strength concrete-filled high strength steel tube (HCFHST) stub columns under combined compression and bending," *Eng. Struct.*, vol. 241, p. 112334, 2021.
- [6] S. Chithra, S. R. R. Senthil Kumar, and K. Chinnaraju, "The effect of Colloidal Nano-silica on workability, mechanical and durability properties of High Performance Concrete with Copper slag as partial fine aggregate," *Constr. Build. Mater.*, vol. 113, 2016.
- [7] A. Khaloo, M. H. Mobini, and P. Hosseini, "Influence of different types of nano-SiO₂ particles on properties of high-performance concrete," *Constr. Build. Mater.*, 2016.
- [8] S. Y. Çetin and İ. Ragıp, "Küp numunelerin yarmada-çekme dayanımında agrega granülometrisinin boyut değişimi üzerine etkisi," *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Derg.*, vol. 8, no. 3, pp. 443–451, 2016.

- [9] S. Ray, M. Haque, M. M. Rahman, M. N. Sakib, and K. Al Rakib, "Experimental investigation and SVM-based prediction of compressive and splitting tensile strength of ceramic waste aggregate concrete," *J. King Saud Univ. Sci.*, 2021.
- [10] R. Siddique, M. Singh, S. Mehta, and R. Belarbi, "Utilization of treated saw dust in concrete as partial replacement of natural sand," *J. Clean. Prod.*, vol. 261, p. 121226, 2020.
- [11] H. Constantinescu, O. Gherman, C. Negrutiu, and S. P. Ioan, "Mechanical properties of hardened high strength concrete," *Procedia Technol.*, vol. 22, pp. 219–226, 2016.
- [12] X. Zhou et al., "DEM analysis of the effect of interface transition zone on dynamic splitting tensile behavior of high-strength concrete based on multi-phase model," *Cem. Concr. Res.*, vol. 149, p. 106577, 2021.
- [13] H. Taghaddos, F. Mahmoudzadeh, A. Pourmoghaddam, and M. Shekarchizadeh, "Prediction of compressive strength behaviour in RPC with applying an adaptive network-based fuzzy interface system," in *Proceedings of the International Symposium on Ultra High Performance Concrete, Kassel, Germany, 2004*, pp. 273–284.
- [14] A. M. Neville, *Properties of concrete*, vol. 4. Longman London, 1995.
- [15] V. Kadleček and S. Modrý, "Size effect of test specimens on tensile splitting strength of concrete: general relation," *Mater. Struct.*, vol. 35, no. 1, pp. 28–34, 2002.
- [16] D. J. Hannant, K. J. Buckley, and J. Croft, "The effect of aggregate size on the use of the cylinder splitting test as a measure of tensile strength," *Matériaux Constr.*, vol. 6, no. 1, pp. 15–21, 1973.
- [17] F. Bin Ahmed, K. A. Ahsan, T. Shariff, and S. R. Meem, "Formulation of polynomial equation predicting the splitting tensile strength of concrete," *Mater. Today Proc.*, vol. 38, pp. 3269–3278, 2021.
- [18] P. and C. C. Cement - Part 1: General Cements, Composition, "TS EN 197-1," Turkey, 2012.
- [19] O. Soykan, Ö. Cengiz, and Ö. Cenk, "Investigation of the Usability of Slate and Andesite as Concrete Aggregate," *J. Suleyman Demirel Univ. Grad. Sch. Nat. Appl. Sci.*, vol. 19, no. 1, 2015.
- [20] T. S. EN, "12390-6 (2010)," Test. hardened Concr. tensile strength test specimens. Turkish Stand. Institute, TSE, Ankara, Turkey.
- [21] R. H. Myers, D. C. Montgomery, and C. M. Anderson-Cook, *Response surface methodology: process and product optimization using designed experiments*. John Wiley & Sons, 2016.
- [22] K. E. Alyamac, E. Ghafari, and R. Ince, "Development of eco-efficient self-compacting concrete with waste marble powder using the response surface method," *J. Clean. Prod.*, vol. 144, pp. 192–202, 2017.
- [23] "Design-expert software." Inc., S.-E, Minneapolis, MN, USA., 2016.
- [24] S. Pyo and H. K. Kim, "Fresh and hardened properties of ultra-high performance concrete incorporating coal bottom ash and slag powder," *Constr. Build. Mater.*, vol. 131, 2017.

- [25] İ. B. Topçu and A. Uğurlu, “TS 500/2000 Standardının Beton Açısından İncelenmesi,” ECAS2002 Uluslararası Yapı ve Deprem Mühendisliği Sempozyumu, vol. 14, pp. 492–499, 2002.
- [26] K. E. Alyamac and A. B. Aydın, “Concrete properties containing fine aggregate marble powder,” *KSCE J. Civ. Eng.*, vol. 19, no. 7, pp. 2208–2216, 2015.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Derleme

Fotovoltaik-Termoelektrik Hibrit Güç Üretim Sistemlerinde Son Gelişmeler

 Cihan DEMİRCAN ^{a,*},  Ali KEÇEBAŞ ^b  Hilmi Cenk BAYRAKÇI ^c

^a Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, TÜRKİYE

^b Enerji Sistemleri Mühendisliği, Teknoloji Fakültesi, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla, TÜRKİYE

^c Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Isparta, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: cihandemircan48@gmail.com

DOI: 10.29130/dubited.1074371

ÖZ

Fotovoltaik (PV) modüllerin en küçük birimini oluşturan güneş gözeleri güneş enerjisini doğrudan elektriğe dönüştürürler. Ancak dönüştürülen elektrik enerjisi gelen enerjinin %13 ile %20'si arasında değişmektedir. Gelen güneş enerjisinin bir kısmı geri yansımakta geri kalanı ise termal enerjiye dönüşmektedir. Bu nedenle PV modül sıcaklıkları yükselmekte ve PV modüllerin verimleri düşmektedir. Güneş enerjisinden üretilen gücü arttırmanın yollarından biri PV modül sıcaklığını termoelektrik (TE) jeneratörler yardımıyla elektrik enerjisine dönüştürmektir. Bu çalışmada PV – TE güç üretim sistemlerinde yapılan seksen farklı literatür çalışması derlenmiştir. PV-TE sistemler beş grupta sınıflandırılmıştır. Bunlar geleneksel, yoğunlaştırılmalı, faz değiştiren malzeme entegreli, ekonomik değerlendirmeler ile güç düzenleme ve kaydetme birimleridir. Özetle geleneksel PV-TE sistemlerdeki sıcaklık ve güç sınırlamalarını ortadan kaldırmak için yoğunlaştırılmış sistemlere geçiş olduğu görülmekle birlikte ve yeni teknikler geliştirilmeye çalışılmaktadır. PV-TE sistemlerin performansı geleneksel PV sistemlerden iyi olsa bile TE modül maliyetinin yüksek olması ve düşük verimliliği bu sistemlerin rekabetçi olmasını kısıtlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Güneş Enerjisi, Fotovoltaik, Termoelektrik, Güç Üretimi

Recent Developments of Photovoltaic-Thermoelectric Hybrid Power Generation Systems

ABSTRACT

Solar cells directly convert solar energy into electricity and are a small unit of photovoltaic (PV) modules. However, energy conversion changes between 13% and 20% from solar energy. Incoming solar energy reflects from the surface and the rest of the solar energy converts to thermal energy. So, PV module temperature rises and efficiency decreases. One of the increasing of electricity from solar energy is utilization of PV module temperature together with thermoelectric (TE) generators. In this study, eighty different publications in literature were reviewed about PV-TE hybrid power generation systems. PV-TE system was classified in five groups. These are conventional, concentrated, phase change material integrated, economic perspectives and power conditioning units. In briefly, concentrated PV-TE system is alternative to remove of the temperature and power limitations of conventional PV-TE system and try to novel techniques of these limitations. However, even if PV-TE system performance is better

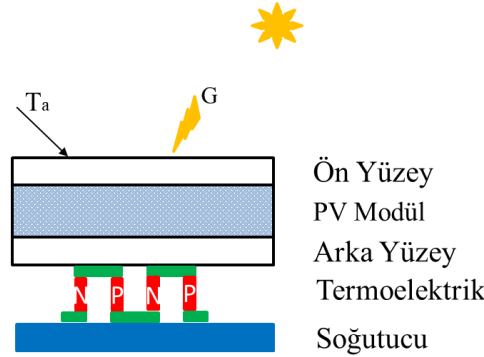
than conventional PV system, high costs and low efficiency TE modules are restricted to competitive becoming of PV-TE systems.

Keywords: Solar Energy, Photovoltaic, Thermoelectric, Hybrid Power Generation

I. GİRİŞ

Güneş enerjisinin mevsimsel, günlük ve anlık değişimleri güneş enerjisinin etkin kullanımının önemini arttırmaktadır. Güneş enerjisinden elektrik üretiminde güneş gözelerinin çevre dostu olması, hareketli parçasının bulunmaması ve kolaylıkla entegre edilerek küçük güçlü sistemlerden büyük sistemlere dönüştürülmesi, binalarda ve kırsal kesimlerde enerji tüketimini karşılaması son yıllarda güneşten elektrik üretiminin ilgi odağı olmuştur.

Fotovoltaik (PV) modüllerin en küçük birimini oluşturan güneş gözeleri güneş enerjisini doğrudan elektriğe dönüştürürler. Ancak dönüştürülen elektrik enerjisi gelen enerjinin %13 ile %20'si arasında değişmektedir. Gelen güneş enerjisinin bir kısmı geri yansımakta geri kalanı ise termal enerjiye yani sıcaklığa dönüşmektedir. Bu nedenle PV modül sıcaklıkları yükselmekte ve PV modüllerin verimleri düşmektedir. Verimliliği arttırmak ve daha fazla güç elde etmenin yolu PV modüllerin soğutulmasıdır [1,2]. Termoelektrik (TE) cihazların PV modüller gibi hareketli parçalarının olmaması ve sıcaklıktan elektrik üretebilmesi son yıllarda PV-TE hibrit sistemleri ön plana çıkarmıştır. Bu sistemlerde TE malzemeler sıklıkla PV modül sıcaklığını elektrik enerjisine dönüştürmek için kullanılmaktadır. Şekil 1'de basit bir PV-TE güç üretimi sistemi şekli verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi PV modüllerin arka tarafından alınan sıcaklık TE modüllerin sıcak tarafına aktarılır. TE modüllerin soğuk tarafı ile sıcaklık farklı oluşturulur. Bu sıcaklık farkı sayesinde TE modüllerden elektriksel güç elde edilir. Böylece güneş enerjisinden üretilen güç miktarı artırılarak güneş enerjisi daha verimli kullanılır.



Şekil 1. PV-TE güç üretim sistemi kesiti

Fotovoltaik enerji dönüşüm sistemlerinde enerji performansını etkileyen önemli faktörlerden biri çevresel parametrelerdir. Başlıca etkileyen çevresel parametreler; güneş ışınımı (G), çevre sıcaklığı (T_a) ve rüzgar hızıdır. Belli çevresel şartlarda PV modüllerin verimi aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\eta_{PV} = \eta_{ref}(1 - \gamma(T_{PV} - 25)) \quad (1)$$

Burada η_{ref} ifadesi referans alınan verim değeridir ve standart test koşullarındaki (1000 W/m^2 , $25 \text{ }^\circ\text{C}$) güç değerine göre hesaplanır. γ ifadesi ise PV modülün güç/sıcaklık katsayısıdır. Bu katsayı kristalli PV modüller için %0.45 ve amorf PV modüller için ise %0.25 alınır [3]. T_{PV} ise PV modül sıcaklığını gösterir. Belirli bir güneş ışınımı (G) ve T_{PV} modül sıcaklığında PV modülün üretebileceği güç aşağıda verilmiştir.

$$P_{PV} = GA\eta_{PV} \quad (2)$$

TE modüllerin yüzeyleri arasında bir sıcaklık farkı oluşturulduğunda; Termodinamiğin II. Kanunu gereğince ısı sıcak yüzeyden soğuk yüzeye doğru transfer edilecek ve bu durumda TE jeneratör uçlarında bir DC gerilim düşümü olacaktır. TE jeneratör uçlarına harici bir yük bağlanırsa, yük üzerinden bir I akımı geçişi olur. TE jeneratörden elde edilen P gücü veya I akımı; ΔT sıcaklık farkına, yarıiletken materyallerin özelliklerine ve harici RL yük direncinin değerlerine bağlıdır. Elektrik enerjisi, ısı transferine bağlı olarak TE yarıiletkenler boyunca elektriksel yük taşıyıcıların hareketinden üretilmektedir.

TE jeneratörlerin performans değerlerinin artırılması için TE jeneratörlerin termal direncinin artırılması, TE jeneratör bloğunu oluşturan soğutucu sisteminin ısı giriş-çıkış termal dirençlerinin düşürülmesi ve termoelementler arasındaki kontak elektrik dirençlerinin minimize edilmesi gerekmektedir [4].

TE jeneratörlerden elektrik enerjisi üretimi Seebeck etkiye dayanır. Seebeck etkisi sıcaklık farkının doğrudan elektrik akımına dönüşümü olarak bilinir. TE jeneratörü yüzeyleri arasında ne kadar yüksek sıcaklık farkı olursa o oranda elektrik enerjisi üretimi artar. Bu sıcaklık farkı kullanılan kaynağa göre değişkenlik gösterdiğinden sabit gerilim elde edebilmek amacıyla gerilim düzenlemesine ihtiyaç duyarlar.

Termoelektriklerde en yüksek seviyede verim elde edebilmek için “Z” değerini olabildiğince yüksek tutmak gerekmektedir. Bu da aşağıdaki eşitlikte görüldüğü gibi elektriksel direnci yüksek yani elektriksel iletkenliği (ρ_{TE}) düşük, termal iletkenliği (k_{TE}) düşük, Seebeck katsayısı (α_{TE} - birimi ise V/K) yüksek malzemeler kullanılmasını gerekli kılar;

$$Z = \frac{\alpha_{TE}^2}{k_{TE}\rho_{TE}} \quad (3)$$

Bir TE jeneratörde kullanılan yarıiletken güç ölçümü, kalite faktörü (ZT) olarak da ifade edilir. Bu faktörde denklem 3’te verilen eşitliğin her iki tarafı T sıcaklığı ile çarpılır. TE jeneratörün Carnot verimliliği ise;

$$\eta_{max} = \frac{T_H - T_C}{T_H} \frac{\sqrt{1 + ZT_{AVE}} - 1}{\sqrt{1 + ZT_{AVE}} + \frac{T_C}{T_H}} \quad (4)$$

burada; T_H ; TE jeneratörün sıcak taraf sıcaklığı, T_C ; TE jeneratörün soğuk taraf sıcaklığı ve T_{AVE} ; TE jeneratörün ortalama $(T_H + T_C)/2$ sıcaklığıdır. Tek bir termoelektrik modüle bağlı yük R_L üzerinde üretilen güç P_L ifadesi ise;

$$P_L = \alpha_{TE}^2 \Delta T_{TE}^2 \frac{R_L}{(R_{IN} + R_L)^2} \quad (5)$$

burada, P_L ; TE jeneratörün yük üzerinden elde edilen çıkış gücü, R_L ve R_{IN} ise yük ve iç direncini gösterir. Yük direnci TE jeneratörün iç direncine eşit olduğunda, TE jeneratörün maksimum çıkış gücü ürettiği yük karşılaşma durumu oluşur ve alınacak maksimum güç P_{Lmax} değeri aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$P_{Lmax} = \frac{\alpha_{TE}^2 \Delta T^2}{4R_{IN}} \quad (6)$$

Fotovoltaik ve Termoelektrik modül teknolojilerinin güç ifadeleri yukarıda sunulmuştur. Daha önce bahsedildiği gibi PV modül sıcaklığından doğan atık ısı TE modüller yardımıyla elektrik enerjisine dönüştürülerek güneş enerjisinden $P_{PV} + P_{TE}$ kadar güç üretimi gerçekleştirilir. Bu sayede güneş enerjisinin daha verimli kullanılır.

Bu çalışmada PV-TE hibrit güç üretim sistemleri üzerine yapılan araştırmalar ve elde edilen bulgular sunulmuş ve değerlendirilmiştir. Başlıca ele alınan konuların sınıflandırılması düzlemsel PV-TE sistemler, yoğunlaştırılmış PV-TE sistemler, PV-TE sistemlerde faz değiştiren malzeme (FDM) kullanımı, PV-TE güç üretimi için ekonomik değerlendirmeler, PV-TE güç düzenleme ve görüntüleme birimleri şeklinde sunulmuştur.

II. LİTERATÜR ARAŞTIRMALARI

Bu bölümde PV-TE hibrit güç üretim sistemlerine ait yapılan çalışmalar ve elde edilen bulgulara yer verilmiştir. Bölüm A'da düzlemsel PV-TE güç üretim sistemleri, Bölüm B'de yoğunlaştırılmış PV-TE güç üretim sistemleri, Bölüm C'de PV-TE güç üretim sistemlerinde faz değiştiren malzeme (FDM) kullanımı, Bölüm D'de PV-TE güç üretimi için ekonomik değerlendirmeler ve Bölüm E'de PV-TE güç düzenleme ve görüntüleme birimleri hakkında literatürde yapılan çalışmalar verilmiştir.

A. DÜZLEMSEL PV-TE GÜÇ ÜRETİM SİSTEMLERİ HAKKINDA YAPILAN ÇALIŞMALAR

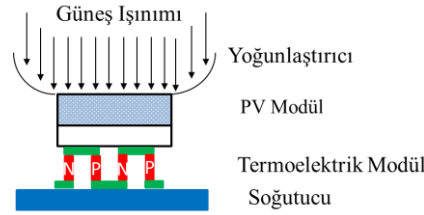
van Sark [5] PV-TE güç üretim sisteminin verimliliğini tahmin etmek için basit bir model türetmiştir. Türetilen bu model ile iki farklı ışınım ve sıcaklık özellikleri olan yerlerde güç, verim ve yıllık enerji üretimi tahmini yapmıştır. Elde edilen sonuçlara göre termoelektrik malzemeler enerji üretimi artışında %14,7 ve verimlilik artışında ise %23 seviyelerine kadar katkı sağladığı görülmüştür. Yeni bir termoelektrik malzemenin geliştirilmesi ile bu değerlerin %50'lere ulaşacağını bildirmiştir. Yang ve Yin [6] PV-su ısıtıcı sistemle PV-TE- su ısıtıcı sistemin verimlilik ve güç analizini gerçekleştirmiştir. Farklı ışınımlarda su akışı olduğu ve olmadığı durumlardaki davranışı incelemiştir. Su akışı olmadığı durumlarda TE çıkış gücü m^2 başına $4 W$ 'ın altında iken şu akışı sağlandığında ışınım değerlerine göre m^2 başına $5 W$ ile $10 W$ arasında değiştiği görülmüştür. Su ısıtıcı sistemin soğutma özelliği sayesinde standart PV sistemde verimin %30-%50 arasında PV-TE sistemin ise %25-%40 arasında iyileştirme gösterdiği söylenmiştir. Deng vd., [7] ince film PV-TE bir sistemde soğurucu, iletim ve yalıtım katmanları yerleştirmiştir. Sonlu elemanlar metodu ve deneysel olarak yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar literatürdeki çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Önerilen PV-TE sistemin diğer çalışmalardan daha üstün olduğu ve güç çıkışında %107,9 artış sağladığı kanıtlanmıştır. Lin vd., [8] tarafından gerçekleştirilen PV-TE sistem ile ilgili sayısal analiz çalışmasına göre termoelektrik malzemelerin ısıl iletkenliğinin düşük ve Seebeck katsayısının yüksek olması gerektiği vurgulanmıştır. Dong vd., [9] PV-TE sistemdeki ısı iletimi olayında ayrıştırılmış düğüm sıcaklıkları arasında zamana bağımlı bağlantı gerçekleştirmiş ve günlük sıcaklık değişimini tahmin etmiştir. Elde edilen bulgulara göre Seebeck katsayısının ve termal iletkenliğinin yükselmesi durumunda termal verimdeki artışın bir miktar fazla olacağı görülmüştür. Bjørk ve Nielsen [10] tarafından yapılan bir çalışmada üç farklı PV modül teknolojilerine (p:Si, a:Si, CIGS ve CdTe) entegre edilen TE modüllerin güç ve verimlilik analizleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar amorf PV (a:Si) modüllerde verim artışı diğerlerine göre biraz daha az olduğunu göstermiştir. Lorenzi vd., [11] tarafından incelenmiştir. PV yüzeyine gelen güneş ışınımının $1000 W/m^2$ değeri için maksimum termal güç aralığının PV malzeme seçimine bağlı olduğu ve $380 W/m^2$ 'den (tek kristalli) $130 W/m^2$ 'ye (amorf) kadar mümkün olduğu bildirilmiştir. Kossyvakis vd., [12] deneysel olarak çok kristalli ve boya duyarlı PV hücreleri ile TE jeneratörlerin tek bir hibrit sistemde çalışma performansını incelemiştir. Çok kristalli sistemde iyileşmenin %22,5 değerlerinde görülürken; boya duyarlı sistemde %30,2 değerlerinde olduğu gözlemlenmiştir. Attivissimo vd., [13] Avrupa'nın 6 farklı şehri (Pachino, Taranto, Roma, Turin, Glasgow, Stockholm) için PV-TE sistemin aylık fizibilite çalışmasını sunmuştur. Sıcak ülkelerde sistem enerji performansının daha iyi gözlemlendiği ve enlem değerinin TE performansını etkilediği bildirilmiştir. Rezania vd. [14] PV-TE hibrit sistemlerin performansını incelemek ve doğal taşınım, zorlamalı taşınım ve ışınım etkisini tahmini için termal model tasarlamıştır. Üç farklı Avrupa ülkesi için PV-TE sistemin performansı değerlendirilmiştir. Sonuçlar göstermiştir ki termoelektrik modüllerin etkisi çok küçüktür. Termoelektriğin katkısının ancak malzeme özellikleri geliştirildiğinde ve optimize edildiğinde artacağı bildirilmiştir. Hashim vd., [15] su soğutmalı PV-TE güç üretim sisteminin geometrik optimizasyonunu

gerçekleştirmiştir. Yapılan çalışmada TE modülün uzunluğuna göre çıkış gücü tahmin edilmiştir. Termoelektrik modül uzunluğu optimum 2 mm için güç verimliliğinin %10'dan %10,2'ye yükseldiği sonucuna ulaşılmıştır. Kwan ve Wu [16] PV modül arkasına tek ve iki düzeyli TE jeneratörün optimizasyonu ve karşılaştırılması için geliştirilmiş termodinamik model geliştirmiştir. Geliştirilen model ile 3 farklı TE malzemeli PV-TE sistemin çok amaçlı optimizasyon çalışması sunulmuştur. Termoelektrik malzemede 270 K ile 320 K sıcaklık aralığında Bi_2Te_3 malzemesinin daha uygun olduğu gözlenmiştir. Optimal performans açısından bakıldığında ise tek düzeyli TE jeneratörün çift düzeyliden daha faydalı bildirilmiştir. Zhu vd., [17] PV-TE sistemde TE modülün soğuk tarafında optimize edilmiş termal yönetim çalışması gerçekleştirmiştir. Deneysel ve teorik çalışmada önerilen sistemde büyük sıcaklık farkının elde edilmesi sayesinde PV-TE verimi %23 değerlerine ulaşmıştır. Tek bir PV modüle göre önerilen sistem %25 daha verimlidir. Cotfas vd., [18] tek ve çok kristalli PV-TE hibrit güç üretim sistemlerinin çevresel şartlardaki ve su akışı durumundaki karakteristiğini incelemiştir. Tek kristalli hibrit sistemin en iyi performansı gösterdiği bildirilmiştir. Su akışının sıcaklığı azaltması sayesinde PV gücünün %11'den daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Soltani vd., [19] standart bir PV-TE sistemde TE modüllerin soğuk tarafının soğutulmasında nanoakışkanların etkisini incelemiştir. Deneysel çalışmada sistemin doğal taşınım, zorlamalı taşınım, su soğutmalı Fe_3O_4 -su nanoakışkan ve SiO_2 -su nanoakışkan kullanarak performans karşılaştırması yapmıştır. Doğal taşınımı temel alarak sistem karşılaştırılması yapıldığında en iyi performans SiO_2 -su nanoakışkanı tarafından %8,26 daha fazla güç üretimi ve %3,335 verim artışı sağlanmıştır. Marandi vd., [20] oyuk tipi alıcılı PV-TE güç üretim sistemi tasarlamıştır. PV modüller oyuğun iç kısmına ve TE modüllerin soğuk tarafı dış kısmına gelecek şekilde tasarlanan sistemin deneysel olarak incelenmiştir. Önerilen sistemin tepe veriminin sabah saatlerinde yaklaşık %22'ye ulaştığı ve geleneksel PV sisteme göre yaklaşık %19 daha verimli olduğu görülmüştür. Li vd., [21] mikro kanallı ısı borulu PV-TE sistemin deneysel çalışmasını gerçekleştirmiştir ve standart bir PV modül ile karşılaştırmıştır. Standart bir PV modülün yaz aylarındaki verimliliği %13,6 iken önerilen sistemin %14 olduğu görülmüştür. Bu az miktardaki artışın mikro kanallı ısı borusunun termal direncinden kaynaklandığı söylenmiştir. Ayrıca önerilen sistem için güç ve verimlilik artışı olsa dahi termoelektrik modüllerin maliyeti fazla olduğu için sistemin yüksek maliyetli olduğu da vurgulanmıştır. Mikro kanallı ısı borulu PV-TE sistemle ilgili yapılan başka bir deneysel çalışmada sistemin enerji ve ekserji analizi gerçekleştirilmiştir [22]. Isı borusunun arka kısmının yalıtım etkisi dikkate alınmıştır. Termal verimliliğin %56,57 ile %69,53 arasında değiştiği görülmüştür. Yalıtımın ise sıcaklık artırıcı etkisinden dolayı termal verimliliği arttırsa bile elektriksel verimliliği ve güç değerini azalttığı görülmüştür. Huen ve Daoud [23] hibrit PV-TE güç üretiminde PV ve TE malzemelerinin durumuna dair bir derleme çalışması sunmuştur. Gelecek nesil PV-TE sistemlerin esnek olabilmesi için kaplama teknolojileri kadar esnek PV ve TE malzemelerin geliştirilmesinin önemini bildirmiştir. Ayrıca yüksek yoğunlaştırma oranına sahip çok eklemli PV ile Bi_2Te_3 TE modüllerde en yüksek dönüşüm verimliliğinin %32,09'a ulaştığı bildirilmiştir. Cui vd., [24] parçalı (segmented) termoelektrikli PV-TE sistemin performans değerlendirmesini ve ömür tahminini analiz etmiştir. Yapılan analiz için sayısal model geliştirilmiştir. Tek katmanlı bizmut-tellürit (Bi_2Te_3) ve kurşun-tellürit (PbTe) malzemeli TE modül için elde edilen sonuçlar ile bu iki malzemedен türetilen parçalı TE sistemin performansını karşılaştırmıştır. Farklı yoğunlaştırma miktarlarına göre elde edilen sonuçlar tartışılmıştır. Sonuçlar göstermiştir ki parçalı TE sistemin standart TE sistemlerden daha fazla miktarda güç çıkışı sağlamaktadır. Pasif ve aktif soğutmalı bir PV-TE sistemin enerji performansı üç farklı ülke için yapılan bir çalışmada [25] pasif soğutmanın performans kaybını aykırı oranda dengelerken aktif soğutmanın önemli ölçüde dengelediği gözlemlenmiştir. Radyatif soğutmalı bir PV-TE sistemin karanlık koşullardaki davranışı Zhao [26] tarafından gerçekleştirilmiştir. Gece süresi boyunca ortalama çıkış geriliminin 9 mV ölçüldüğü ve karanlıktan elektrik enerjisinin üretilebildiği kanıtlanmıştır. Khan vd., [27] 10 W gücündeki p-Si PV modüldeki sıcaklığın TE modüller yardımıyla soğutarak deneysel performans analizi yapmıştır. PV modül sıcaklığının 55 °C'den 52 °C'ye düştüğü; gücün 8,78 W'tan 10,84 W'a yükseldiği gözlemlenmiştir. Ayrıca hibrit sistemin verimliliğinin %11,6'dan %14 değerine çıktığı ve sadece bir PV modüle göre %17'lik verim artışı sağladığı vurgulanmıştır. Kidegho vd., [28] PV-TE sistemde sıcaklık uyumsuzluk durumlarında farklı termal arayüz malzemelerinin sistem performansına etkisini incelemiştir. Yüksek sıcaklıklardaki PV hücrenin soğutulmasında ısı yayıcı malzemelerin hava soğutmada %19,7 ve su soğutmada % 24,85 ek güç sağladığı sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca mevcut diğer termal arayüz malzemelerini incelemede fırsat verilmiştir ve toplam kazancın su soğutmalı için %27,5 değerine ulaştığı görülmüştür. Ruzaimi vd., [29] bir sera sisteminde PV

modüllerde sıcaklık dağılımının homojen olmadığı durumdaki PV-TE sistemin performansını değerlendirmiştir. Sıcaklık farklılığının oluşmasının sistemdeki ortalama güç düşüşünü %33 etkilediği görülmüştür. Demircan [30] PV ve PV-TE sistemin homojen ve homojen olmayan koşullarda karşılaştırmasını yapmıştır. Homojen olmayan durumda 916 W/m^2 'de standart PV sistem $20,29 \text{ W}$ güç üretirken PV-TE sistemde PV modüller $19,92 \text{ W}$ ve TE modüller $1,24 \text{ W}$ güç üreterek toplam %4,28 güç artışı sağlayarak $21,16 \text{ W}$ güç üretimi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre standart PV sistemde modüllerdeki farklılık yaklaşık $5 \text{ }^\circ\text{C}$ iken PV-TE sistemde bu fark $2 \text{ }^\circ\text{C}$ 'den azdır.

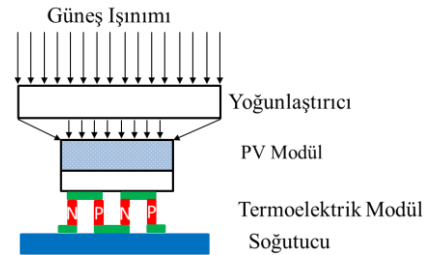
B. YOĞUNLAŞTIRILMIŞ PV-TE GÜÇ ÜRETİM SİSTEMLERİ HAKKINDA YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bir önceki bölümde düzlemsel PV-TE güç üretim sistemlerine ait yapılan çalışmalar ve elde edilen bulgular sunulmuştur. PV ve TE modüllerin verimlerinin düşük olması güç üretimini de düşük düzeyde tutmaktadır. Güç üretimini arttırmanın yollarından biri modül yüzeylerine gelen güneş ışınım miktarlarını arttırmaktır. Bu sayede güç üretimi ve modül sıcaklıkları artar. Bu sistemler yoğunlaştırılmış PV sistemler olarak bilinir. Yoğunlaştırılmış PV (CPV) sistemler yoğunlaştırma oranı miktarına göre düşük yoğunlaştırmalı ve yüksek yoğunlaştırmalı sistemler olarak sınıflandırılabilir. Düşük yoğunlaştırmalı sistemlere ait CPV-TE sistem örneği Şekil 2'de gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi PV modüllerin etrafına aynalar ya da yansıtıcılar eklenerek toplam alana gelen güneş ışınımı PV modül alanına yansıtılır. Böylece PV modüllerin üzerine gelen güneş ışınımı arttırılarak daha fazla enerji sağlanır. PV modüllerdeki sıcaklık artışı ile birlikte TE modüllerden de elde edilen güç bir miktar artmaktadır. Bu sayede CPV-TE sistem düzlemsel PV-TE sistemlere göre güneş enerjisini daha etkin kullanır.



Şekil 2. Düşük yoğunlaştırmalı CPV-TE sistem

Yüksek yoğunlaştırılmış PV sistemlere ait gösteri ise Şekil 3'te sunulmuştur. Bu sistemlerde özellikle güneş gözesinin alanı düşük, yoğunlaştırıcı yüzeyin alanı yüksek tutulmaya çalışılır. Bu sayede yoğunlaştırıcı yüzey alanının PV yüzey alanına oranı kadar güneş enerjisi yoğunlaştırılır. PV yüzey alanına gelen toplam ışınımın artması ile daha fazla güç üretebilmek için enerji verimi yüksek PV hücrelerin kullanılması ile sağlanabilmektedir. Bunun için özellikle üç eklemlili güneş gözelerinin kullanılması popüler olmuştur. Bu bölümde CPV-TE sistemlere yapılan çalışmalar ve elde edilen bulgular sunulmuştur. CPV-TE sistemlere ait performans değerlendirmeleri, optimum çalışma koşulları, TE modüllerin katkısı hakkında bilgiler verilmiştir.



Şekil 3. Yüksek yoğunlaştırmalı CPV-TE sistem

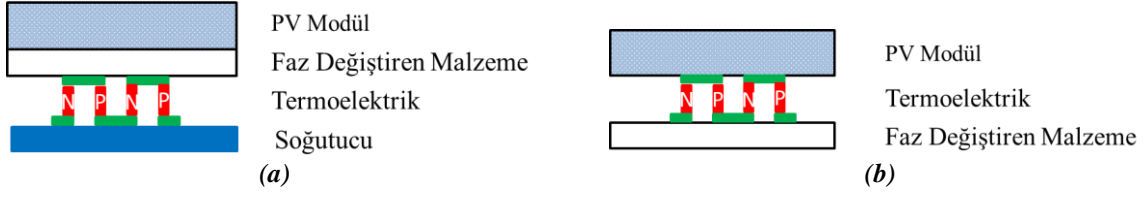
Vorobiev vd., [31] yüksek sıcaklıklarda yoğunlaştırılmış PV sistemde TE kullanımını, bant aralığının analizini ve ZT değeri 1, 2 ve 4 değerine ait TE kullanımındaki sistem verimlerini incelemiştir. Uygun bant aralığında CPV-TE sistemin toplam verimliliğinin %30 değerlerinde olduğu ve TE modüllerin yaklaşık %5 ile %10 arasında verim artışı sağladığı görülmüştür. Liao vd., [32] düşük yoğunlaştırılmalı CPV-TE sistemin elektriksel parametrelerin performans karakteristiğini incelemiştir. Elde edilen bulgular göstermiştir ki; hibrit sistemin genel performansında bazı önemli parametrelerin (yoğunlaştırma oranı, ZT değeri vb.) optimum kriterinin değerlendirilmesi gerekmektedir ve optimal tasarım için faydalı olacaktır. Beerli vd., [33] ticari çok eklemli PV modül ile TE jeneratörün yaklaşık olarak 300 değerinde yüksek yoğunlaştırma oranına kadar deneysel ve teorik çalışmasını gerçekleştirmiştir. Hibrit sistemin verimliliğinin yaklaşık %32'ye ulaştığı ve TE modülün 300 yoğunlaştırma oranı için %20 katkı sağladığı görülmüştür. Ayrıca sonlu elemanlar analizine göre TE jeneratörün Peltier ile soğutulması durumunda ve yoğunlaştırma oranının 200 olduğu seviyelerde bu katkının %40'a ulaşacağı gözlemlenmiştir. Lamba ve Kaushik [34] CPV-TE sistem için analitik model geliştirmiştir. PV modülde ısı transfer olayları ve TE modül kısmında Thomson, Seebeck, Joule ve Fourier etkileri dikkate alınmıştır. Elde edilen bulgular göstermiştir ki hibrit sistem tek bir PV modülden daha fazla güç üretmektedir. Yüksek yoğunlaştırma oranlarında ise Thomson etkisi daha baskındır. Zhang ve Yuan [35] yüksek yoğunlaştırma oranlı CPV-TE sistemde çok katmanlı termal direnç modeli kullanarak termal direncin etkisini incelemiştir. Termal direnci azaltmanın önemli bir kriter olduğu vurgulanırken; bakır levha kullanmanın termal direnci azaltması sayesinde hibrit güç üretiminin 25,7 W'tan 26,6 W'a yükseldiği görülmüştür. Diğer bir çalışmada Yin vd., [36] CPV-TE sistemde termal direnç analiz ve optimizasyon çalışmasını sunmuştur. Yoğunlaştırma oranının dört farklı PV modüldeki (a:Si, p:Si, c:Si ve polimer) verime etkisi, doğal soğutma, fan soğutma ve su soğutma durumlarında verim ve sıcaklık değişimleri incelenmiştir. Düşük sıcaklık katsayılı ve yaklaşık %18 verimlilik ile pervoksit güneş hücresine sahip CPV-TE sistemin değerlendirilmesi Zhang et al., [37] tarafından sunulmuştur. Tek bir PV hücresinin verimliliği %17,6 iken önerilen hibrit sistemin %18,6 olduğu gözlemlenmiştir. Yoğunlaştırma oranı arttıkça hibrit sistemin verimliliğinin %16 değerlerinin altına düştüğü bildirilmiştir. Contento vd., [38] a:Si ve Cu_2ZnSnS_4 (CZTS) güneş hücrelerinde TE modülün sıcak tarafında optik yoğunlaştırılmalı sistem kullanarak verimliliği arttırmaya yönelik bir çalışma sunmuştur. Önerilen teknik sayesinde verimlilik artışının a:Si ve CZTS hücreler için sırasıyla %57 ve %35 değerlerinde olduğu gözlemlenmiştir. Willars-Rodríguez vd., [39] Si ve CdTe güneş hücreli Fresnel yoğunlaştırılmalı CPV-TE sistem için deneysel çalışma gerçekleştirmiştir. TE jeneratörlerin verimliliği kış mevsiminde %2,5 iken yaz mevsiminde %3,5 değerindedir. Hibrit sistemin elektriksel verimliliği %20 ve termal verimliliğinin ise %40 değerlerindedir. Li vd., [40] CPV-TE sistem için bir boyutlu model önermiştir. Önerilen model ile dört farklı PV modül (c:Si, p:Si, CIGS ve polimer) göz önünde bulundurularak hibrit sistemin enerji ekserji analizi gerçekleştirilmiştir. Ekserji kayıplarının c:Si modüllü CPV-TE sistemde daha fazla görülürken; CIGS PV modüllü hibrit sistemin ekserji kaybının daha az olduğu, %21 değerlerinde elektriksel verimlilik sağladığı ve polimer CPV-TE sistemin %6,6 daha fazla sağladığı bildirilmiştir. Li vd., [41] verimli CPV-TE sistem için birincil sınır şartlarının analizini gerçekleştirmiştir. Daha geniş bir kesit alanı ile genel verimlilik daha yüksektir ve yoğunlaştırma oranı veya soğuk taraf sıcaklığı sabit olduğunda TE'nin yüksekliği daha düşüktür. Gerçek uygulamada ise yüksek maliyetlerden dolayı kesit alanının düşük tutulduğu da bildirilmiştir. Zhou vd., [42] CPV-TE sistemin nanoyapılı ön yüzeyin ışınım soğurmasını incelemek için Monte Carlo ve Zaman Alanlı Sonlu Fark metodlarını birleştirmiştir. Hibrit sistem için önerilen yaklaşım sayesinde soğurulan güneş ışınımının homojen dağılımlarında iyileştirme sağladığı ve ayrıca düzlemsel yüzeye göre 1,6 kat daha fazla ışınım soğurarak yaklaşık $7645 W/m^2$ 'ye ulaştığı görülmüştür. GaAs modül tabanlı CPV sistemde geleneksel bir TE modülün kullanımının ve yoğunlaştırma oranının etkisi üzerine yapılan bir çalışmada optimum verim için yoğunlaştırma miktarının önemli olduğu ve hibrit sistemin %3 daha fazla miktarda verim artışı sağladığı görülmüştür [43]. Soltani vd., [44] parabolik oluklu PV-TE sistemin performansını deneysel ve sayısal olarak incelemiştir. Elde edilen bulgular göstermiştir ki deneysel verilerle sayısal olarak elde edilen sonuçlar örtüşmüştür. PV modülden üretilen gücün 20 W değerinden fazla iken TE modülden yaklaşık 2,3 W olduğu gözlemlenmiştir. Ancak PV verimliliğinin %4 ile %8 arasında olduğu, PV modüllerin çok düşük verimlilikte çalıştığı gözlemlenmiştir. Geleneksel CPV-TE sistemlerin aksine Hajji vd. [45] PV modül arkasına optik yoğunlaştırıcı kullanarak TE jeneratörlerin sıcak tarafına gelen sıcaklığı arttırmaya yönelik bir çalışma sunmuştur. PV ile TE modüller arasında doğrudan bağlantı olmayan optik yoğunlaştırılmalı sistemin matematiksel modellemesini

gerçekleştirmiştir. Farklı çalışma koşullarında PV ve TE modüllerin verimlilikleri değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar göstermiştir ki önerilen teknik genel verimliliği önemli derecede iyileştirmektedir. Mahmoudinezhad vd., [46] CPV-TE hibrit güç üretim sisteminin her katmanına ilişkin enerji denge denklemlerini göz önünde bulundurarak zamana bağlı geçici durum analizini yapmıştır. Geliştirilen metot ile güneş ışınımı değişimi durumlarında hibrit sistemin geçici cevabı değerlendirilmiştir. Güneş ışınımının artışı; sıcaklık artışından dolayı PV güç üretimini azaltmakta iken TE modüllerde sıcaklık farkının artmasından dolayı TE güç üretimini arttırmakta olduğu görülmüştür. De-la-Vega vd., [47] CPV-TE hibrit güç üretiminde kesirli türeve dayalı performans analizi yapmıştır. Riemann-Liouville kesirli türeve dayalı sunulan performans analizinde; sistem sıcaklıkları ve verimlerin tahminindeki hataların az olması önerilen sayısal metodun doğrulunu kanıtlamıştır. Yin vd., [48] yoğunlaştırılmış, su soğutmalı PV-TE sistemin bir günlük performans tahmini için bir boyutlu termal model türetmiştir. Optimum yoğunlaştırma oranının yaklaşık 12 olduğu durumda ortalama verimliliğin %16,65 olduğu sonucuna varılmıştır. Su hızı ve debisinin de verimlilikte pozitif etkisi olduğu görülmüştür. Yin vd., [49] Fresnel yoğunlaştırılmalı CPV-TE güç üretim sisteminin yüksek verimlilikte çalışması için optimum tasarım çalışması sunmuştur. Optimum tasarımda modül sıcaklık katsayısı, termal direnç, PV hücre sıcaklığı ve verimliliği göz önünde bulundurulmuştur. Elde edilen bulgulara göre PV hücre sıcaklık katsayıları veya referans verimliliği yüksek olması durumunda daha verimli TE jeneratör kullanılması gerektiği; TE termal direnci ayarlanmanın hibrit sistemin çalışmasını optimum sıcaklık dağılımında tuttuğu söylenmiştir. Yin vd., [50] yoğunlaştırılmış, su soğutmalı PV-TE sistemin deneysel optimizasyon çalışmasını gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada akım, gerilim, güç, yük direnci ve bağlantı durumlarına göre değerlendirmeler yapılmıştır. Maksimum güç noktasında PV gerilimi 0,61 V iken PV gücünün 1,19 W, TE gücünün ise 0,33 W olduğu gözlemlenmiştir. CPV-TE sistemin seri bağlantıda bir miktar daha fazla güç ürettiği görülmüştür. Rodrigo vd., [51] kanatçıklı, pasif soğutmalı CPV-TE sistemde CPV modül sıcaklığının ve TE modülün ZT değerinin düşük ve yüksek olduğu dört farklı duruma göre CPV-TE sistemin yıllık enerji analizini gerçekleştirmiştir. Maksimum artışın sağlandığı yüksek sıcaklık ve yüksek ZT değerine sahip CPV-TE sistemin standart çalışma şartlarında küresel verimlilikte %4,75 ve yıllık ortalama olarak ise %4,30 artış sağlayabildiği gözlemlenmiştir. Fresnel lensli, nano yapıları TE malzemeli bir CPV-TE sistemin çok amaçlı optimizasyon çalışmasında dört farklı modele göre sistem çıkış gücü ve verimliliği incelenmiştir [52]. CPV modülün maksimum güç noktasında çalışma durumuna göre seçilen modellerde maksimum güç üretim değeri 461,12 W iken; maksimum verimin %11,45 değerinde olduğu görülmüştür. PV-TE sistemlere ait yapılan bir derleme çalışmasında yoğunlaştırma oranının artmasının TE modül verimliliğini arttırsa bile bunun verimli soğutucu ile mümkün olduğu bildirilmiştir [53].

C. PV-TE GÜÇ ÜRETİM SİSTEMLERİNDE FAZ DEĞİŞTİREN MALZEME KULLANIMI HAKKINDA YAPILAN ÇALIŞMALAR

Son zamanlarda PV ve TE modüllerin faz değiştiren malzemelerle (FDM) pasif soğutulmasına ilişkin çalışmalar yapılmıştır. FDM'in yenilenebilir enerji kaynakları (PV, TE, ısı değiştiricisi, güneş kolektörleri, ısı pompaları) sistemlerinde kullanımına ilişkin Skovajsa vd., [54] tarafından yapılan çalışmada termal konforu arttırdığı söylenmiştir. Jaworski vd., [55] FDM'nin TE modüllerde hem sıcak taraf hem de soğuk tarafında kullanılmasına yönelik deneysel bir çalışma gerçekleştirmiştir. Bu iki yüzeyde etkin bir şekilde kullanılabileceğini kanıtlamıştır. Hacim değişimlerine karşı en büyük duyarlılığın TE modüllerin soğuk taraf ile FDM'nin teması sayesinde iyileştirileceği bildirilmiştir.

PV-TE sistemlerde FDM kullanımı iki farklı şekilde uygulanmaktadır. Bunlardan biri Şekil 4a'da gösterilen PV ile TE modüllerin arasına entegre etmektir. Bu sayede PV modüllerin sıcaklığı bir miktar düştüğü gibi TE modüllerin sıcak tarafındaki sıcaklık dalgalanmalarını ortadan kaldırmaktadır. Bir diğeri ise TE modüllerin soğuk tarafının FDM'ler ile soğutulmasıdır. Şekil 4b'de PV-TE-FDM sistem kesiti verilmiştir. Burada ise TE modüller FDM tarafından pasif olarak soğutulur. Bu bölümde PV-TE sistemlerde FDM'lerin kullanımına ilişkin yapılan çalışmalar ve elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

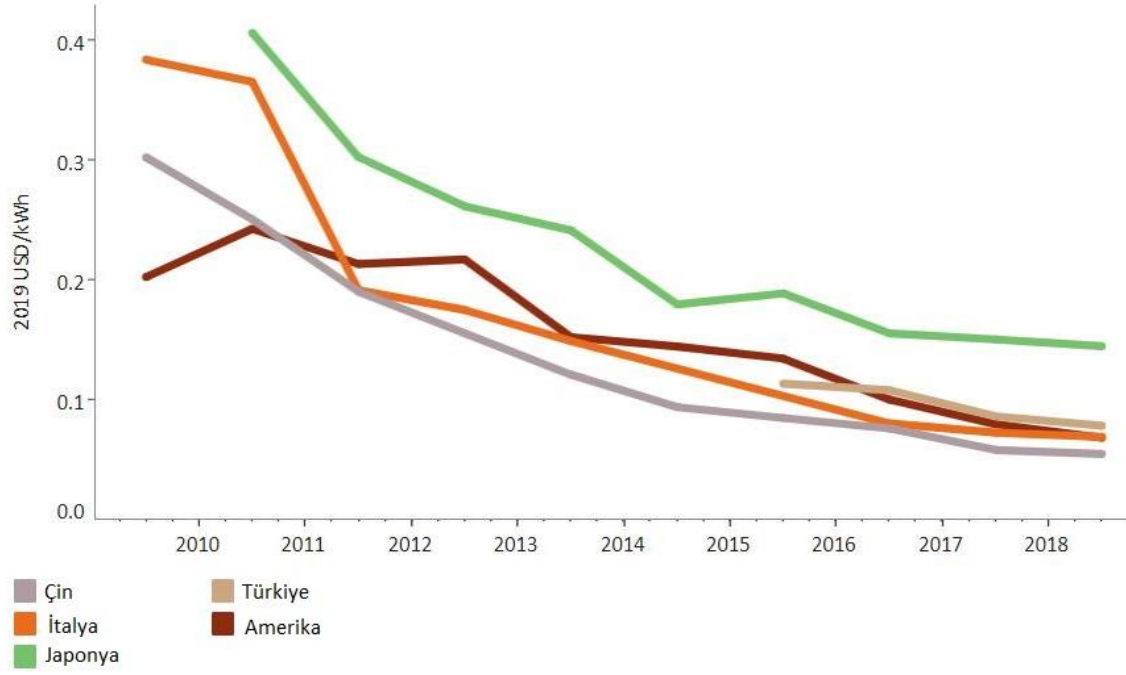


Şekil 4. (a) PV-FDM-TE güç üretim sistemi (b) PV-TE-FDM güç üretim sistemi

Cui vd., [56] yoğunlaştırılmış PV sistemin arkasına FDM modül ve FDM modülün arkasına TE modül yerleştirmiştir. Böylece PV-TE sistemlerdeki sıcaklık dalgalanmaları FDM modüller sayesinde azaltılmıştır. Yapılan teorik analize göre PV-PCM-TE sistemin klasik PV ve PV-TE sistemlerden daha üstün olduğu vurgulanmıştır. Diğer bir çalışmada [57] ise Fresnel lensli yoğunlaştırılmış tek eklemli GaAs PV hücre ile Bi₂Te₃ TE modül arasında FDM'nin entegrasyonu üzerine deneysel olarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre önerilen sistemin güneş enerjisinin verimli kullanımını arttırdığını göstermiştir. Zhang ve Xuan [58] geleneksel PV-TE sistemde güneş ışınımı değişiminden kaynaklı sıcaklık dalgalanmalarını azaltmak için PV ile TE modüllerin arasında FDM kullanılmasını önermiştir. Deneysel ve nümerik sonuçlara göre; FDM erime sıcaklığının PV modül sıcaklığına yakın olduğunda önerilen sistem daha fazla güç üretmektedir. Yin vd., [59] PV-FDM-TE hibrit sistemin deneysel incelemesini gerçekleştirmiştir. Önerilen sistemde PV hücre sıcaklığı 50 °C'ye ulaşırken CPV-TE sistemde yaklaşık olarak 80 °C'ye ulaştığı görülmüştür. Ortalama olarak çıkış gücünün ise CPV-TE sisteme göre %23,52 artış sağladığı tespit edilmiştir. Motiei vd., [60] PV-TE sistemde termoelektrik modülün soğuk tarafına yerleştirilen FDM'nin soğutucu etkisini incelemek için geçici durum simülasyonu yapmıştır. Simülasyonda yapılan günlük analizlere göre; optimal değerde FDM kullanıldığında PV-TE sistem performansını önemli derecede iyileştirdiği görülmüştür. Bayrak vd., [61] kanatçıklı PV sistem ile birlikte 6, 8 ve 12 TE modüllü, kanatçıklı PV-TE sistem ve FDM soğutmalı PV ve hibrit PV-TE-PCM sistemin deneysel uygulamasını ve enerji, ekserji ve maliyet analizlerini yapmıştır. Deneysel sonuçlara göre kanatçıklı PV sistemin ürettiği güç 47,88 W'ı ile 12'li PV-TE sistemin gücü 45,87 W'tır. Enerji ve ekserji verimliliğinde ise yine kanatçıklı PV sistemin daha verimli olduğu gözlemlenmiştir. Naderi vd., [62] yansıtıcı PV-FDM-TE hibrit güç üretim sisteminin enerji performansını incelemiştir. Önerilen sistemde PV modül sıcaklığının 74,43 °C'den 53,72 °C'ye düşmesi sayesinde güç üretiminde %100 ve güneş hücre veriminde %1,38 artış görülmüştür. Ko ve Young [63] FDM'li binaya entegre PV-TE sistemin yıllık performansını değerlendirmiştir. Elde edilen bulgulara göre önerilen BIPV-TE sistem standart BIPV sisteme göre %1,09 (PV ve TE sırasıyla 0,91% ve 0,18%) daha fazla güç üretmektedir. Ayrıca ideal tasarım koşullarında önerilen sistemin referans sisteme göre %4,47 daha fazla enerji üretebileceği bildirilmiştir. PV, PV-TE ve PV-FDM-TE sistemlerin karşılaştırılması Zhang vd., [64] tarafından incelenmiştir. Önerilen PV-FDM-TE sistemde faz değiştiren malzemenin erime sıcaklığı göz önünde bulundurularak PV bant aralığının etkisi analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre optimum PV bant aralığı 1,15 eV iken verimliliğin daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

D. PV-TE GÜÇ ÜRETİMİ İÇİN EKONOMİK DEĞERLENDİRMELER HAKKINDA YAPILAN ÇALIŞMALAR

Dünyada ve Türkiye'de yıllık olarak PV maliyetleri değişimi Şekil 5'te verilmiştir [65]. Şekilde görüldüğü gibi hem ülkemizde son yıllarda hem de dünyada kWh başına PV maliyetleri 0,1 USD'nin altına düşmüştür. Her geçen yıl PV maliyetlerinin düşüşü diğer enerji kaynaklarıyla daha rekabetçi olmaktadır. Bu sayede PV güç santrallerinin ve binalara entegresinin kurulumunun yaygınlaşması ile güneş enerjisinin enerji tüketimini karşılamadaki payı bir miktar artmakta ve CO₂ emisyonları azaltılabilmektedir. Bu bölümde daha önceki verilen çalışmalarda PV-TE sistemlerinin ekonomik analizlerine ait yapılan değerlendirmeler ve literatürde yapılan diğer çalışmalara yer verilmiştir.



Şekil 5. Ülkelere göre PV maliyetlerinin yıllık değişimi [65]

Deng vd., [7] soğurucu alan ve TE verimliliklerine göre güç üretim maliyeti analizini gerçekleştirmiştir. PV modül fiyatı 4 USD/Wp iken %5 verimli TE modülün 0,3 m² ve üstündeki soğurucu alanlar için önerilen sistemin ekonomik olarak daha düşük ve kabul edilebilir olduğu sonucuna varılmıştır. Rezania vd., [14] üç farklı Avrupa ülkesi için PV-TE sistem performansı karşılaştırması yaptığı çalışmada sistem yatırım maliyetini de sunmuştur. PV modül maliyetinin kurulu güç (Wp) başına 0,72 USD olarak belirtilirken 40x40 mm'lik boyutlardaki TE jeneratörlerin maliyeti 5 USD olarak göz önünde bulundurulmuş ve sonuç olarak PV-TE sistemlerin ekonomik olarak çok pahalıya mal olacağı bildirilmiştir. Zhu vd., [17] termal yönetimli PV-TE sistemde PV modül alanı, soğurucu yüzey alanına göre ve farklı TE verimliliklerine göre enerji ve maliyet analiz çalışmasını yapmıştır. Önerilen PV-TE hibrit sistemin maliyetinin ısı soğurucu yüzeyin büyüklüğünün artırılarak azalacağı ve geleneksel PV sistemle daha rekabetçi olacağı söylenmiştir. Marandi vd., [20] tasarlanan oyuk tipi alıcılı PV-TE güç üretim sisteminin enerji-maliyet analizini sunmuştur. Önerilen sistemin geleneksel PV-TE sistemden %67 daha fazla olduğu ve maliyetinin 9,432 USD/kWh değerine ulaştığı bildirilmiştir. Willars-Rodríguez vd., [39] Fresnel yoğunlaştırımlı CPV-TE sistemin ekonomik değerlendirmesini sunmuştur. CPV-TE sistemin birim maliyetinin 5,259 USD/W değerinde ve geleneksel PV sistemden 1,7 kat daha fazla olduğu belirtilmiştir. Rezania ve Rosendahl [67] CPV ve CPV-TE sistem için fizibilite ve parametrik analiz çalışması yapmıştır. ZT değeri 1 dolaylarında olan günümüzdeki TE malzemeli CPV-TE hibrit sistemin geleneksel CPV sistemden daha verimli olduğu, yoğunlaştırma oranının artmasıyla enerji maliyetinin azaldığı ve geleneksel sistemden bir miktar düşük olduğu sonucuna varılmıştır. Montero vd., [68] düzlemsel PV-TE sistemin Şili iklim ve enerji marketini dikkate alarak ekonomik fizibilitesini gerçekleştirmiştir. Hibrit sistemde %20 verimlilikte PV modül göz önünde bulundurarak 25-100 °C PV modül sıcaklığındaki TE modül ve hibrit sistemin enerji performansları değerlendirilmiş ve ömür maliyet analizleri yapılmıştır. Elde edilen bulgulara göre Şili için TE modüllerin verimlilikleri ve var olan market fiyatlarından dolayı geleneksel PV sistemlerle ekonomik olarak rekabetçi olamadığı ve maliyetinin 0,071 USD/kWh olduğu bildirilmiştir. Narducci ve Lorenzi [69] PV-TE hibrit sistemlerin ekonomik elverişliliğine dair bir çalışma sunmuştur. Hibrit sistemin güneş enerjisinin dönüşümünü arttırmasına rağmen, güç maliyetlerin günümüzdeki teknolojide her zaman haklı çıkarmayacağı vurgulanmıştır. Bu çalışmalardan farklı olarak PV-TE sistemlerde ekonomik analizlerle birlikte termodinamik kanunları da göz önünde bulundurularak sistem değerlendirmeleri yapılabilmektedir. Ismaila vd., [70] genel performans indeksi kullanarak su soğutmalı CPV-TE sistemin termo-ekonomik analizini değerlendirmiştir. Sistem modelleme ve değerlendirme için bir boyutlu ısı transfer modeli kullanılmıştır. Ekonomik durum çalışması için maksimum genel performans indeksinin %94,7 olması

ile optimize edilmiş hibrit sistemin seviyelendirilmiş elektrik enerjisi maliyet değeri 0,0392 USD/kWh bulunmuştur. Performans durum çalışması için ise genel performans indeksinin değeri %93,8 iken seviyelendirilmiş elektrik enerjisi maliyet değeri 0,0396 USD/kWh olmuştur. Her iki durumda hibrit sistemin enerji verimliliği ise %40'ın üzerindedir. Ismaila vd., [71] çok eklemli güneş hücreli CPV-TEG güç üretim sisteminin eksergo–ekonomik optimizasyon çalışmasını gerçekleştirmiştir. Elde edilen bulgulara göre hibrit sistemin maksimum ekserji verimliliğinin %43,48 değerinde olduğu bildirilmiştir. Elektrik enerjisi birim maliyetinin ise tek bir CPV sistemde 0,57 USD/kWh iken CPV-TEG sistemde 0,53 USD/kWh olacağı sonucuna ulaşılmıştır.

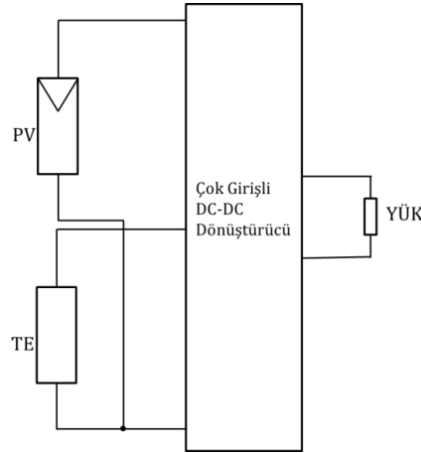
E. PV-TE GÜÇ DÜZENLEME VE GÖRÜNTÜLEME BİRİMLERİ HAKKINDA YAPILAN ÇALIŞMALAR

Güneş enerjisinden PV ile elektrik üretiminde güneş enerjisini etkin kullanmanın yolu PV modülleri maksimum güç noktasında çalıştırmaktır. Bunun için güç düzenleme birimleri ve kontrol algoritmaları kullanılır. Bu sistemler maksimum güç noktası izleme (MPPT) birimleri olarak adlandırılır. MPPT birimlerinde güç takibi yapmak için akım, gerilim sensörleri ve güç elektroniği devreleri kullanılır. Elektriksel gücün ölçümü ve mikrodenetleyicilerle kontrolü sayesinde güç değerleri görüntülenebilir ve kayıt edilebilir.

MPPT birimleri için güç elektroniği devrelerinde en çok tercih edilen teknolojilerden biri doğru akımda (DC) çalışan DC-DC dönüştürücülerdir. Bu dönüştürücüler ve MPPT algoritmaları sayesinde güneş enerjisinden üretilen güç verimli şekilde yüke aktarılır. Bu bölümde PV-TE güç üretimi sistemleri için geliştirilen güç düzenleme ve görüntüleme birimleri hakkında yapılan çalışmalar sunulmuştur. Ayrıca Şekil 6 ve Şekil 7'de verilen PV ve TE modül gibi çok enerji kaynaklı sistemler için tek giriş – tek çıkışlı ve çok giriş – tek çıkışlı güç devresi topolojilerine de yer verilmiştir. Çok girişli DC-DC dönüştürücülerin üstünlüğü daha az güç elemanı kullanılması ile maliyet ve kayıpların azaltılmasıdır. Bu sayede güneş enerjisinin daha verimli kullanılabilir.



Şekil 6. PV-TE sistem için tek giriş-tek çıkışlı dönüştürücü



Şekil 7. PV-TE sistem için çift giriş-tek çıkışlı dönüştürücü

Muhtaroglu vd, [72] mobil hesaplama cihazları için PV ve TE yardımcı güç kaynağı olarak entegrasyonunda iki düzeyli Dixon şarj pompalı yükseltici tip dönüştürücü geliştirmiştir. Fan vd., [73]

elektrikli hibrit araçlarda, PV modüller birlikte araçların egzoz ve radyatörlere entegre edilen TE modüllerden üretilen gücü bataryaya aktarımı için üç girişli-tek çıkışlı Çuk tipi DC dönüştürücü tasarlamıştır. Önerilen çok girişli dönüştürücü (MIC) teknolojisinin hibrit elektrikli araçlar için uygun olduğu ve her enerji kaynağının bağımsız olarak regüle edilebildiği vurgulanmıştır. Zhang ve Chau [74] PV ve TE güç üretim sistemlerinde güç düzenleme birimi için iki girişli SEPİC dönüştürücü tasarımı ve uygulaması gerçekleştirmiştir. Tasarlanan çok girişli dönüştürücü sisteminin maksimum güç noktası izleme (MPPT) algoritması ile test edilmiştir. Her iki modülden sağlanan çıkış gücünün kararlı ve optimal değere yakın çalıştığı gözlemlenmiştir. Diğer bir çalışmada ise Çuk tipi MIC dönüştürücü üzerindeki görev çevrim değerinin sabit olması ve MPPT kontrol ünitesi ile kontrolü durumundaki performansı karşılaştırılmıştır. Değişken PV ve TE çalışma koşullarında MPPT kontrolü sayesinde güç iyileştirmesinin yaklaşık %4 ile %16 arasında değiştiği gözlemlenmiştir [75]. Jung vd., [76] PV ve TE güç üretim sistemlerinden yüke ve bataryaya güç aktarımı için tek bobinli çift giriş ve çift çıkışlı yükseltici tip DC dönüştürücü tasarlamıştır. Önerilen ve tasarlanan DC dönüştürücüde zamanla çoğullanmış teknoloji kullanılmıştır. MPPT sayesinde güç aktarımının başarılı olduğu ve tasarlanan dönüştürücünün tepe veriminin %78 değerine ulaştığı gözlemlenmiştir. Liu vd., [77] çift girişli tek çıkışlı PV-TE güç düzenleme biriminde tek bobin kullanarak yüksek verimlilikte güç aktarımını başarmıştır. Tasarlanan küçük düzeydeki sistemde zamanla çoğullanmış teknoloji ve sıfır akım algılayıcı kullanılmıştır. PV ve TE modüllerden üretilen güçlerin yüke maksimum seviyede aktarılması için ise MPPT algoritması kullanılmıştır. TE ve PV modüllerin tepe izleme verimlilikleri %98'in üzerinde iken tepe dönüşüm verimliliği %85,7'dir. Bu durumun MPPT devresi ve sıfır akım algılayıcı düzenekten kaynaklandığı bildirilmiştir. Literatürdeki çalışmalarla karşılaştırıldığında önerilen topolojinin daha verimli olduğu görülmüştür. Kwan ve Wu [78] iki girişli-tek çıkışlı SEPIC dönüştürücü ile PV-TE sistemde güç dalgalanmalarını azaltmak için hedefe kilitleme mekanizmalı MPPT algoritması önermiştir. Önerilen algoritmanın kısa sürede MPP değerine ulaşmasında ve dalgalanmaların azaltılmasında etkin rol oynamıştır. Verma vd., [79] bataryalı PV-TE sistemin matematiksel modellemesini ve simülasyon çalışması ve MPPT algoritması ile sistem performansını incelemiştir. PV-TE sistemde ani güneş ışınımı değişimlerinde yük-batarya geçişlerinin etkin bir şekilde sağlanabildiği ve TE jeneratör sayesinde bataryada ekstra güç depolandığı bildirilmiştir. Sathyanathan vd., [80] PV ve TE jeneratörlü, bataryalı bir hibrit güç üretim sisteminde tek fazlı evirici ile düzeltilmiş adımli P&O algoritmasının tasarımı ve analizini sunmuştur. Önerilen evirici DC-DC dönüşümde alçaltıcı ve düşürücü mod ile test çalıştırılmıştır. 200 W'lık sistemde Li-ion bataryalar kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre önerilen eviricinin yaklaşık olarak %97 verimlilikte dönüşüm veriminin sağlandığı görülmüştür. Pereira vd., [81] PV-TE sistemde nesnelere interneti teknolojisini kullanarak güç görüntüleme sistemi tasarlamıştır. Elde edilen verilere göre aylık ortalama 15 °C sıcaklık farklılığında ticari bir TEG tarafından üretilen gerilimin 140 mV ile 220 mV arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Jena ve Kar [82] PV-TE sistemin rüzgar türbini ve yakıt hücresi ile entegrasyonunda aktif ve reaktif güç paylaşımlarını irdelemiştir. Sadece PV ve rüzgar enerjisi ile yapılan karşılaştırmaya göre PV-TE-rüzgar sisteminin daha az reaktif güç paylaştığı gözlemlenirken, PV-TE sisteme yakıt hücresi entegre edildiğinde reaktif gücün daha da düştüğü gözlemlenmiştir. Böylece TE jeneratörlerin entegrasyonunun çok verimli olduğu bildirilmiştir. Shen vd., [83] PV-TE sistemde verimli termal enerji yönetimi için kontrol ünitesinde güç izlemeli anahtar tekniği uygulamıştır. Önerilen teknik sayesinde tek bir PV modüle göre 84034 J daha fazla enerji depolandığı ve maksimum enerji verimliliğinin %15,65'lere kadar çıktığı gözlemlenmiştir. Mirza vd., [84] PV-TE sistemde homojen olmayan sıcaklık dağılımlarından dolayı oluşan çoklu tepe noktası durumlarında enerjinin verimli kullanımı için aritmetik optimizasyon algoritmasını kullanmıştır. Simülasyon ve deneysel çalışmalara göre 100 ms izleme süresi ve 280 ms yerleşme süresi ile %99,86 verimlilikte güç izleme gerçekleştirilmiştir. Önerilen algoritmanın diğer sezgisel algoritmalarından (parçacık sürüsü optimizasyon ve guguk kuşu arama algoritmaları) yaklaşık %66 daha verimli olduğu bildirilmiştir. Kanagaraj [85] PV ile DC dönüştürücüden sonra seri bağlı TE jeneratörlü hibrit sisteme bulanık mantık kontrollü oransal dereceli değişken artan iletkenlik tabanlı MPPT ile maksimum güç kontrolünü sağlamıştır. Yarı köprülü ve gerilim kaynaklı evirici ile alternatif akımda (AC) yük beslemek için kullanılmıştır. AC akımda güç kalitesinin iyileştirilmesi üzerine odaklanılan çalışmada sonuçlar göstermiştir ki önerilen sistemin kompanzasyon için güç kalitesi bozukluklarını derhal tanımladığını doğrulamıştır.

III. BULGULAR

Bu çalışmada PV-TE güç üretim sistemlerinde yapılan çalışmalar derlenmiştir. PV-TE sistemler beş grupta sınıflandırılmıştır. Bunlar geleneksel, yoğunlaştırılmalı, faz değiştiren malzeme entegreli, ekonomik değerlendirmeler ile güç düzenleme ve kaydetme birimleridir.

Geleneksel (düzlemsel) PV-TE sistemlerde ışınım değerinin belli seviyelerde olması PV modül sıcaklığını belli değerlere getirebilmektedir. Bu yüzden TE modüllerden üretilen güç modül arka sıcaklığı ile çevre sıcaklık değerlerinin farkı kadar sınırlandırılmaktadır. PV-TE güç üretim sistemleri geleneksel PV sistemlerden üstün olsa bile TE modüllerin verimlerinin düşük olmasından dolayı üretilen güç değeri de düşük kalmaktadır. Bunun için CPV-TE sistemler bir çözüm olmuştur.

CPV-TE sistemlerde güneş ışınımı ile yoğunlaştırma oranının artması modül sıcaklığını arttırmaktadır. PV modüllerde sıcaklık artışı güç düşüşüne sebep olurken; TE jeneratörlerde güç artışı sağlamaktadır. Bu yüzden iki modülden üretilen toplam güç değerini ise optimum değerde tutmak için optimum yoğunlaştırma oranını önem kazanmaktadır.

PV-TE sistemlerde faz değiştiren malzemelerin kullanımı son yıllarda popüler bir konu olmuştur. FDM'ler; PV ve TE modüllerin ve arkasına entegre edilerek iki farklı şekilde değerlendirilebilmektedir. PV modüllerin arkasına yerleştirildiğinde sıcaklık dalgalanmalarını azaltmakla birlikte PV modül sıcaklığını bir miktar düşürerek daha fazla güç üretimi sağlamaktadır. TE modüllerin soğuk tarafına yerleştirilmesi ise sıcak tarafı ile soğuk tarafı arasındaki sıcaklık farkını azaltmakta TE modüllerin güç üretimini arttırmaktadır. Faz değiştiren malzemelerin termofiziksel özellikleri ve erime noktalarının dikkate alınması güç üretim performansını iyileştirmek için önem kazanmaktadır.

PV-TE güç üretim sistemlerinin ekonomik tarafı açısından bakıldığında PV modüllerin maliyeti her geçen yıl azalmaktadır. Ancak TE modüllerin maliyetlerinin yüksek olması hibrit güç üretim sisteminin maliyetini arttırmakta ve dolayısıyla rekabetçi olmasını kısıtlamaktadır. Bunun için PV sistemler açısından incelendiğinde düşük sıcaklıklarda daha verimli ve daha ucuz TE modüllerin geliştirilmesi önem kazanmaktadır. Bu çalışmada sunulan literatür çalışmalarından da anlaşılacağı gibi PV-TE sistemlerde yeni tekniklerin de geliştirilmesi güç üretiminde artışla birlikte enerji maliyetini bir miktar düşürebilmektedir. Sonuç olarak yüksek TE modül fiyatları ve düşük verimlilik değerleri PV-TE sistemleri olumsuz etkilemektedir.

PV ve TE modüllerde üretilen elektriksel gücün yüke en verimli şekilde aktarımını güç düzenleme birimleri sağlar. DC-DC dönüştürücü ve maksimum güç noktası izleme algoritmasından oluşturulan bu birimlere ait yapılan çalışmalar incelendiğinde çok girişli ve tek çıkışlı DC-DC dönüştürücülerin daha uygun ve avantajlı olduğu görülmektedir. Güç eleman sayılarının azalması sayesinde maliyetlerin azaltılması ve güç kaybının da en az seviyelerde olması bir avantaj sağlamaktadır.

IV. SONUÇ

Bu çalışmada PV-TE güç üretim sistemlerinde yapılan seksen literatür çalışması derlenmiştir. PV-TE sistemler için derlenen çalışmalar beş grupta sınıflandırılmıştır. Bunlar geleneksel, yoğunlaştırılmalı, faz değiştiren malzeme entegreli, ekonomik değerlendirmeler ile güç düzenleme ve kaydetme birimleridir. Geleneksel PV-TE sistemlerdeki sıcaklık ve güç sınırlamalarını ortadan kaldırmak için yoğunlaştırılmış sistemlere geçiş olduğu görülmekle birlikte ve yeni teknikler geliştirilmeye çalışılmaktadır. PV-TE sistemlerin performansı geleneksel PV sistemlerden iyi olsa bile TE modül maliyetinin yüksek olması ve düşük verimliliği bu sistemler için bir engel oluşturmaktadır. Sonuç olarak incelendiğinde düşük sıcaklıklarda daha verimli ve daha ucuz TE modüllerin geliştirilmesi bu temel sorun için bir çözüm olacaktır.

TEŞEKKÜR: PV ve PV-TE sistemin deneysel çalışması için finansal destekte bulunan 19/090/04/1/1 numaralı Araştırma Projesi ile maddi destek sağlayan Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projesi birimine teşekkür ederim.

V. KAYNAKLAR

- [1] J.K. Tonui, Y. Tripanagnostopoulos, “Air-cooled PV/T solar collectors with low cost performance improvements,” *Solar Energy*, vol. 81, pp. 498–511, 2007.
- [2] S. Armstrong, W.G. Hurley, “A thermal model for photovoltaic panels under varying atmospheric conditions,” *Applied Thermal Engineering*, vol. 30, pp. 1488-1495, 2010.
- [3] S. Kalogirou, Y. Tripanagnostopoulos, Hybrid PV/T solar systems for domestic hot water and electricity production, *Energy Conversion and Management*, vol. 47, pp. 3368–3382, 2007.
- [4] W. Glatz, E. Schwyter, L. Durrer, C. Hierold, “Bi₂Te₃-Based Flexible Micro Thermoelectric Generator With Optimized Design,” *Journal of Microelectromechanical Systems*, vol. 18, pp. 763-772, 2009.
- [5] V.G.J.H.M. van Sark, “Feasibility of photovoltaic - thermoelectric hybrid modules,” *Applied Energy*, vol. 88, pp. 2785-2790, 2011.
- [6] D. Yang, H. Yin, “Energy Conversion Efficiency of a Novel Hybrid Solar System for Photovoltaic, Thermoelectric, and Heat Utilization,” *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 26, pp. 662-670, 2011.
- [7] Y. Deng, W. Yu, Y. Wang, Y. Shi, “Enhanced performance of solar-driven photovoltaic–thermoelectric hybrid system in an integrated design,” *Solar Energy*, vol. 88, pp. 182–191, 2013.
- [8] W. Lin, T.M. Shih, J.C. Zheng, Y. Zhang, J. Chen, “Coupling of temperatures and power outputs in hybrid photovoltaic and thermoelectric modules,” *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 74, pp. 121-127, 2014.
- [9] S. Dong, T.M. Shih, W. Lin, X. Cai, R.R.G. Chang, Chen Z., “Time-Dependent Photovoltaic-Thermoelectric Hybrid Systems,” *Numerical Heat Transfer, Part A-Applications*, vol. 66, pp. 402-419, 2014.
- [10] R. Bjørk, K.K. Nielsen, “The performance of a combined solar photovoltaic (PV) and thermoelectric generator (TEG) system,” *Solar Energy*, vol. 120, pp. 187-194, 2015.
- [11] B. Lorenzi, M. Acciarri, D. Narducci, “Analysis of Thermal Losses for a Variety of Single-Junction Photovoltaic Cells: An Interesting Means of Thermoelectric Heat Recovery,” *Journal of Electronic Materials*, vol. 44, pp. 1809–1813, 2015.
- [12] D.N. Kossyvakis, G.D. Voutsinas, E.V. Hristoforou, “Experimental analysis and performance evaluation of a tandem photovoltaic–thermoelectric hybrid system,” *Energy Conversion and Management*, vol. 117, pp. 490–500, 2016.
- [13] F. Attivissimo, A. Di Nisio, A.M.L. Lanzolla, M. Paul, “Feasibility of a Photovoltaic–Thermoelectric Generator: Performance Analysis and Simulation Results,” *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 64, pp. 1158-1169, 2015.
- [14] A. Rezanian, D. Sera, L.A. Rosendahl, “Coupled thermal model of photovoltaic-thermoelectric

hybrid panel for sample cities in Europe,” *Renewable Energy*, vol. 99, pp. 127-135, 2016.

[15] A. Hashim, J.J. Bompfrey, G. Min, “Model for geometry optimisation of thermoelectric devices in a hybrid PV/TE system,” *Renewable Energy*, vol. 87, pp. 458-463, 2016.

[16] T.H. Kwan, X. Wu, “Power and mass optimization of the hybrid solar panel and thermoelectric generators,” *Applied Energy*, vol. 165, pp. 297-307, 2016.

[17] W. Zhu, Y. Deng, Y. Wang, S. Shen, R. Gulfam, “High-performance photovoltaic-thermoelectric hybrid power generation system with optimized thermal management,” *Energy*, vol. 100, pp. 91-101, 2016.

[18] D.T. Cofas, P.A. Cofas, D. Ciobanu, O.M. Machidon, “Characterization of Photovoltaic–Thermoelectric–Solar Collector Hybrid Systems in Natural Sunlight Conditions,” *Journal of Energy Engineering*, vol. 143 no. 04017055, 2017.

[19] S., Soltani A., Kasaeian H., Sarrafha D. Wen, “An experimental investigation of a hybrid photovoltaic/thermoelectric system with nanofluid application,” *Solar Energy*, vol. 155, pp. 1033-1043, 2017.

[20] O.F. Marandi, M. Ameri, B. Adelshahian, “The experimental investigation of a hybrid photovoltaic-thermoelectric power generator solar cavity-receiver,” *Solar Energy*, vol. 161, pp. 38–46, 2018.

[21] G. Li, S. Shittu, K. Zhou, X. Zhao, X. Ma, “Preliminary experiment on a novel photovoltaic-thermoelectric system in summer,” *Energy*, vol. 188, no. 116041, 2019.

[22] S. Shittu, G. Li, X. Zhao, J. Zhou, X. Ma, Y.G. Akhlaghi, “Experimental study and exergy analysis of photovoltaic-thermoelectric with flat plate micro-channel heat pipe,” *Energy Conversion and Management*, vol. 207, no. 112515, 2020.

[23] P. Huen, W.A. Daoud, “Advances in hybrid solar photovoltaic and thermoelectric generators,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 72, pp. 1295–1302, 2017.

[24] Y.J. Cui, B.L. Wang, J.E. Li, K.F. Wang, “Performance evaluation and lifetime prediction of a segmented photovoltaic-thermoelectric hybrid system,” *Energy Conversion and Management*, vol. 211, no. 112744, 2020.

[25] A.E. Siemenn, E.E. Loney, T. Buonassisi, Z. Liu, “Does Energy Yield Increase when Conjoining a PV Module with a Thermoelectric Device?,” *47th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC)*, 15 June - 21 Aug. 2020, Calgary, AB, Canada, pp. 295-300.

[26] B. Zhao, M. Hu, X. Ao, Q. Xuan, Z. Song, G. Pei, “Is it possible for a photovoltaic-thermoelectric device to generate electricity at night?,” *Solar Energy Materials & Solar Cells*, vol. 228, pp. 111136, 2021.

[27] M.A.I. Khan, M.I. Khan, A.H. Kazim, A. Shabir, F. Riaz, N. Mustafa, H. Javed, A. Raza, M. Hussain, C.A. Salman, “An Experimental and Comparative Performance Evaluation of a Hybrid Photovoltaic-Thermoelectric System,” *Frontiers in Energy Research*, vol. 9, no. 722514, 2021.

[28] G. Kidegho, F. Njoka, C. Muriithi, R. Kinyua, “Evaluation of thermal interface materials in mediating PV cell temperature mismatch in PV–TEG power generation,” *Energy Reports*, vol. 7, pp. 1636–1650, 2021.

[29] A. Ruzaimi, S. Shafie, W.Z.W. Hassan, N. Azis, M. Effendy Ya’acob, E. Elianddy, W. Aimrun,

“Performance analysis of thermoelectric generator implemented on non-uniform heat distribution of photovoltaic module,” *Energy Reports*, vol. 7, pp. 2379–2387, 2021.

[30] C. Demircan, “Fotovoltaik – Termoelektrik (PV-TE) Hibrit Güç Üretim Sistemlerinin Performanslarının İncelenmesi,” Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye, 2022.

[31] Y. Vorobiev, J. González-Hernández, P. Vorobiev, L. Bulat, “Thermal-photovoltaic solar hybrid system for efficient solar energy conversion,” *Solar Energy*, vol. 80, pp. 170–176, 2006.

[32] T. Liao, B. Lin, Z. Yang, “Performance characteristics of a low concentrated photovoltaic–thermoelectric hybrid power generation device,” *International Journal of Thermal Sciences*, vol. 77, pp. 158-164, 2014.

[33] O. Beeri, O. Rotem, E. Hazan, E.A. Katz, A. Braun, Y. Gelbstein, “Hybrid photovoltaic-thermoelectric system for concentrated solar energy conversion: Experimental realization and modeling,” *Journal of Applied Physics*, vol. 118, pp. 115104, 2015.

[34] R. Lamba, S.C. Kaushik, “Modeling and performance analysis of a concentrated photovoltaic–thermoelectric hybrid power generation system,” *Energy Conversion and Management*, vol. 115, pp. 288-298, 2016.

[35] J. Zhang, Y. Xuan, “Investigation on the effect of thermal resistances on a highly concentrated photovoltaic-thermoelectric hybrid system,” *Energy Conversion and Management*, vol. 129, pp. 1–10, 2016.

[36] E. Yin, Q. Li, Y. Xuan, “Thermal resistance analysis and optimization of photovoltaic-thermoelectric hybrid system,” *Energy Conversion and Management*, vol. 143, pp. 188-202, 2016.

[37] J. Zhang, Y. Xuan, L. Yang, “A novel choice for the photovoltaic–thermoelectric hybrid system: the perovskite solar cell,” *International Journal of Energy Research*, vol. 40, pp. 1400-1409, 2016.

[38] G. Contento, B. Lorenzi, A. Rizzo, D. Narducci, “Efficiency enhancement of a-Si and CZTS solar cells using different thermoelectric hybridization strategies,” *Energy*, vol. 131, pp. 230-238, 2017.

[39] F.J. Willars-Rodríguez, E.A.Chávez-Urbiola, P. Vorobiev, Y.V. Vorobiev, “Investigation of solar hybrid system with concentrating Fresnel lens, photovoltaic and thermoelectric generators,” *International Journal of Energy Research*, vol. 41, pp. 377-388, 2017.

[40] D. Li, Y. Xuan, Q. Li, H. Hong, “Exergy and energy analysis of photovoltaic-thermoelectric hybrid systems,” *Energy*, vol. 126, pp. 343-351, 2017.

[41] G. Li, X. Chen, Y. Jin, “Analysis of the Primary Constraint Conditions of an Efficient Photovoltaic-Thermoelectric Hybrid System,” *Energies*, vol. 10, no. 20, 2017.

[42] Y.-P. Zhou, Y.-L. He, Y. Qiu, Q. Ren, T. Xie, “Multi-scale investigation on the absorbed irradiance distribution of the nanostructured front surface of the concentrated PV-TE device by a MC-FDTD coupled method,” *Applied Energy*, vol. 207, pp. 18-26, 2017.

[43] T.H. Kil, S. Kim, D.H. Jeong, D.M. Geum, S. Lee, S.J. Jung, S. Kim, C. Park, J.S. Kim, J.M. Baik, K.S. Lee, C.Z. Kim, W.J. Choi, S.H. Baek, “A highly-efficient, concentrating-photovoltaic/thermoelectric hybrid generator, *Nano Energy*,” vol. 37, pp. 242–247, 2017.

[44] S. Soltani, A. Kasaeian, T. Sokhansefat, M.B. Shafii, “Performance investigation of a hybrid photovoltaic/thermoelectric system integrated with parabolic trough collector,” *Energy Conversion and*

Management, vol. 159, pp. 371-380, 2018.

[45] M. Hajji, H. Labrim, M. Benaissa, A. Laazizi, H. Ez-Zahraouy, E. Ntsoenzok, J. Meot, A. Benyoussef, "Photovoltaic and thermoelectric indirect coupling for maximum solar energy exploitation," *Energy Conversion and Management*, vol. 136, pp. 184-191, 2017.

[46] S. Mahmoudinezhad, A. Rezaia, L.A. Rosendahl, "Behavior of hybrid concentrated photovoltaic-thermoelectric generator under variable solar radiation," *Energy Conversion and Management*, vol. 164, pp. 443-452, 2018.

[47] E. De-la-Vega, A. Torres-Hernandez, P.M. Rodrigo, F. Brambila-Paz, "Fractional derivative-based performance analysis of hybrid thermoelectric generator-concentrator photovoltaic system," *Applied Thermal Engineering*, vol. 193, no. 116984, 2021.

[48] E. Yin, Q. Li, Y. Xuan, "One-day performance evaluation of photovoltaic-thermoelectric hybrid system," *Energy*, vol. 143, pp. 337-346, 2018.

[49] E. Yin, Q. Li, Y. Xuan, "Optimal design method for concentrating photovoltaic-thermoelectric hybrid system," *Applied Energy*, vol. 226, pp. 320-329, 2018.

[50] E. Yin, Q. Li, Y. Xuan, "Experimental optimization of operating conditions for concentrating photovoltaic-thermoelectric hybrid system," *Journal of Power Sources*, vol. 422, pp. 25-32, 2019.

[51] P.M. Rodrigo, Á. Valera, E.F. Fernández, F.M. Almonacid, "Annual Energy Harvesting of Passively Cooled Hybrid Thermoelectric Generator-Concentrator Photovoltaic Modules," *IEEE Journal of Photovoltaics*, vol. 9, pp. 1652-1660, 2019.

[52] A. Yusuf, N. Bayhan, H. Tiryaki, H. Hamawandi, M.S Toprak, S. Ballikaya, "Multi-objective optimization of concentrated Photovoltaic-Thermoelectric hybrid system via non-dominated sorting genetic algorithm (NSGA II)," *Energy Conversion and Management*, vol. 236, no. 114065, 2021.

[53] U.A. Saleh, M.A. Johar, S.A. Jumaat, M.N. Rejab, W.A. Wan Jamaludin, "Evaluation of a PV-TEG Hybrid System Configuration for an Improved Energy Output: A Review," *International Journal of Renewable Energy Development*, vol. 10, pp. 385-400, 2021.

[54] J. Skovajsa, M. Koláček, M. Zálešák, "Phase Change Material Based Accumulation Panels in Combination with Renewable Energy Sources and Thermoelectric Cooling," *Energies*, vol. 10, no. 152, 2017.

[55] M. Jaworski, M. Bednarczyk, M. Czachor, "Experimental investigation of thermoelectric generator (TEG) with PCM module," *Applied Thermal Engineering*, vol. 96, pp. 527-533, 2016.

[56] T. Cui, Y. Xuan, Q. Li, "Design of a novel concentrating photovoltaic-thermoelectric system incorporated with phase change materials," *Energy Conversion and Management*, vol. 112, pp. 49-60, 2016.

[57] T. Cui, Y. Xuan, E. Yin, Q. Li, D. Li, "Experimental investigation on potential of a concentrated photovoltaic-thermoelectric system with phase change materials," *Energy*, vol. 122, pp. 94-102, 2017.

[58] J. Zhang, Y. Xuan, "Performance improvement of a photovoltaic - Thermoelectric hybrid system subjected to fluctuant solar radiation," *Renewable Energy*, vol. 113, pp. 1551-1558, 2017.

[59] E. Yin, Q. Li, D. Li, Y. Xuan, "Experimental investigation on effects of thermal resistances on a photovoltaic-thermoelectric system integrated with phase change materials," *Energy*, vol. 169, pp. 172-185, 2019.

- [60] P. Motiei, M. Yaghoubi, E. GoshtasbiRad, "Transient simulation of a hybrid photovoltaic-thermoelectric system using a phase change material," *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, vol. 39, pp. 200-213, 2019.
- [61] F. Bayrak, H.F. Oztop, F. Selimefendigil, "Experimental study for the application of different cooling techniques in photovoltaic (PV) panels," *Energy Conversion and Management*, vol. 212, pp. 112789, 2020.
- [62] M. Naderi, B.M. Ziapour, M.Y. Gendeshmin, "Improvement of photocells by the integration of phase change materials and thermoelectric generators (PV-PCM-TEG) and study on the ability to generate electricity around the clock," *Journal of Energy Storage*, vol. 36, pp. 102384, 2021.
- [63] J. Ko, J.W. Jeong, "Annual performance evaluation of thermoelectric generator-assisted building-integrated photovoltaic system with phase change material," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 145, pp. 111085, 2021.
- [64] J. Zhang, J. Zhang, Y. Qian, J. Dong, "The influence of the bandgap on the photovoltaic-thermoelectric hybrid system," *International Journal of Energy Research*, vol. 45, pp. 3979–3987, 2021.
- [65] IRENA Solar Costs, <https://www.irena.org/Statistics/View-Data-by-Topic/Costs/Solar-Costs> (Erişim Tarihi: 03.12.2021).
- [66] G. Li, X. Zhao, J. Ji, "Conceptual development of a novel photovoltaic-thermoelectric system and preliminary economic analysis," *Energy Conversion and Management*, vol. 126, pp. 935–943, 2016.
- [67] A. Rezania, L.A. Rosendahl, "Feasibility and parametric evaluation of hybrid concentrated photovoltaic-thermoelectric system," *Applied Energy*, vol. 187, pp. 380–389, 2017.
- [68] F.J. Montero, R. Kumar, R. Lamba, R.A. Escobar, M. Vashishtha, S. Upadhyaya, A.M. Guzman, "Hybrid photovoltaic-thermoelectric system: Economic feasibility analysis in the Atacama Desert, Chile," *Energy*, vol. 239, no. 122058, 2022.
- [69] D. Narducci, B. Lorenzi, "Economic Convenience of Hybrid Thermoelectric-Photovoltaic Solar Harvesters," *ACS Applied Energy Materials*, vol. 4, pp. 4029–4037, 2021.
- [70] K.G. Ismaila, A.Z. Sahin, B.S. Yilbas, A. Al-Sharafi, "Thermo-economic optimization of a hybrid photovoltaic and thermoelectric power generator using overall performance index," *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, vol. 144, pp. 1815-1829, 2021.
- [71] K.G. Ismaila, A.Z. Sahin, B.S. Yilbas, "Exergo-economic optimization of concentrated solar photovoltaic and thermoelectric hybrid generator," *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, vol. 145, pp. 1035–1052, 2021.
- [72] A. Muhtaroglu, A. Yokochi, A. von Jouanne, "Integration of thermoelectrics and photovoltaics as auxiliary power sources in mobile computing applications," *Journal of Power Sources*, vol. 177, pp. 239-246, 2008.
- [73] Y. Fan, L. Ge, W. Hua, "Multiple-input DC-DC converter for the thermoelectric-photovoltaic energy system in Hybrid Electric Vehicles," *IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference*, 1-3 Sept., Lille, France, no. 11873614, 2010.
- [74] X. Zhang, K.T. Chau, "Design and Implementation of a New Thermoelectric-Photovoltaic Hybrid Energy System for Hybrid Electric Vehicles," *Electric Power Component and Systems*, vol. 139, pp. 511-525, 2011.

- [75] X. Zhang, K.T. Chau, "An automotive thermoelectric–photovoltaic hybrid energy system using maximum power point tracking," *Energy Conversion and Management*, vol. 52, pp. 641–647, 2011.
- [76] D.H. Jung, K. Kim, S.O. Jung, "Thermal and solar energy harvesting boost converter with time-multiplexing MPPT algorithm," *IEICE Electronic Express*, vol. 13, no. 12, pp. 1-9, 2016.
- [77] L. Liu, P. Zhang, X. Liao, Z. Zhu, "A single-inductor thermoelectric and photovoltaic hybrid harvesting interface with time-multiplexed technology and accurate zero current detector," *Microelectronics Journal*, vol. 113, no. 105062, 2021.
- [78] T.H. Kwan, X. Wu, "The Lock-On Mechanism MPPT algorithm as applied to the hybrid photovoltaic cell and thermoelectric generator system," *Applied Energy*, vol. 204, pp. 873-886, 2017.
- [79] V. Verma, A. Kane, B. Singh, "Complementary performance enhancement of PV energy system through thermoelectric generation," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 58, pp. 1017–1026, 2016.
- [80] M. Sathiyathan, S. Jaganathan, R.L. Josephine, "Design and Analysis of Universal Power Converter for Hybrid Solar and Thermoelectric Generators," *Journal of Power Electronics*, vol. 19, pp. 220-233, 2019.
- [81] R.I.S. Pereira, M.M. Camboim, A.W.R. Villarim, C.P. Souza, S.C.S. Jucá, P.C.M. Carvalho, "On harvesting residual thermal energy from photovoltaic module back surface," *International Journal of Electronics and Communications*, vol. 111, no. 152878, 2019.
- [82] S. Jena, S.K. Kar, "Employment of solar photovoltaic-thermoelectric generator-based hybrid system for efficient operation of hybrid nonconventional distribution generator," *International Journal of Energy Research*, vol. 44, pp. 109-127, 2020.
- [83] Z.H. Shen, H. Ni, C. Ding, G.R. Sui, H.Z. Jia, X.M. Gao, N. Wang, "Improving the Energy-Conversion Efficiency of a PV–TE System With an Intelligent Power-Track Switching Technique and Efficient Thermal-Management Scheme," *IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology*, vol. 11, pp. 963-973, 2021.
- [84] A.F. Mirza, M. Mansoor, K. Zerbakht, M.Y. Javed, M.H. Zafar, N.M. Khan, "High-efficiency hybrid PV-TEG system with intelligent control to harvest maximum energy under various non-static operating conditions," *Journal of Cleaner Production*, vol. 320, no. 128643, 2021.
- [85] N. Kanagaraj, "Hybrid Renewable Energy Source Combined Dynamic Voltage Restorer for Power Quality Improvement," *Computer Systems Science and Engineering*, vol. 40, pp. 517–538, 2022.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Yanıcı, Patlayıcı Kimyasalların Oluşturacağı Tehlikeli Bölgelerin Hesaplanarak Risklerin Değerlendirilmesi, Amonyak Tankı Örneği

Bülent BÜYÜKKIDAN^a, Ömer Ahmet USLU^a, Hüseyin GÜMÜŞ^{b*}

^a*Kimya Bölümü, Fen Edebiyat Fakültesi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, TÜRKİYE*
^b*İş Sağlığı ve Güvenliği Bölümü, Osmaneli Meslek Yüksekokulu, Bilecik Ş.E. Üniversitesi, Bilecik, TÜRKİYE*

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: huseyin.gumus@bilecik.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1030485

Öz

Patlayıcı ve yanıcı özellikteki maddelerin ortama sızması sonucunda oluşabilecek tehlikeli bölgelerin bilimsel yöntemle ve nicel değerlerle belirlenmesi, çalışma ortamının güvenliği için son derece önemlidir. Bu çalışmada bir işletmede bulunan amonyak tankının alt çıkışında ve bağlantılarında oluşabilecek sızıntı ihtimalleri değerlendirilerek, muhtemel patlayıcı bölgelerin sınırları ALOAH programında, patlayıcı bölgelerin sınıflandırılması standardına (TS 60079-10-1) göre yapılmıştır. Amonyak tankının pompa ve alt bağlantı flanşlarından meydana gelebilecek tali boşalmanın karakteristiği sırasıyla 24,64 ve 10,36 m³/s, bölge yarıçapları 14 ve 7 m olarak hesaplanmıştır. Yapılan hesaplama ve değerlendirmeler sonucunda oluşacak patlayıcı ortamın Bölge 1 tanımına uyduğu bulunmuştur. L-tipi matris sistemi kullanılarak, haftada bir patlama ihtimalinin oluşabileceği (3P) ve ciddi yaralanmalara (4P) sebep olabileceği düşünülerek risk derecesi 12 olarak hesaplanmıştır. ATEX hesaplamalarının ortam risklerinin nicel olarak tanımlanmasında ve gereken önlemlerin zamanında alınmasında faydalı olduğu anlaşılmaktadır. Ancak bu hesaplamaların farklı iş yerinde her bir patlayıcı kimyasala özgü yapılması halinde riskleri belirlemede etkili olacağı sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Patlayıcı kimyasallar, ATEX, Tehlikeli ortam, LPG, İSG

Evaluation of Risks by Calculating Dangerous Areas to be Created by Flammable and Explosive Chemicals, Example of Ammonia Tank

ABSTRACT

It is extremely important for the safety of the working environment to determine the dangerous areas that may occur as a result of the leakage of explosive and flammable substances into the environment with scientific method and quantitative values. In this study, the leakage possibilities that may occur at the bottom outlet and connections of the ammonia tank in an enterprise were evaluated, and the boundaries of the possible explosive zones were determined in the ALOAH program, according to the classification of explosive zones standard (TS 60079-10-1). The characteristics of secondary discharge that may occur from the pump and lower connection flanges of the ammonia tank are calculated as 24.64 and 10.36 m³/s, region radii of 14 and 7 m, respectively. As a result of the calculations and evaluations, it was found that the explosive atmosphere to be formed complies with the definition of Zone 1. Using the L-type matrix system, the risk value was calculated as 12, considering that there is a possibility of explosion once a week (3P) and serious injuries (4P). It is understood that ATEX calculations are useful in

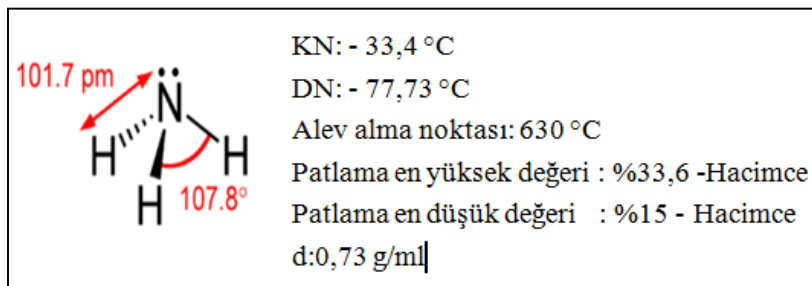
quantitatively defining the environmental risks and taking the necessary precautions in a timely manner. However, it has been concluded that these calculations will be effective in determining the risks if they are made specific to each explosive chemical in different workplaces.

Keywords: Explosive chemicals, ATEX, Hazardous environment, LPG, OHS

I. GİRİŞ

Normal şartlarda veya daha yüksek sıcaklıklarda buharlaşabilen sıvıların kullanıldığı endüstriyel sektörlerde kolayca yangın ve patlama tehlikesi oluşmaktadır. Kimyasalların depolanması ve kullanımı sırasında buldukları kaplardan veya vanalardan ortama sızmaları veya dökülmeleri ve sonrasında kıvılcımla buluşmaları patlama veya yanma riski oluşturmaktadır. Ortama sızan madde ile uygun oranda karışan oksijen yanma veya patlamanın oluşmasına neden olur. Yine de yanma veya patlama için gerekli şart, oksijen ile uygun oranda karışmış yanıcı maddenin kıvılcımla etkileşmesidir. Yanıcı madde miktarının hava ve yanıcı maddenin toplam kütlelerine oranı patlayıcı kimyasalın alevlenme veya patlama değeri olarak tanımlanmıştır [1,2]. Etrafa sızan yanıcı madde hava ile uygun karışım oluşturmuş ancak kıvılcımla buluşmamışsa buna patlayıcı atmosfer denir. Bu atmosferin ateşleme kaynağı ile buluşması ile oluşan ani yanma olayı, önemli zararlara neden olabilir. Bununla ilgili yapılan çalışmalardan bazılarında CO/H₂/N₂/hava karışımının alevlenme davranışlarının kısmi oksijen varlığında incelenmesi [3,4], inert gaz eklenmiş çeşitli hidrokarbonların alevlenme davranışlarının incelenmesi [5], hidrojen katılmış doğal gazın patlama limitlerinin araştırılması örnek verilebilir [6]. Tehlikeli atmosferin yanması-patlama sonucunda oluşan gazlar f, yüksek basınca sahiptir. Bu basıncın etkisi ile etraftaki yapılar zarar görebilir ve ciddi hasara hatta yaralanma ve ölümlere yol açabilir. 21 kişinin ölümüne ve 117 kişinin ağır yaralanmasına neden olan 2008 yılında İstanbul Davutpaşa sanayi sitesindeki patlama, 2 kişinin ölümü 2 kişinin yaralanmasıyla sonuçlanan İstanbul Tuzla'da 2011 yılında epoksi reçine reaktörünün patlaması, 11 Ekim 2017'de Tüpraş İzmir rafinerisinde hava ile uygun karışım oluşturan nafta buharının ateş kaynağı ile birleşmesi sonucu meydana gelen patlama ve oluşan büyük hasar bunlara örnektir [7]. Genellikle sanayi faaliyetlerinde sıklıkla kullanılan ve ortama sızması sonucu tehlikeli ortam oluşturan kimyasallardan bazıları metan, propan, bütan, hidrojen, asetilen ve bunların birbiri içindeki belirli orandaki karışımlarıdır. Her kimyasalın patlaması veya yanması için farklı oranda oksijenle karışım oluşturmaları gerekir. Metanın patlaması için hava (oksijen kaynağı) ile %5-17'lik bir karışım oluşturmaları gerekirken bu değer asetilen için %3-82 olup asetilenin patlama riskinin daha yüksek olduğuna işaret etmektedir [8]. Ayrıca yanıcı patlayıcı kimyasalların oksijenle oluşturdıkları tehlikeli ortamlar sadece kıvılcım etkisiyle değil, farklı şekilde ısıtılması sonucu da faaliyete geçebilir. Parlama ve tutuşma olarak tanımlanan bu durumlar da ortama sızan kimyasalın oluşturduğu tehlikenin hesaplanmasında dikkate alınmalıdır. Örneğin bu değerler etil alkol için sırasıyla 12,7 (parlama) ve 362,7 °C (tutuşma) olarak kaydedilmiştir. Ortama yayılması sonucu patlayıcı atmosfer oluşturma potansiyeline sahip bir başka önemli endüstriyel kimyasal amonyaktır.

Amonyak, NH₃ kapalı formülüne sahip, bir azot ve üç hidrojen atomunun sp³ hibritleşmesiyle oluşmuş molekül yapısında, renksiz ve keskin kokulu bir gazdır (oda koşullarında) Şekil 1. Amonyakın yapısında OH⁻ iyonu bulunmamasına rağmen suda zayıf baz özelliği göstermektedir ve bu nedenle bronsted-lowry asit-baz tanımına uymaktadır. Amonyak, kovalent bağlı (ametal + ametal) bir bileşiktir. Polar molekül yapısı sayesinde kendi molekülleri arasında ve su molekülleri ile zayıf hidrojen bağı oluşturarak suda yüksek oranda çözünür [9]



Şekil 1. Amonyak molekülünün yapısal gösterimi ve bazı özellikleri

Amonyagin gazlaşma gizli ısı çok yüksektir. Bu nedenle endüstride soğutucu kimyasal olarak da kullanımının yanında; gübre üretimi, boyalarda, parfümlerde, temizlik malzemelerinde, patlayıcılarda, nitrik asitin üretiminde ana veya yan bileşen olarak kullanım alanına sahiptir. Patlayıcı ortam oluşturan gaz ve buharlar dışındaki diğer yanıcı-patlayıcı tehlike grubu ise yanıcı madde tozlarının uygun hava ile oluşturduğu karışımlardır. Kinetik açıdan yapılan tanımlama: tutuşma sıcaklığı 25 mJ'den daha az olan tozlar" olarak belirtilmiştir. Ortamda bulunan nem miktarı ve dış ortam sıcaklığı toz patlama riskini arttırmaktadır [10]. Tutuşma enerjisi 10 mJ den daha düşük tozlar ise en yüksek riskte patlama özelliğine sahip olup, bu tür tozlarla yapılan çalışmalarda uygun koruyucu önlemler alınmalı, yüksek nem oluşturma gibi tedbirler düşünülmelidir. Uygun oranda hava ile karışmış toz ve gazların patlaması elektrik arkları, sürtünme, sıcak alanlar ve durgun elektrik kaynakları ile tetiklenebilmektedir. Bu nedenle belirtilen tehlikelerden korunmak amacıyla Avrupa birliği direktifi ATEX 95 uygulamaya konulmuştur. ATEX aynı isimle Türkçeye çevrilerek mevzuatımıza girmiştir [11]. ATEX 137 ya da ATEX İşyeri direktifi 99/92/EC sayılı standart olup, patlayıcı ortamların olduğu yerlerde işçilerin korunması için alınması gereken güvenlik önlemlerini içerir. 30.04.2013 tarih ve 28633 sayılı; "Çalışanların Patlayıcı Ortamların Tehlikelerinden Korunması Hakkında Yönetmelik" bu direktife istinaden oluşturulmuştur [12]. 94/9/EC kodlu ATEX 95 düzenlemesi koruyucu ekipman olarak adlandırılmaktadır ve Resmi gazetede 30.12.2006 tarih ve 26392 Sayılı "Muhtemel Patlayıcı Ortamda Kullanılan Teçhizat ve Koruyucu Sistemler İle İlgili (94/9/AT) yönetmelik" in dayanağını oluşturur (Resmi Gazete, 2016). Ancak ATEX 137 de ve ilgili yönetmeliklerde yanıcı-patlayıcı atmosferin içeriği ile ilgili kesin bir tanım yoktur. Genel anlamda: 0,8-1.1 bar değerlerindeki basınç şartları ve -20 °C ile + 60°C arasında karışım sıcaklığı atmosferik şartlar olarak adlandırılmaktadır [13]. Tehlikeli ortamların şartlarının bilinmesi ve kontrol altına alınması güvenli çalışma ortamı için gereklidir. TS 60079-10-1 standardında patlama riski bulunan ortamlar belirli kriterlere göre gruplara ayrılmaktadır. Bu kriterlerin başında tehlikeli ortamın varlığını devam ettirme süresi gelmektedir. Gaz ve buharlar için Bölge0, 1, 2 tozlar için Bölge20, 21, 22 olarak en tehlikeliden daha az tehlikeliye doğru adlandırılmaktadır [10].

Patlayıcı kimyasalların oluşturacağı tehlikeli ortamlar her zaman, ara sıra ve nadiren oluşan olmak üzere üç ana grupta incelenmektedir. Kaçınılmaz olarak kullanılmakta olan ve hava ile karışarak patlama veya yanma riski oluşturan kimyasalların oluşturacağı tehlikeli ortamların tanımlanması ve önlem alınması güvenli çalışma ortamı açısından gereklidir. En etkili önlem elbette bu gibi tehlikeleri kaynağında gidermek olup, bu yöntem birçok tehlikeli durumla mücadelede her zaman mümkün olmamaktadır. Bunun yerine belirtilen tehlike kaynağı ile gelişmiş yöntemler kullanılarak mücadele edilmesi daha verimli sonuçların alınmasını sağlayacaktır. Bu kapsamda geliştirilen risk analizi programları önemli bu amaca hizmet etmektedir [14]. Türkiye de uygulanmakta olan iş sağlığı ve güvenliği adımlarından biri de kazalara yol açacak etmenlerin belirlenmesi ve giderilmesidir. Bunun için yapılan çalışmalar ve değerlendirmeler genellikle nitel gözleme dayanmaktadır. Benzer tehlikeleri barındıran kurum ve kuruluşlardaki risk değerlendirmeleri hesaba katılarak geçerli bir risk yönetimi tercih edilmektedir. Tehlikelerin nicel olarak yüksek doğrulukla belirlenmesine yönelik çalışmalar son yıllarda tercih edilmeye başlanmıştır. Ancak her bir işletmenin tehlike kaynağı o işletmeye özgüdür. Çalışanların eğitimi, işletmenin faaliyetleri, fiziksel şartları, uygulanan iş sağlığı ve güvenliği politikaları gibi birçok unsur tehlikelerin belirlenmesinde ve giderilmesinde anahtar unsurlardır. Bu nedenle bu çalışmada gerçek bir işletmede yer alan kimyasalın ortama sızması araştırılmış ve bu sızıntı şekli, ortamın havalandırma hızı, sızıntı miktarı gibi birçok ayrıntı hesaba katılarak tehlikeli atmosfer oluşumu incelenmiştir. Elde edilen veriler ALOHA programında değerlendirilerek muhtemel patlayıcı atmosfer ortamının sınırları sayısal olarak belirlenmiştir [15]. Bu çalışmada tehlikeli atmosfer tanımlaması için kullanılan sayısal parametrenin yanında, kaçınılmaz olarak bazı nitel değerlendirmelere de yer verilmiştir. Bu yönüyle tamamen kişisel yaklaşımlara dayanan tehlike tanımlamalarından daha etkin ve doğru bir ölçek elde edilmiştir. Yanıcı-patlayıcı kimyasalların oluşturduğu tehlikeli atmosferlerden korunmak için teknik hesaplamaların kullanımının önemi ortaya konulmuştur.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada kimya alanında faaliyet gösteren bir işletmede bulunan amonyak tankından ortama salınan ve patlayıcı atmosfer oluşturma potansiyeline sahip noktaların hesabı TS 60079-10-1 standartına göre kimyasal acil durumları planlamak ve bunlara müdahale etmek için yaygın olarak kullanılan tehlike modelleme programı ALOHA kullanılarak hesaplanmıştır. ALOHA, gerçek veya potansiyel bir kimyasal salım hakkında ayrıntıları girmenize olanak tanır ve ardından çeşitli tehlike türleri için tehdit bölgesi tahminleri oluşturur. ALOHA, zehirli gaz bulutlarını, yanıcı gaz bulutlarını, BLEVE'leri (Kaynayan Sıvı Genişleyen Buhar Patlamaları), jet yangınlarını, havuz yangınlarını ve buhar bulutu patlamalarını modelleyebilir. Tehdit bölgesi tahminleri ALOHA'da bir grafik üzerinde gösterilir ve haritalarda da çizilebilir. Kırmızı en kötü tehlike seviyesini, turuncu ve sarı azalan tehlike alanlarını temsil eder [15]. Tank altındaki ve pompa flanşlarından salınan amonyağın etki alanı belirlenerek, tehlikeli bölge tanımlaması yapılmıştır. Matris sistemine göre yapılan risk değerlendirmesi sonucunda kararlaştırılan tehlikeli durumların giderilmesi için gerekli önlemler belirtilmiştir.

Bir endüstri kuruluşunda prosesi direk besleyen, basınçlı amonyak (NH₃) dolu tankın flanşlarından amonyak sızması halinde oluşabilecek tehlikeli ortam hesaplanacaktır. Bunun için IEC (International Electrotechnical Commission) tarafından hazırlanan ve TSE tarafından Türkçeye çevrilen TS 60079-10-1 standardında belirtilen aşağıdaki eşitlikler kullanılacaktır [16]. Etrafa sızan kimyasalın yönetmelikte belirtilen bölge nitelendirmeleri ve mesafeleri, olası patlama neticesinde patlamanın yayılma alanları ve gösterdiği karakteristik özellikler ALOHA modelleme programı kullanılarak hesaplanacaktır. Elde edilecek sayısal tehlikeli ortam değerlerine göre olası sızıntı sonucunda oluşacak tehlikeli durumların meydana gelme olasılığı ve bu tehlikeli durumların meydana gelmesi halinde verebileceği zarar değerlendirmesi L tipi risk değerlendirme yöntemiyle yapılacaktır. Gerekli önlemler ve kullanılması gereken ekipmanlar belirtilecektir. Patlama riski oluşturan kimyasalın bulunduğu kaptan boşalma hızı (W) Şekil 2'de verilen eşitliğe göre hesaplanır.

Denklem	Değişken	Birim	Açıklama
$W = C_d S \sqrt{2\rho\Delta P}$	W	kg/s	Boşalma hızı
	C _d	-	Boşalma katsayısı
	S	m ²	Boşalma açıklığı kesit alanı
	ρ	kg/m ³	Sıvı yoğunluğu
	ΔP	Pa	Boşalma bölgesindeki iç ve dış basıncın farkı

Şekil 2. Kimyasalın boşalma hızı (W) eşitliği, kg/s

Kaçak kesitinden saniyede meydana gelecek boşalma hızı kullanılarak kimyasalın boşalma karakteristiği hesaplaması Şekil 3'teki eşitlik kullanılarak yapılır.

Denklem	Değişken	Birim	Açıklama
$Boşalmanın karakteristiği = \frac{W_g}{\rho_g * k * LFL}$		m ³ /s	Boşalmanın karakteristiği
	W _g	kg/s	Boşalma hızı
	ρ _g	kg/m ³	Buharın yoğunluğu
	k	-	Güvenlik katsayısı
	LFL	vol/vol	Alt parlama sınırı

Şekil 3. Kimyasalın boşalma karakteristiği (RC), m³/s

W ve RC değerleri seyrelme derecesinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Boşalma karakteristiğine karşı havalandırma hızı grafiğinde bu iki değer kesiştiği noktanın yer aldığı alan seyrelme derecesini

vermektedir. Sızıntı meydana gelen alanda sızıntının muhtemel büyüklüğü, boşalma karakteristiğine karşı mesafe grafiğinden sızıntı tipi bilinmesi durumunda tespit edilebilir.

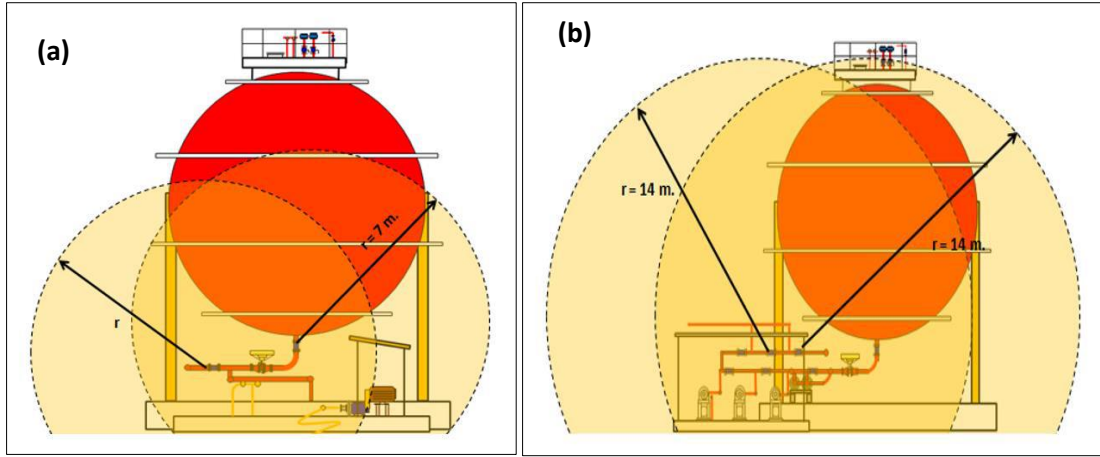
Hava akım hızının belirlenmesi için kimyasal maddenin özellikleri ve ortamın açık veya kapalı oluşu yani hava giriş çıkış özellikleri etkili olmaktadır. Bu ve diğer gerekli parametreler hesap uzmanı tarafından EN 60079 -10 -1 standardına göre verilen tablodan bulunur. Havalandırma ve bölge (ZONE) tipi tablosundan en uygun değer kullanır (Tablo 1). Bu çalışmada havalandırma hızı ortam şartları göz önünde bulundurularak 0,5 m/s olarak değerlendirilmiştir.

Tablo 1. Havalandırma Hızı Tablosu

Açık alan çeşitleri	Engelsiz bölümler			Engelli bölümler		
	≤2 m	≥2 m' den 5 m 'ye kadar	>5m	≤2 m	≥2 m' den 5 m 'ye kadar	>5m
Yüksekten yer seviyesine						
Havanın molekül kütlelerinden hafif gaz veya buhar salımlarını azaltmak için tahmini hava akım hızları	0,5 m/s	1 m/s	2 m/s	0,5 m/s	0,5 m/s	1 m/s
Havanın molekül kütlelerinden ağır gaz veya buhar salımlarını azaltmak için tahmini hava akım hızları	0,3 m/s	0,6 m/s	1 m/sn	0,15 m/s	0,3 m/s	1 m/s
Rastgele yükseklik seviyesinde tahmini sıvı birikmiş havuzun buharlaşma miktarını havalandırmak için gerekli hava akım hızı		>0,25 m/sn			>0,1 m/sn	
Kapalı yerler için genellikle 0,5 m/s havalandırma hızı değeri kabul edilmektedir. Farklı değerlerin kabul edilmesi için özel durumların varlığı söz konusu olmalıdır (Örnek; hava giriş ve çıkışının sağlandığı noktalar) Havalandırma için kullanılan düzenek kontrol edilebilmeli ve en az hava akım hızı hesaplanabilir olmalıdır.						

III. BULGULAR VE DEĞERLENDİRMELER

Çalışmaya konu olan amonyak tankının pompa hattında ve tank altında olmak üzere iki tür flanş bağlantısı olduğu uzman incelemeleri sonucunda tespit edilmiştir. Bu flanşların amonyak sızması yapan veya yapmaya elverişli kısımları incelenmiş ve sızıntı oluşması durumunda tehlikeli bölgeler belirlenmiştir. Tankın olası sızıntı durumunda oluşturduğu kimyasal sızıntının dağılımına ait gösterim ve hesaplanan dağılım mesafeleri Şekil 4'te verilmektedir.



Şekil 4. Hesaplaması yapılan amonyak tankının alt (a) ve pompa (b) flanşları ile bunlardan meydana gelen kimyasal sızıntının dağıldığı mesafe gösterimi

A. TEHLİKELİ BÖLGENİN SINIFLANDIRILMASI

Tehlikeli bölgeler, havalandırma etkinliği tablosunda verilen boşalma özelliklerine göre kararlaştırılmıştır Tablo 4. Her iki sızıntı sonucunda ortamların mevzuatta “Gaz, buhar ve sis halindeki yanıcı maddelerin hava karışımlarının oluşturduğu patlayıcı ortamın normal çalışma koşullarında ara sıra meydana gelme ihtimali olan yerler” olarak tanımlanan Bölge I tanımına uyduğu anlaşılmıştır. Şekil 5 ‘te seyrelme derecesi ile boşalma şekline ilişkin bilgilerin kesiştiği noktalar tehlikeli bölgenin sınıfını vermektedir. Boşalma kaynağı, yanıcı kimyasalın ortama sızarak patlayıcı ortam oluşturduğu alanı ifade etmektedir. Kimyasalın sızma durumuna ve sızma zamanına göre boşalma üç grupta sınıflandırılmaktadır [17,18].

- Devamlı boşalma kaynağı: Boşalmanın sürekli uzun süreli veya kısa süreli ve sık sık meydana geldiği durumları,
- Ana boşalma kaynağı: Boşalmanın normal süreç şartlarında düzenli aralıklarla veya ara sıra olduğu durumları,
- Tali boşalma kaynağı: Boşalmanın normal süreç şartlarında oluşmasının beklenmediği, ancak seyrek ve kısa süreli gerçekleşebildiği halidir.

Bu değerlendirmede amonyak tankındaki sızıntıların genellikle yükleme veya sisteme amonyakın sevkiyatı sırasında meydana geldiği göz önünde bulundurularak tali boşalma olduğu varsayılmıştır. Amonyak sevkiyatı ana kumanda masasından otomatik olarak yapıldığından, sevkiyat dışında tank altındaki vanalar kapalıdır. Sevkiyat esnasında hem üst hem de alt flanşlardan madde geçmekte ve sızıntı ihtimali oluşmaktadır. Patlama ihtimalinin doğruya yakın hesaplanabilmesi için sızıntı şeklinin önemli bir yeri vardır.

Boşalma Derecesi	Havalandırma Etkinliği						
	Yüksek Seyreltme-VH			Orta Seyreltme-VM			Düşük Seyreltme-VL
	Güvenilirlik Derecesi						
	İyi	Orta	Kötü	İyi	Orta	Kötü	İyi, Orta veya Kötü
Sürekli	Tehlikesiz (Bölge 0 Ne) ^a	Bölge 2 (Bölge 0 Ne) ^a	Bölge 1 (Bölge 0 Ne) ^a	Bölge 0	Bölge 0 + Bölge 2	Bölge 0 + Bölge 1	Bölge 0
Ana / Birinci derece	Tehlikesiz (Bölge 1 Ne) ^a	Bölge 2 (Bölge 1 Ne)	Bölge 2 (Bölge 1 Ne) ^a	Bölge 1	Bölge 1 + Bölge 2	Bölge 1 + Bölge 2	Bölge 0 + Bölge 1 ^c
Tali / İkinci derece ^b	Tehlikesiz (Bölge 2 Ne) ^a	Tehlikesiz (Bölge 2 Ne) ^a	Bölge 2	Bölge 2	Bölge 2	Bölge 2	Bölge 0 + Bölge 1 ^c

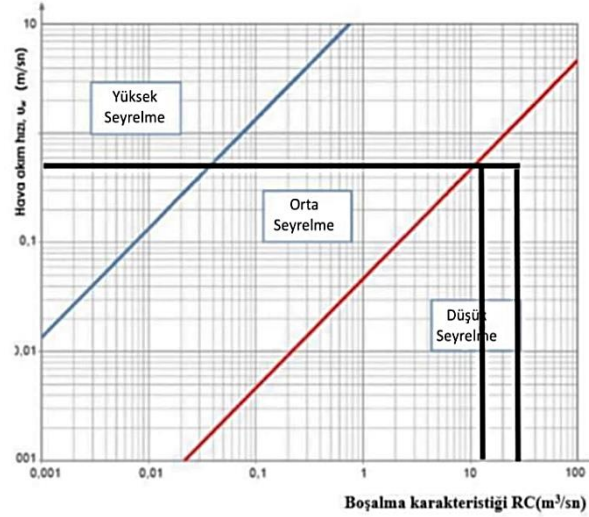
Not : “+” etrafında anlamına gelmektedir.
a: Bölge 0 NE, Bölge 1 NE ve Bölge 2 NE normal şartlarda ihmal edilebilir yayılma sınırına sahip teorik bölgeleri gösterir.
b: Tali boşalma tarafından oluşturulan Bölge 2 alanı ana veya sürekli boşalma derecelerine atfedilebilecek olanı aşabilir. Bu durumda daha büyük olan mesafe kullanılmalıdır.
c: Eğer pratikte havalandırma çok zayıf ve yayılma sürekli gaz ortamı oluşacak şekilde ise (havalandırma yok durumuna yaklaşık ise) Bölge 0 kullanılır.

Şekil 5. Amonyak tankı havalandırma etkinliği tablosu

A. 1. Seyrelme Derecesi

Bir kaynaktan çıkan boşalmanın hava ile karışarak patlama ve/veya yanmaya karşı güvenli hale gelmesi olarak tanımlanabilir. Yapay veya doğal havalandırma ile boşalan kimyasal miktarının patlayıcılık değerinin altına indirilmesi ve böylece ortamdaki tehlike kaynağının oluşumunun engellenmesi gerekir. Yüksek seyrelme: Boşalma kaynağının etrafındaki kimyasal miktarı hızlıca azalır ve boşalma durduktan sonra hemen hemen hiç kalıcılığı yoktur. Orta seyrelme: Boşalma devam ederken kararlı bir bölge sınır değeri oluşturarak kimyasal miktarı kontrol altına alınır ve ayrıca boşalma bittikten sonra da patlayıcı gaz ortamı yüksek seviyede kalıcı olmaz. Düşük seyrelme: Boşalma devam ederken kimyasal miktarı çoktur ve/veya boşalma tamamlandıktan sonra alevlenebilir ortamın kalıcılığı olarak ifade edilmektedir [19].

Bu çalışmada pompa ve tank altındaki flanşların seyrelme derecesi “düşük” olarak bulunmuştur Şekil 6. Bu durum ortama sızan amonyak miktarının hava ile süpürülen değerden daha yüksek olduğunu ifade etmektedir. Bu nedenle patlama veya yanma tehlikesinin varlığı devamlıdır. Seyrelme derecesi, boşalma kaynağının bulunduğu ortamdaki hava akım hızına karşı (bu çalışmada ele alınan amonyak kaynağının hava akım hızı Tablo 4 kullanılarak 0,5 m/s olarak hesaba katılmıştır.) kimyasalın boşalma karakteristiği grafiğinde değerlerin kesiştiği noktanın bulunduğu alan olarak standartlarda yer almaktadır [7].



Şekil 6. Seyrelme derecesi hesabı için hava akım hızı-boşalma karakteristiği grafiği

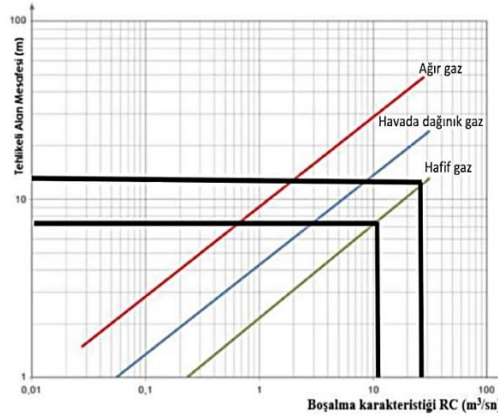
Boşalma karakteristiği bir noktadan sızan patlayıcı ortam oluşturabilecek gaz veya tozun ortama yayılma hızı ve oluşturacağı tehlike bölgeleri ile bilgiler verir [13]. Üç tür boşalma şekli vardır bunlar: jet, difüzyon ve ağır gaz tipidir. Amonyak tankının pompa altındaki ve tank altındaki flanşların boşalma karakteristikleri sırasıyla 24,64 ve 10,36 m³/s olarak hesaplanmıştır.

- Jet Tipi Salım: Bir sızıntının, yüksek basınçla, yüksek hızla boşalmasıdır. Zamanla jet salım seyrelerek hava akımı olmadan etkisini kaybeder.
- Difüzyon Tipi Boşalma: Düşük hızda difüzyonla dağılan veya yayıldığı yüzeylere çarparak yayılma ivmesini kaybeden salımdır.
- Ağır Gaz Tipi Salım: Yatay yüzeyler doğrultusunda dağılan ağır gaz veya buhar salımlarıdır.

Çalışmamızda amonyak tankından meydana gelen salımın alt ve üst flanşlarının jet tipi olduğu sonucuna varılmıştır. Bu değerler salım mesafesinin hesaplanmasında kullanılmıştır. Jet tipi salım gaz veya tozun hızlı çıkışı anlamına gelmektedir. Jet tipi salımın etki alanı difüzyon ve ağır gaz salımına göre daha azdır. Ayrıca jet tipi salımda etki alanı düşük olup hızlı seyrelme söz konusu olduğundan patlayıcı ortam mesafesi kısmen daha küçüktür.

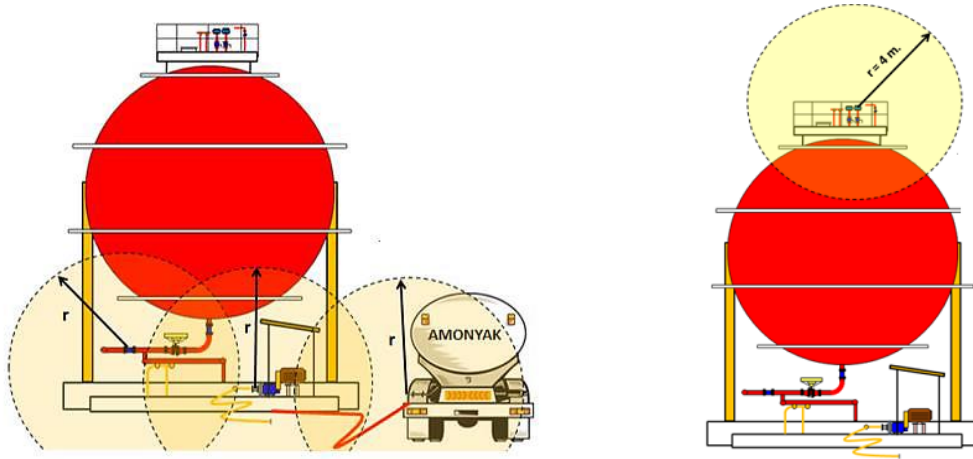
B. TEHLİKELİ BÖLGE YARIÇAPLARININ HESAPLANMASI

Tehlikeli bölge yarıçaplarının hesaplanması, boşalma karakteristiğine karşı tehlike mesafeleri grafiğinden faydalanılarak yapılmıştır. Bunun için salım tipini gösteren doğru üzerinde, boşalma karakteristiği değerine karşılık gelen tehlikeli mesafeler (m) belirlenmiştir. Buna göre iletim hatlarından sızıntı sonucu oluşan tehlikeli alanın yarıçapı 14 m, tank altı flanşların ise 7 m olduğu kaydedilmiştir Şekil 7 ve 8.



Şekil 7. Tehlikeli alan mesafe hesabı için kullanılan salım tipi-boşalma karakteristiği grafiği

Amonyak tankından meydana gelen boşalma noktaları ile ilgili diğer özellikler ve değerlendirme sonuçları Tablo 2’de verilmektedir. TS 60079 standart verileri ve grafikleri kullanılarak yapılan hesaplamada tehlikeli bölgelerin sayısal değerlerle nitelendirilmesi yapılmıştır. Bu çalışmada kullanılan yöntem sadece gaz halde sızan amonyakla sınırlı olmayıp diğer patlayıcı ortamların tehlikelerinin hesaplanmasında da rahatlıklar kullanılabilir nitel değerleri göstermektedir. Bu sayede çalışanların bu gibi tehlikeli ortamlardan korunmasında etkinlik ve verim artacaktır. En önemli unsurlardan birisinin hesaplamalarda kullanılan ve uzman bilgisine dayanan verilerin seçilmesindeki hassasiyettir. Boşalma karakteristiği, seyrelme derecesi, tehlikeli alan mesafeleri gibi birçok değer sayısal formüller kullanılarak hesaplanmaktadır. Ancak bazı durumlarda ortam şartlarına en uygun seçimlerin yapılması ve gözleme dayalı değerlerin kullanımının da gerekli olduğu anlaşılmaktadır. Havalandırma hızının tablodan faydalanılarak seçilmesi, boşalma kaynağının (tali, ana ve sürekli) ve şeklinin (jet, difüzyon ve ağır gaz) belirlenmesi bunlara örnektir ve uzman tarafından seçilerek hesaplamaya dahil edilmektedir.



Şekil 8. Sırasıyla amonyak tankı pompa transferi ve nefesli zone gösterimi

Bu durum farklı teknik bilgi ve tecrübeye sahip kişilerin farklı parametre girişine imkan sunmakta ve sonuçlarda değişikliklere yol açmaktadır. İş sağlığı uygulamalarında daha yüksek koruyucu önlemler ancak kişisel kararlara ve parametrelere dayalı hesaplamaların en aza indirgenmesi ile sağlanabilir. Miranda Tj ve arkadaşları, patlayıcı ortamların bölge ve risklerinin hesaplanmasında UNE 60079/10/1 standart yönteminden daha iyi bir yöntem araştırmışlardır [20]. Bilgisayarlı akışkan dinamiği (BAD) yöntemi ile UNE standart yöntemlerini karşılaştırmış ve BAD yönteminin standart 60079/10/1 metoduna göre daha avantajlı olduğu sonucuna varmışlardır. BAD yöntemi ilgilenilen patlayıcı atmosferin hacminin hesaplanmasına izin vermekte olup bu yönüyle UNE yönteminden üstünlük sağlamaktadır. Ferrero ve arkadaşları tetrafloroetilen gazının reaktör ortamında patlama sıcaklığını araştırmışlardır [21]. Bunun sonucunda artan basınç ve ateşleme sıcaklığı arasındaki ters orantıyı

kaydetmişlerdir. Tetrafloroetilenin basıncı arttıkça ateşleme düşüşün diğer patlayıcılarda da benzer davranış gösterebileceğine vurgu yapılmıştır. Keshevarz grubu çalışmalarında moleküllere bağlanan fonksiyonel kimyasal grupların alev alma sıcaklığına etkisini araştırmışlardır [22]. Çalışmada bazı amin gruplarının sahip oldukları fonksiyonel moleküler gruplar ve bunların buharlaşma ve alev alma davranışlarına etkisi incelenmiştir. Bu tespitler için kullanılan Rowley and Wilding tarafından önerilen metodu gerçek moleküller için uygulamışlar ve "FP ¼ 207:2 + 23:43nC - 7:363nH + 49:41nN + 64:79IP-62:96DP" fonksiyonunu önermişlerdir. Bu yeni denklemde arttırma "IP" ve azaltma "DP" faktörleri ile moleküldeki ek gruplardaki C, H, N sayıları hesaba katılarak alev alma dereceleri hesaplanmıştır. Bu yöntemle fonksiyonel gruplar varlığında oluşan 137 K lik değişiklik doğru şekilde hesaplanmıştır. 13 Haziran 2020 tarihinde Çin'in Wenling, Zhejiang bölgesinde meydana gelen 20 kişinin öldüğü, 25,36 tonluk sıvı LPG kamyonunun beton direklere çarpması ve sonrasında patlaması olayı ALOHA programıyla olay sonrası analiz edilmiştir. ALOHA programıyla yapılan analiz sonuçlarının enkaz dağılımı ve gaz bulutu dağılımı modellerine göre sınırları daha belirlediği anlaşılmıştır [23]. Bir başka çalışmada ALOHA programı kullanılarak doğal gaz fabrikasında oluşabilecek sızma sonucu fabrika etrafındaki yerleşim yerlerinde alınacak tedbirler değerlendirilmiştir. "Boru hattı kaçak açıklığı 100 mm olduğunda, santralde acilen kurtarma ve tahliye yapılacak ve kaçak kazasının kasabaya hiçbir etkisi olmayacaktır. Boru hattı sızıntı açıklığı 200 mm olduğunda, kişiler sızıntıyı derhal kontrol etmeli ve doğal gaz patlama limitleri aralığında olan santralin rüzgar yönünde 55m'den 92m'ye kadar patlamaya dayanıklı önlemleri almalıdır. Boru hattı sızıntı açıklığı 1200 mm olduğunda, acil tahliye önlemleri alınmalı ve doğal gaz patlama limitleri aralığında olan kasabanın çoğunda genişleyen kazalar önlenmelidir" önlemleri önerilmiştir [24]. 3 m çapında 30 m uzunluğunda 107955 kg amonyak tankından (diğer şartlar belirtilerek) oluşacak 9760 kg/dk sızıntı (0,22 m³/s) sonucunda yerleşim yerinde oluşturacağı toksik buhar bulutu, yanıcı alan ve buhar bulutu batlama senaryoları analiz edilmiştir. Toksik buhar senaryosunun en muhtemel tehlike olduğu ve 3400 m mesafedeki yerleşim yerlerine ulaşabileceği hesaplanmıştır [25]. Buradaki örneklerin ikisinde daha önce yaşanan kazalara ait, birinde ise muhtemel tehlike analizi yapılmıştır. İSG uygulamalarının amacı olumsuz durum yaşanmadan önce tedbir almaktır. Bu çalışmada muhtemel bir sızıntı anında oluşacak patlayıcı alanlar kapalı ortam için belirlenmiştir. Aynı tank için yerleşim yerlerinde oluşacak patlayıcı ortamlar ve toksik gaz bulutu dağılımı bir başka çalışmanın konusunda ele alınabilir. Bu iş yerinde oluşacak toksik etki kapalı alan olduğu için hiç şüphesiz nitel bir değerlendirme ile %100 değerindedir.

Tablo 2. Amonyak Tankının Dağılımına Ait Özellikler

Amonyak Tankının Yayılma Özellikleri			
Kaynak	Kısaltma	Amonyak Hattı Pompa Hattındaki Flanşlar	Amonyak Hattı Tank Altındaki Flanşlar
Kaynağın tanımı		Açık alan	Açık alan
ATEX tipi		Gaz	Gaz
Kaynağın çeşidi		Kapalı sistem	Kapalı sistem
Yanıcı Madde		Amonyak	Amonyak sıvı
Molekül Kütle (kg/kmol)	M	17,0000	17,0000
Kaçak yüzey alanı, (m²)	S	0,00014	0,00014
Boşalma Kaynağı (Tali)		Flanş Kaçağı	Flanş Kaçağı
Sızıntı yapan yerdeki basınç farkı (Pa)	$\Delta p = \rho g \Delta h$	53096	53096
Alt patlayıcılık sınırı (kg/m³)	LEL _m	0,1061	0,1061
Alt patlayıcılık sınırı (%)	LEL _v	15,0000	15,0000
Boşalma Derecesi		Tali	Tali
Emniyet Faktörü LFL (0,5 ila 1 arasında)	k	0,50	0,50
Kabın iç basıncı (Pa)	P	300000	300000
Dış atmosfer basıncı (Pa)	Pa	101325	101325

Tablo 2 (devam). Amonyak Tankının Dağılımına Ait Özellikler

Evrensel gaz sabiti, (J/kmol.K)	R	8314,0000	8314,0000
Boşalma Karakteristiği (m ³ /sn)	RC	24,64	10,36
Deşarj Katsayısı	Cd	0,75	0,75
Sıvıların boşalma oranı, (kg/sn)	(W=Wg)	1,222	0,514
Sıcaklık, (°C)	T	40	40
Sıcaklık, (K)	T	313	313
Yoğunluk	P	0,903	0,903
Genleşen gazın yoğunluğu (m ³ /sn)	ρg	0,661	0,661
Kaçığın olduğu yüzey alanı, (mm ²)	S	70	70
Subsonik koşullarda bölge yarıçapı, (m)	r	14	7
Açık hava hızı (m/sn)	Uw= Ur	0,5	0,5
Kalıcılık süresi, (saat)	t	0,0320	0,0320
Kalıcılık süresi, (dakika)	t	1,92	1,92
Yanıcı maddenin başlangıç yoğunluğu, (%)	Xo	100	100

Değerlendirme

Seyrelme Derecesinin Değerlendirilmesi	Düşük Seyrelme	Düşük Seyrelme
Havalandırmanın Kullanılabilirlik Derecesi	Orta	Orta
Bölge	Bölge 1	Bölge 1
Ekipman	Kategori 2	Kategori 2

C. ALINMASI GEREKEN ÖNLEMLER

Yapılan hesaplamalardan elde edilen veriler, amonyak kaçağı olması durumunda patlamanın meydana gelebileceği Bölge 1'in varlığını göstermiştir. Basit L-tipi (5x5) matrisinde hesaplanan risk değeri 12 olarak hesaplanmıştır Tablo 3. Gerek risk skoru hesaplamalarında gerek bundan önceki bölge ve gazın dağılıma çapı hesaplamalarında birçok yaklaşık değer ve göreceli yaklaşımlarla risk durumu belirlenmeye çalışılmıştır. Bu yaklaşımlardan bazıları hesaplamayı yapan teknik elemanın tecrübesine dayandığından, daha tecrübesiz kişilerin yaklaşımlarında hata paylarının yüksek olması muhtemeldir. Bu nedenle risk skorunu göz önünde bulundurarak, alınacak tedbirleri hassasiyetle belirlemek ve uygulamak gerekmektedir.

Tablo 3. Risk Değerlendirmesi ve Alınması Gereken Önlemler

Yanıcı/Patlayıcı Madde:	AMONYAK	Tehlikeli Bölge Yarıçapı:	2,5 m + 4 m
Uygun Ekipman	EX II 3G T1 IIA	Tehlikeli Bölge Sınıfı :	Bölge 1
Boşalma kaynağı:	Flanş kaçağı, dolum ağızları, nefeslik	Etkilenecek Kitle:	Tüm çalışanlar
Risk Değerlendirme Matrisi	İhtimal 3	Şiddet 4	Skor 12

Patlama yanma riskine karşı en önemli tedbirlerden biri kullanılacak ekipmanların seçimidir. Kıvılcım oluşturabilecek malzemelerden kaçınarak anti statik kıyafet ve ESD sertifikalı ayakkabı kullanılmalıdır. Seyyar malzemelerin kullanım kurallarına dair talimat oluşturularak iş yerine asılmalıdır. Ex-proof cihazların montajı ve bakımı IEC 60079-14 eğitimlerini almış personel tarafından yapılmalıdır. Bu cihazlar yılda en az bir defa IEC 60079-17 kapsamında nitel ve teknik muayeneden geçirilmelidirler. Çalışanların Patlayıcı Ortamların Tehlikelerinden Korunması Hakkında Yönetmelik EK-2 birinci madde gereğince çalışanlara patlamadan korunma eğitimi verilmelidir. Topraklama konusunda gerekli tedbirlerin alınmış olması gerekmektedir. Yapılan çalışma alanında eş potansiyel topraklama sisteminin olduğu ancak yeterli sayıda noktasal ölçüm yapılmadığı görülmüştür. Topraklama her noktadan yapılan ölçümlerin sonucuna göre raporlanmalıdır ve hangi tip elektrik topraklaması olduğu açıkça belirtilmelidir. Güvenlik talimatları ve çalışanların uymaları gereken hususlar bildirilmelidir. Bölge 1: CE belgeli ATEX'e göre bölge hesaplamaları göz önünde bulundurularak amonyak dolmuş tankeri veya tank için 2,5 metre alanda uygun elektrikli cihazlar kullanılmalıdır. Unutulmamalıdır ki iş kazaları ölüm, ağır yaralanma, yaralanma gibi insana ve iş yeri cihaz ve makinelerine zarar verme potansiyeli olan bütün istenmeyen durumları kapsamaktadır.

IV. SONUC

Endüstriyel alanlarda sıklıkla kullanılan ve ortama sızarak hava ile belirli oranlarda karışarak patlayıcı ortam oluşturan maddelerin oluşturacakları tehlikeli ortamların kapsamının önceden bilinmesi, tehlikelerin önlenmesinde önemli bir adımdır. Bu çalışmada TSE EN 60079-1 standardı kapsamında patlayıcı ortam oluşturabilen amonyak sızıntısının hesaplamaları yapılarak, amonyak tankı etrafında mevcut şartlarda meydana gelebilecek tehlikeli alanlar, bu alanların mesafeleri ve bölge sınıflandırması yapılmıştır. Bu hesaplamalar göz önünde bulunarak alınması gereken tedbirler ve kullanılacak koruyucu ekipmanların nitelikleri belirlenmiştir. Buna göre:

- Endüstriyel tesislerde, bu tür hesaplamaların yapılmadığı patlayıcı ve patlayıcı madde bulunan ortamlarda belirlenen tedbirlerin göreceli olup, teknik verilerce yetersizdir.
- Etkin bir riskin değerlendirilmesi ve patlamadan korunma belgelerinin iş yerinde bulunan patlayıcı ortamların mesafelerinin kesin hatlarla belirlenmesi ile yapılabilir.
- Tehlikeli kimyasalların oksijen ve kıvılcımla buluşması sonucu oluşan yanma/patlamalar ölümlü, ağır yaralanmalı veya ağır hasarlı kazalara neden olabilmektedir. Üretim sürecinde veya depolarda kullanılacak elektrikli ve kıvılcım çıkarıcı muhtemel ekipmanların exproof kategoride seçilmesine özen gösterilmelidir.
- Bu tür hesaplamalar, iş yerinde bulunan kimyasalın çeşidine, hacmine, bağlantılarına, bulunduğu ortamın havalandırma şartlarına ve sızıntının durumu gibi birçok değişkene bağlı olduğundan kesin sonucun her bir işletme için yerinde ve o ortama has hesaplamalarla ulaşılabileceği anlaşılmıştır.
- Yapılacak hesaplamalar sonucunda, tehlike boyutu belirlenerek alınacak güvenlik önlemleri sıralanmıştır. Bu önlemler sayesinde her an kullanılması zorunluluk olan yüksek maliyetli ex-proof özellikteki elektrik ekipmanlarının yerine az maliyetli düşük ex-proof ekipmanların kullanılabilmesi sonucuna varılmıştır.
- Yangının dağılımını engellemek için muhtemel sıvı ATEX patlamalarının önlenmesi amacıyla depolarda patlamaya dayanıklı perde beton ve ayrı binalar şeklinde bölümler oluşturulmalıdır.

V. KAYNAKLAR

[1] N. Martino, P. Feyen, M. Porro, C. Bossio, E. Zucchetti, D. Ghezzi, F. Benfenati, G. Lanzani, and M.R. Antognazza, "Photothermal cellular stimulation in functional bio-polymer interfaces", *Scientific Reports*, vol. 5, pp. 1-8, 2015.

[2] A.M. Nassimi, M. Jafari, H. Farrokhpour, and M.H. Keshavarz, "Constants of explosive limits",

Chemical Engineering Science, vol. 173, pp. 384–389, 2017.

[3] T. Ma, Q. Wang, and M.D. Larrañaga, "Correlations for estimating flammability limits of pure fuels and fuel-inert mixtures", *Fire Safety Journal*, vol. 56, pp. 9–19, 2013.

[4] F. Van den Schoor, F. Norman, K. Vandermeiren, F. Verplaetsen, J. Berghmans, and E. Van den Bulck, "Flammability limits, limiting oxygen concentration and minimum inert gas/combustible ratio of H₂/CO/N₂/air mixtures", *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 34, pp. 2069–2075, 2009.

[5] G. Shu, B. Long, H. Tian, H. Wei, and X. Liang, "Evaluating upper flammability limit of low hydrocarbon diluted with an inert gas using threshold temperature", *Chemical Engineering Science*, vol. 138, pp. 810–813, 2015.

[6] H. Miao, L. Lu, and Z. Huang, "Flammability limits of hydrogen-enriched natural gas", *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 36, pp. 6937–6947, 2011.

[7] Ö. A. Uslu "Endüstriyel tesislerdeki yanıcı, parlayıcı kimyasal sıvıların atmosfer patlamalarının (atex) teorik ve uygulamalı olarak hesap edilerek önlemlerinin belirlenmesi" Yüksek Lisans Tezi, Kimya Bölümü, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, Türkiye, 2019.

[8] P.L. Barros, A.M. Luiz, C.A. Nascimento, A.T.P. Neto, and J.J.N. Alves, "On the non-monotonic wind influence on flammable gas cloud from CFD simulations for hazardous area classification", *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, vol. 68, pp. 104278, 2020.

[9] Wikipedia. (2020). Amonyak [Çevrimiçi]. Erişim: <https://tr.wikipedia.org/wiki/Amonyak>,

[10] *Patlayıcı Ortamlar - Bölüm 10-2: Alanların Sınıflandırılması - Patlayıcı Tozlu Ortamlar Standardı*, Türk Standartları Enstitüsü TS EN 60079-10-2, 2015.

[11] European Union. "On minimum requirements for improving the safety and health protection of workers potentially at risk from explosive atmospheres EU Directive", *Official Journal of the European Communities*, L23.No. 1999/92/EC, Dec. 16,1999.

[12] Çalışanların patlayıcı ortamların tehlikelerinden korunması hakkında yönetmelik, *T.C. Resmi Gazete*, Sayı: 28633, 30 Nisan 2013.

[13] T. G. Rodrigues, "A software application to define and rank atex zones" M.S thesis, Faculdade de Engenharia da (Faculty of Engineering), Universidade do Porto (The University of Porto), Portugal, 2016.

[14] M. Hanefi Calp, ve M. Ali Akcayol, "Teknokent'lerde geliştirilen yazılım projelerinin risk analizi ve başarı düzeyleri", *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 4, ss. 293–304, 2016.

[15] ALOHA Software, *Bilgisayar Programı*, WINDOWS versiyon, O. US EPA, , United States Environmental Protection Agency2016.

[16] *Patlayıcı ortamlar - Bölüm 10-1: Alanların sınıflandırılması-Patlayıcı gaz ortamları Standardı*, Türk Standartları Enstitüsü TS EN 60079-10-1, 2015

[17] M.M. Van der Voort, R.M.M. van Wees, J.M. Ham, M.P.N. Spruijt, A.C. van den Berg, P.C.J. de Bruijn, and P.G.A. van Ierschot, "An experimental study on the temperature dependence of CO₂ explosive evaporation", *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, vol. 26, pp. 830–838, 2013.



- [18] E.E. Layık, "Gıda sektöründe toz patlamalarının araştırılması ve patlamadan korunma dokümanının hazırlanması bir uygulama örneği"İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi,T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye, 2016.
- [19] U. Mevlevioğlu, M.A.N. Kadirgan ve G. Alev Çiftçioğlu, "Kimya endüstrilerinde patlama ve yangınların önlenmesi ve ilgili vaka çalışmaları", *International Journal of Advances in Engineering and Pure Sciences*, c. 1, s.. 36–46, 2019.
- [20] J. Telmo Miranda, E. Muñoz Camacho, J.A. Fraguera Formoso, and J. de D. Rodríguez García, "Comparative study of the methodologies based on Standard UNE 60079/10/1 and computational fluid dynamics (CFD) to determine zonal reach of gas-generated Atex explosive atmospheres", *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, vol. 26, pp. 839–850, 2013.
- [21] F. Ferrero, R. Meyer, M. Kluge, V. Schröder, and T. Spoomaker, "Study of the spontaneous ignition of stoichiometric tetrafluoroethylene-air mixtures at elevated pressures", *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, vol. 26, pp. 759–765, 2013.
- [22] M.H. Keshavarz, S. Moradi, A.R. Madram, H.R. Pouredal, K. Esmailpour, and A. Shokrolahi, "Reliable method for prediction of the flash point of various classes of amines on the basis of some molecular moieties for safety measures in industrial processes", *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, vol. 26, pp. 650–659, 2013.
- [23] S. Lyu, S. Zhang, X. Huang, S. Peng, and J. Li, "Investigation and modeling of the LPG tank truck accident in Wenling, China," *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 157, pp. 493–508, 2022.
- [24] H. Shao, and G. Duan, "Risk quantitative calculation and ALOHA simulation on the leakage accident of natural gas power plant," *Procedia Engineering*, vol. 45, pp. 352–359, 2012.
- [25] J.L. Orozco, J. Van Caneghem, L. Hens, L. González, R. Lugo, S. Díaz, and I. Pedroso, "Assessment of an ammonia incident in the industrial area of Matanzas," *Journal of Cleaner Production*. vol. 222, pp. 934–941, 2019.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Aktif Karbon Katkılı Çimentolu Yonga Levhanın Bazı Teknolojik Özelliklerinin Belirlenmesi

 Gonca DÜZKALE SÖZBİR ^{a,*},  Müberra DEMİRBÜK ^b

^a Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, K.Maraş, TÜRKİYE

^b Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, K.Maraş, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: goncaduzkale@ksu.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1121838

Öz

İnşaat sektörünün malzemeye olan talebi her geçen gün artmakta ve kullanım yerindeki ihtiyaçları sürekli çeşitlenmektedir. Malzemelerin kullanım yerinde dayanıklılığının fazla olması, uzun süre kullanım sağlaması ayrıca kullanım ömrünü tamamladıktan sonra çevreye zararlı atık yükü oluşturmaması önem taşımaktadır. Odun-çimento kompozit levhalar, reçine esaslı levhalarla karşılaştırıldığında, yangına karşı yüksek mukavemet, yüksek yalıtım, mantar ve böceklere karşı yüksek direnç özellikleri göstermesi nedeniyle üstünlük sağlamaktadır. Yapılan çalışmada, %15 ve %25 oranlarında kavak odunu yongası ve katkı maddesi olarak aktif odun karbonu %2.5, %5 ve %10 oranlarında eklenerek çimentolu yonga levhalar elde edilmiş ve üretilen levhalar üzerinde hem hammadde miktarının hem de farklı oranlarda kullanılan aktif odun karbonu katkısının teknolojik özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Her bir levha parametresi üzerinde tam kuru yoğunluk, hava kurusu yoğunluk, su alma (2 saat ve 24 saat), kalınlığına şişme (2 saat ve 24 saat), eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, çivi ve vida tutma dirençleri belirlenmiştir. Çalışmanın sonucunda, odun hammaddesi miktarı arttıkça, tam kuru ve hava kurusu yoğunluk değerinin azaldığı, su alma ve kalınlığına şişme miktarının yükseldiği belirlenmiştir. Levhalar içerisinde aktif karbon miktarı arttıkça, yoğunluk değerinin azaldığı, su alma miktarının arttığı tespit edilmiştir. Odun yongası miktarının azalması tüm direnç değerlerinin artmasına ve aktif karbon miktarının artması vida ve çivi tutma direnci, eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü değerini arttırdığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kavak, Çimento, Aktif karbon, Levha

Determination of Some Technological Properties of Activated Carbon-added Cementitious Particle Board

ABSTRACT

The demand of the construction industry for materials is increasing day by day and the needs for material usage areas are constantly diversifying. It is important that the material has a high durability at the place of use, provides long-term use, and does not create a waste load that is harmful to the environment after the end of its useful life. Cemented wood boards are superior to resin-based boards due to their high resistance to fire, high insulation, high resistance to fungi and insects. In our study, as a raw material, poplar wood chips were added at the rates of 15% and 25%, and as an additive, active wood carbon was added at the rates of 2.5%, 5% and 10%, and cement board was obtained. The effect of both the amount of raw material and the active wood carbon additive used in different ratios on the produced cemented particle boards were investigated. Oven dry density, air dry density, water uptake (2 hours and 24 hours), thickness swelling (2 hours and 24 hours), bending strength, modulus of elasticity, nail and screw holding strengths were determined. As a result of the study, it was determined that as the amount of raw

material increased, the oven dry and air-dry density values decreased, and the water uptake and thickness swelling values increased. It was determined that as the amount of activated carbon increased according to the amount of raw material, the density value decreased and the amount of water intake increased. The decrease in the amount of wood raw material increased all resistance values and the increase in the amount of activated carbon increased the screw and nail holding resistance, bending resistance, and modulus of elasticity.

Keywords: Poplar wood, Cement, Activated Carbon, Board

I.GİRİŞ

1900'lü yılların başlarında odun ile bağlayıcı olarak mağnezit kullanılarak kompozit üretilmiş ve 1920'lerde, portland çimentosunun piyasaya sürülmesinden sonra, çimento bağlayıcı olarak mağnezitin yerini almış ve bu da ahşap-yünü çimento levhasının gelişmesine neden olmuştur [1]. Yüksek gözenekli malzeme yapısının ve düşük yoğunluğun (400-600 kg/m³) kazandırdığı yüksek ısı yalıtımı ve ses emici özellikleri nedeniyle levhalar tercih edilir hale gelmiştir. Ayrıca çimento bağlayıcılığı organik lifler, biyolojik bozulmaya [2] ve yangına [3] karşı yüksek dirence sahip özelliktedir. Bu nedenle levhalar hem binalarda hem de yapılarda çatı ve tavan malzemesi olarak veya yüksek dayanıklılık ve az bakım gerektiren dış duvar olarak da uygulanmıştır. Dünyada farklı tipte çimentolu levha üretimi gerçekleştirilmektedir. Bunların %48'ini çimentolu lif levha, %28'ini çimentolu odun yünü levha, %18'ini çimentolu yonga levha ve %6'sını çimentolu yönlendirilmiş yonga levha oluşturmaktadır [4].

Yapılan birçok çalışmada, çimentolu yonga levhanın içerisine eklenen katkı maddeleri, odun yongası türleri ve miktarları ayrıca farklı tipteki sertleştirici ve oranları üzerinde birçok araştırma yapılarak, levhanın fiziksel, mekanik ve teknolojik özellikleri değerlendirilmiştir. Bunlar içerisinde; içme suyu atık çamuruna kızılgaç ve ladin odunu katılarak levha özelliklerinin incelenmesi, farklı oranlarda kavak odunu yongaları kullanarak üretilen levha içerisine eklenen kalsiyum klorürün levha özelliklerine etkisi, pomza tozu ve akışkanlaştırıcı kullanımının levha özelliklerine etkisi, farklı odun türü kullanılarak üretilen levha içerisine eklenen silis dumanının etkisi, portland çimentosu ve kavak yongalarının uyumluluğu üzerine yapılan çalışmalar bunlardan sadece bir kaçısı olmaktadır [5,6,7,8,9,10,11].

Aktif kömür olarak da adlandırılan aktif karbon, yüzey alanını artıran küçük, düşük hacimli gözeneklere sahip olmak için işlenen bir karbon şeklidir [12]. Son yıllarda aktif karbon, çimento takviyesi olarak da olumlu bir ilgi görmüştür. Yapılan çalışmalarda, aktif karbonun çimentoda nem direncini arttırdığı ve nem saldırıları riskini azalttığı [13], betondaki hava içeriğini azalttığı, dayanım artışına yol açtığı [14] ve aktif karbonun betondaki radon soluma oranını azalttığı [15] bildirilmiştir.

Yapılan çalışmada, çimentolu yonga levha içerisine eklenen aktif karbonun, levhanın direnç özelliklerini arttırması amaçlanarak, levhanın teknolojik özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir. Bu amaç için levha taslağı iki farklı oranda kavak odun yongası ve katkı maddesi olarak çimento miktarının %2.5, %5 ve %10 oranlarında aktif odun karbonu kullanılarak üretilmiştir. Levhaların, yoğunluk, su alma, kalınlığına şişme, çivi ve vida tutma direnci, eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü değeri üzerine etkileri ortaya koyulmuştur.

II.MATERYAL VE METOT

A.MATERYAL

Deneme levhaları üretiminde kullanılan kavak odunu tomruğu Kahramanmaraş odun sanayisinden temin edilmiştir. Levha üretiminde kullanılan Portland 42,5 çimentosu Kahramanmaraş Kipaş Çimento Sanayi Tic. AŞ.' den satın alınmıştır. Çimentolu levha üretiminde kullanılan odun bazlı aktif karbon, Tarkim Carbon şirketinden Carbon-300 kodu ile elde edilmiştir. Sertleştirici olacak kalsiyum klorür (CaCl₂) kullanılmıştır.

B.METOT

Kavak odunu tomruğu 1-1.5 cm genişlik ve 2-3.5 cm uzunlukta yongalar elde edilecek şekilde planya makinasında işlenmiştir. Her bir parametrede kullanılacak kavak odunu yongaları hava kuru rutubette olup, rutubeti %20 ye kadar çıkartılmış ve çimento ile bağlanmayı kolaylaştırması amaçlanmıştır. Levha üretimi için belirlenen miktarlarda alınan çimento, aktif karbon, su ve sertleştirici kalsiyum klorür (500 ml su içerisinde çözdürülerek kullanılmıştır) eşit bir şekilde dağılıncaya kadar karıştırılmış, daha sonra karışıma kavak odunu yongaları ilave edilerek tekrar eşit karışım sağlanıncaya kadar karıştırma işlemine devam edilmiştir. Üretimde kullanılan çimentolu yonga levha parametreleri ve miktarları Tablo 1.de gösterilmiştir.

Tablo 1. Aktif Karbon katkılı çimentolu yonga levhalarının üretim parametreleri

Parametreler	Kavak Odun Miktarı (%)	Odun Miktarı (gr)	Çimento Miktarı (gr)	Su Miktarı (%)	Sertleştirici Miktarı (%)	Aktif Karbon (%)	Aktif Karbon (gr)
X	25	750	3000	55	3	0	0
X _{2,5C}	25	750	2925	55	3	2,5	75
X _{5C}	25	750	2850	55	3	5	150
X _{10C}	25	750	2700	55	3	10	300
Y	15	450	3000	55	3	0	0
Y _{2,5C}	15	450	2925	55	3	2,5	75
Y _{5C}	15	450	2850	55	3	5	150
Y _{10C}	15	450	2700	55	3	10	300

Levha taslağı paslanmaz metal saç üzerine, 500×500 mm ebatlarında ahşap kalıbı kullanılarak pres sonrası 18mm kalınlıkta çimentolu yonga levha oluşacak şekilde hazırlanmıştır. Levha taslağı yaklaşık 2 kg/cm² basınç altında soğuk preslemeye tabi tutulmuş ve ardında işkence altında tutularak bekletilmiştir. DIN 1164 [16] 'e göre çimentolu yonga levhanın reaksiyon süresi 28 gün de tamamlanmaktadır. Bu nedenle levhalar işkence baskısı altında, oda şartlarında 28 gün dinlendirilerek yeterli mukavemete ulaşması sağlanmıştır. Deney örnekleri bu aşamadan sonra ilgili standartlara göre test örnekleri hazırlanmıştır.

Deney örnekleri ilgili standartlarda belirtilen şartlara uygun olarak yapılmıştır. Hazırlanan tüm deney örnekleri test kabini içerisinde %65±5 bağıl nem ve 20±2 sıcaklıkta 7 gün süreyle denge rutubetine getirilmiştir. Deney levhalarının yoğunlukları TS EN 323 standardına göre belirlenmiştir [17]. Aşağıda verilmiş olan 1 no'lu formül ile hesaplanmıştır.

$$d = \frac{g}{a \times b \times c} \quad (1)$$

d = Yoğunluk (g/cm³)

g = Ağırlık (g)

a = Örnek genişliği (cm)

b = Örnek uzunluğu (cm)

c = Örnek kalınlığı (cm)'dir.

Su alma miktarı ASTM D1037 standardında belirtilen esaslara uygun olarak gerçekleştirilmiştir [18]. Aşağıda verilmiş olan 2 no'lu formül ile hesaplanmıştır.

$$\%SA = \frac{Gy - Gx}{Gx} \times 100 \quad (2)$$

Burada;

SA : Su alma miktarı (%)

Gx : Örneğin ilk ağırlığı (g)

Gy : Örneğin suda bekletildikten sonraki ağırlığı (g)'dir.

Kalınlığına şişme miktarı TS EN 317 standardına göre belirlenmiştir [19]. Aşağıda verilmiş olan 3 no'lu formül ile hesaplanmıştır.

$$\%KA = \frac{Ay-Ax}{Ax} \times 100 \quad (3)$$

Burada;

KA : Örneğin kalınlık artışı oranı (%)

Ay : Suda bekletilen örneklerin kalınlığı (mm)

Ax : Klimatize edilmiş durumdaki örnek kalınlığı (mm)'dir

Eğilme direnci değeri TS EN 310 standardına uygun olarak yapılmıştır. Aşağıda verilmiş olan 4 no'lu formül ile hesaplanmıştır.

$$\sigma E = \frac{3xFL}{2xaxc^2} \quad (4)$$

Burada;

σE : Eğilme direnci (N/mm²)

F : Kırılma anındaki maksimum kuvvet (N)

L : Dayanak noktaları arasındaki açıklık (mm)

a : Örnek kalınlığı (mm)

c : Örnek genişliği (mm)'dir.

Eğilmede elastikiyet modülü değeri TS EN 310 standartlarına göre belirlenmiştir. Aşağıda verilmiş olan 5 no'lu formül ile hesaplanmıştır.

$$E = \frac{FL}{4x\Delta excxa^3} \quad (5)$$

Burada;

E : Eğilmede elastikiyet modülü (N/mm²)

F : Deformasyonu sağlayan kuvvet (N)

L : Dayanaklar arasındaki açıklık (mm)

c : Örnek genişliği (mm)

a : Örnek kalınlığı (mm)

Δe : Eğilme miktarı (sehim) (mm)'dir.

Çivi tutma direnci, TS EN 13446 [20] standardına göre belirlenmiştir. Çalışmada, 3 mm çapında ve 60 mm uzunluğunda çiviler, 4 mm çapında ve 50 mm boyunda vidalar kullanılmıştır. Vida ve çivi tutma direnci belirlenirken, levha kalınlığı ve çivi/vida çapı dikkate alınarak hesaplama yapılmıştır.

$$V \sim \zeta = \frac{A \max}{bxlp} \quad (6)$$

Burada;

$V \sim \zeta$ = Çivinin geri çekilmeye karşı gösterdiği direnç (N/mm²)

lp = Bağlayıcının girme derinliği (mm),

b = İmalâtçı tarafından verilen çap (mm),

$A \max$ = En büyük geri çıkma yükü (N) 'dür.

Elde edilen veriler SPSS paket programı kullanılarak istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Çimentolu yonga levhaya aktif karbon ilavesinin ve odun hammaddesi miktarının, levha özelliklerini nasıl etkilediği, elde edilen sonuçlar arasında istatistiksel farklılıkların olup olmadığı tek yönlü ANOVA analizi (%95 güven aralığında) ve gruplar arasındaki farklılık Duncan testi uygulanarak belirlenmiştir.

III.BULGULAR VE TARTIŞMA

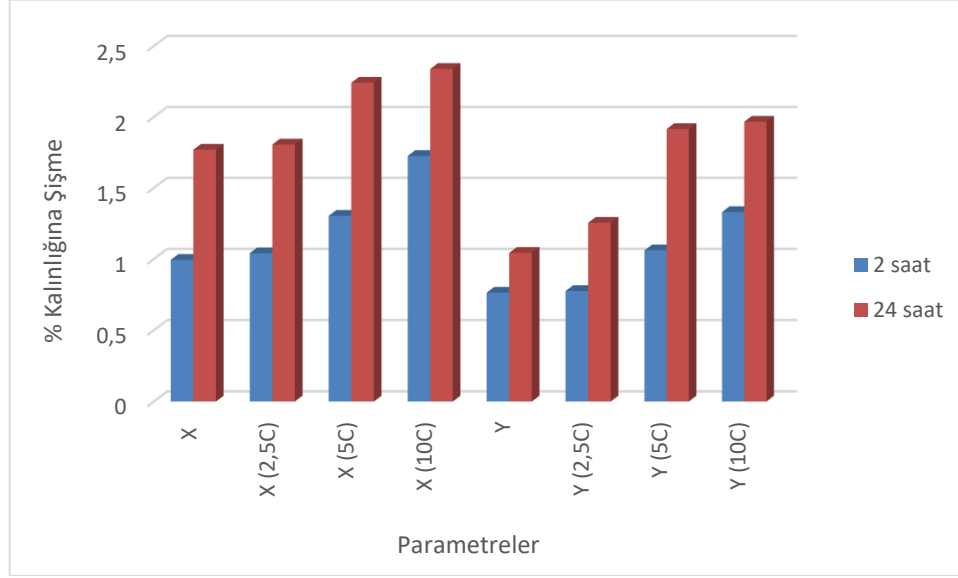
Çimentolu yonga levhaların tam kuru yoğunluk, hava kurusu yoğunluk, 2 saat ve 24 saat su alma miktarları Tablo 2’de gösterilmiştir. Tam kuru yoğunluk, Hava kurusu yoğunluk ve su alma değerleri incelendiğinde, levha parametreleri arasındaki fark istatistiki olarak önemli bulunmuştur ($p < 0.001$). İki farklı kavak odunu oranında üretilen levhalar içerisinde aktif karbon katkı miktarı arttıkça tam kuru ve hava kurusu yoğunluk miktarı azalmıştır. Bunun sebebinin yoğunluğu yüksek çimento yerine yoğunluğu düşük aktif karbon katkısı kullanılması ayrıca miktar arttıkça, birim hacme düşen madde azalmış ve bunun sonucu olarak yoğunluk azalmıştır. %25 kavak odunu yongası katılan levhalar, %15 odun yongası katılan levhalara göre daha düşük yoğunluk değeri tespit edilmiştir. Yoğunluktaki azalmaya, yüksek miktarda katılan yongaların hacminde meydana gelen artış neden olmuştur. Her ne kadar eşit pres basıncı uygulansa da bu duruma odun/çimento oranından kaynaklı, sıkıştırma faktöründeki farklılıklar neden olmuştur [21]. Birçok araştırmacı da, odun oranının farklı oranlarda kullanılması ile ne kadar eşit pres basınca uygulanırsa uygulanırsa sıkıştırma faktöründe farklılığa neden olduğu ile ilgili benzer sonuçlar elde etmiştir. [22, 23, 24, 25]. Su alma değerlerine bakıldığında, higroskopik yapıda olan lignoselülozik hammadde miktarı arttıkça su alma miktarı artmıştır [30]. Bu nedenle %25 oranında odun yongası eklenerek üretilen çimentolu levhanın su alma miktarı, %15 oranında katılanlardan daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Genel olarak bakıldığında aktif karbon miktarı arttıkça, levhaların su alma miktarları artmıştır. Bunun sebebinin aktif karbonun birim kütlesi başına düşen geniş yüzey alanı, emiciliğinin artması neden olmuştur [27, 28].

Tablo 2. Çimentolu yonga levhaların fiziksel özelliklerine ait değerler

Levha Parametreleri	Tam kuru yoğunluk (g/cm^3)	Hava kurusu yoğunluk (g/cm^3)	Su alma 2 saat (%)	Su alma 24 saat (%)
X	0,922 B* (0,09)**	1,009 BC (0,11)	31,20 B (2,5)	34,46 C (6,08)
X _{2,5C}	0,916 B (0,09)	0,987 BC (0,08)	32,02 BC (2,8)	34,71 C (3,59)
X _{5C}	0,906 B (0,09)	0,963 B (0,08)	33,13 BC (4,1)	36,00 C (4,67)
X _{10C}	0,806 A (0,09)	0,852 A (0,1)	34,50 C (4,3)	43,88 D (7,54)
Y	1,066 D (0,09)	1,156 E (0,09)	22,17 A (2,3)	23,01 A (1,96)
Y _{2,5C}	1,005 C (0,07)	1,088 DE (0,08)	23,36 A (0,8)	26,78 A (1,36)
Y _{5C}	0,971 BC (0,07)	1,061 CD (0,09)	24,55 A (1,1)	28,14 A (4,86)
Y _{10C}	0,920 B (0,07)	1,003 BC (0,09)	32,47 BC (4,9)	33,80 C (4,96)
<i>p value</i>	<i>p < 0.001</i>	<i>p < 0.001</i>	<i>p < 0.001</i>	<i>p < 0.001</i>

(*)Homojenlik gruplarını, (**) Standart sapma değerlerini gösterir.

Şekil 1 de levha üretim parametreleri incelendiğinde, yüzde kalınlığına şişme miktarı en fazla olan parametre X grubu örnekleridir. X grubu örnekleri içerisindeki kavak odun yongası miktarı fazla olduğu için 2 saat ve 24 saat sonundaki su alma miktarı artmış, buna bağlı olarak da kalınlık artışı gerçekleşmiştir. Aktif karbon miktarı arttıkça hem X grubu örneklerde hem de Y grubu örneklerde kalınlık miktarında artış belirlenmiştir. TS EN 634-2 standardına göre [31], maksimum kalınlığına şişme miktarı 24 saat için %1,5 olarak belirtilmiştir. Buna göre, sadece Y ve Y_{2,5C} parametrelerinin 24 saat su alma oranları standartı karşılamaktadır. Diğer levha grupları ise standart dışı kalınlığına şişme değerleri verdiği saptanmıştır.



Şekil 1. Çimentolu yonga levhaların (%) yüzde kalınlığına şişme değerleri

Vida ve çivi tutma direnci, eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü değerleri incelendiğinde levha parametreleri arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0.001$) (Tablo 3). Hem vida tutma direnci değeri hem de çivi tutma direnci değeri en yüksek hem X grubu hem de Y grubu örneklerde, %5 ve %10 karbon katkı levhalardan elde edilmiştir. Her iki kavak odunu oranında da aktif karbon katkısı vida ve çivi tutma direncini arttırmıştır. Aktif karbon, çimento içerisindeki hava boşluğu oranını azaltmaktadır [14]. Bu direnç artışının, aktif karbonun çimento içerisindeki hava boşluğu oranını azalttığı için mukavemeti arttırmış olduğu düşünülmektedir.

Tablo 3. Çimentolu yonga levhaların mekanik özelliklerine ait değerler

Levha Parametreleri	Vida Tutma Direnci (N/mm^2)	Çivi Tutma Direnci (N/mm^2)	Eğilme Direnci (N/mm^2)	Elastikiyet Modülü (N/mm^2)
X	7,27 A* (1,8)**	5,49 A (0,4)	0,88 A (0,3)	468 A (186)
X _{2,5C}	8,04 AB (1,2)	5,95 AB (0,6)	1,04 A (0,5)	690 AB (413)
X _{5C}	12,44 CD (3,4)	7,46 BC 1,3	1,21 AB (0,4)	714 AB (298)
X _{10C}	12,80 CD (3,0)	9,23 DE (2,4)	1,59 AB (0,5)	1140 BC (272)
Y	9,65 AB (1,8)	6,73 ABC (1,2)	1,54 AB (1,0)	1279 CD (863)
Y _{2,5C}	10,35 BC (1,7)	7,55 BC (1,72)	1,83 B (1,0)	1426 CD (743)

Y_{5C}	12,38 CD (3,4)	7,72 CD (1,7)	1,92 B (0,8)	1606 CD (571)
Y_{10C}	14,60 D (3,9)	10,43E (2,9)	2,82 B (1,0)	1773 D (422)
<i>p value</i>	$p < 0.001$	$p < 0.001$	$p < 0.001$	$p < 0.001$

(*)Homojenlik gruplarını, (**) Standart sapma değerlerini gösterir.

Y grubu levhaların, X grubu levhalara göre eğilme direnci değerleri yüksek bulunmuştur. İki farklı miktarda odun yongası içeren levhalarda da aktif karbon miktarı arttıkça, eğilme direnci değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. Y grubu levhaların X grubu levhalara göre tüm direnç değerlerinin daha yüksek olmasının nedeni çimento miktarındaki değişime bağlı olarak hacim farklılıkları dolayısıyla sıkıştırma faktöründeki farklılıkların neden olduğu düşünülmektedir. 1/2 odun- çimento oranıyla üretilen levhaların 1/3 odun-çimento oranıyla üretilen levhalara göre daha düşük değerler verdiği bildirilmiştir [29]. Bu durum Y grubu ve X grubu arasındaki farklılığı açıklamaktadır. [30] yaptığı çalışmada, Akkavak odunu %50 ve %33 oranında kullanarak üretilen çimentolu yönlendirilmiş yonga levhaların eğilme dirençlerini sırasıyla, 12.25 N/mm² ve 8.27 N/mm² olarak tespit etmişlerdir. Bu değerler, X ve Y grubu levhalarıyla karşılaştırıldığında, oldukça düşük bulunmuştur. Bunun sebebinin levhalar içerisindeki odun miktarının az olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Aktif karbon hem X grubu hem de Y grubu örnekler üzerinde eğilme elastikiyet modülü değerini arttırdığı belirlenmiştir. Bu durumun nedeni eğilme direncinde de olduğu gibi aktif karbonun çimento içerisindeki hava boşluğu oranını azalttığı için mukavemeti arttırmış olduğu düşünülmektedir [14]. TS EN 634-2 standardında [31], çimentolu yonga levhaların sahip olması gereken minimum eğilme direnci 9 N/mm², eğilme elastikiyet modülü değerini 3000 N/mm² olarak belirtilmiştir. Genel olarak eğilme ve eğilme elastikiyet modülü değerlerine bakıldığında her iki direnç değeri de standart değerinin altında kalmıştır. Bunun nedeninin odun/çimento oranının genel üretim oranından (1/2-1/3) daha az olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tablo 4. Çimentolu yonga levhalarının kontrol gruplarına göre (X ve Y) yüzde değişim oranları

NO	D ₀	D ₁₂	SA 2 sa.	SA 24 sa.	KŞ 2 sa.	KŞ 24 sa.	VTD	ÇTD	ED	EM
X _{2,5C}	-0,64	-2,23	2,61	0,73	34,39	43,86	10,67	8,32	18,18	47,44
X _{5C}	-1,74	-4,55	6,18	4,47	68,36	78,58	71,10	35,79	37,50	52,55
X _{10C}	-12,57	-15,61	10,58	27,34	71,80	86,33	76,11	89,91	80,68	143,49
Y _{2,5C}	-5,67	-5,83	5,34	16,34	30,32	69,66	7,25	12,19	18,58	11,48
Y _{5C}	-8,85	-8,24	10,74	22,27	39,05	83,56	28,33	14,71	24,56	25,57
Y _{10C}	-13,70	-13,19	46,46	46,88	126,21	88,51	51,29	37,12	83,24	38,65

D₀ -Tam kuru yoğunluk, D₁₂ -Hava kurusu yoğunluk, SA -Su alma, KŞ -Kalınlığına şişme, VTD -Vida tutma direnci, ÇTD -Çivi tutma direnci, ED -Eğilme Direnci, EM - Eğilmede elastikiyet modülü.

Tablo 4 incelendiğinde X parametreleri içerisinde, X kontrol grubuyla karşılaştırıldığında levha içerisindeki aktif karbon miktarı arttıkça levha özelliklerinden en çok değişim X_{10C} parametrelili levhada belirlenmiştir. Mekanik özellikler içerisinde en fazla artış, eğilme elastikiyet modülü değerinde %143 olarak, fiziksel özelliklerden en fazla azalma yoğunluk değerlerinde tespit edilmiştir. Y parametreleri içerisinde, Y kontrol grubuyla karşılaştırıldığında en fazla değişim Y_{10C} parametrelili levhada tespit edilmiştir. En fazla artış mekanik özelliklerden eğilme direncinde %83 ve fiziksel özelliklerden en çok azalma yoğunluk değerlerinde bulunmuştur.

IV. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yaptığımız çalışmada, ahşabın dezavantajlarının (fiziksel, mekanik ve biyolojik olarak bozulması) çimentonun üstün özellikleri ile birleştirilerek elde edilen bu yeni malzemede, aktif odun karbonu katkısının ve hammadde miktarının malzeme üzerine olan etkileri ortaya koyulmuştur. Çalışmanın sonucuna göre;

Çimentolu yonga levhaya eklenen farklı oranlardaki hammadde ve aktif karbonun kompozit levhası üzerine tam kuru ve hava kuru yoğunluk, 2 saat su alma, 24 saat su alma, vida tutma direnci, eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü değeri üzerine istatistiki olarak anlamlı etkisi olduğu belirlenmiştir ($p < 0.001$).

Çimentolu levha içerisine eklenen kavak odunu yongası miktarı arttıkça, yoğunluk değerlerinin (Tam kuru ve hava kuru) azaldığı, 2 saat-24 saat su alma miktarının ve kalınlığın arttığı tespit edilmiştir. Hem %15 hem de %25 kavak yongası içeren çimentolu yonga levhalarda aktif karbon miktarı arttıkça levhaların yoğunluk, su alma ve kalınlık artımı değerlerinin de arttığı gözlenmiştir.

Levha parametrelerinde en yüksek vida tutma direnci, çivi tutma direnci, eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü değerleri kavak odunu hammaddesi miktarı azaldıkça sağlanmıştır. Bununla birlikte aktif odun karbonunun miktarının artmasıyla tüm direnç değerleri yükselmiştir.

Levha parametrelerinin her biri kendi grupları ile yüzde değişimleri karşılaştırıldığında (X ve Y kendi içinde kıyaslandığında) tam kuru yoğunluk değerinde en fazla azalma Y_{10C} de %13,7, hava kuru yoğunluk değerinde X_{10C} de %15,61 olarak elde edilmiştir. KŞ ve SA değişimindeki artış en fazla Y_{10C} de %46 ve %88 olarak hesaplanmıştır. VTD ve ÇTD değerinde en çok artış X_{10C} de %76 ve %89,91 olarak bulunmuştur. ED değerinde Y_{10C} parametresinde %83 ve EM de X_{10C} parametresinde %143 olarak artış tespit edilmiştir.

TEŞEKKÜR: Bu çalışma KSÜ BAP tarafından, 2021/6-13 YLS numaralı proje ile desteklenmiştir. Bu desteğinden dolayı KSÜ BAP birimine teşekkür ediyoruz. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Mobilya ve Dekorasyon programı atölyesine ve Orman Fakültesi Ağaç Teknolojisi Laboratuvarına altyapı olanaklarını sunmalarından dolayı teşekkür ederiz.

V. KAYNAKLAR

- [1] I.N.G.E.J.B. Van Elten, "Cement bonded particle board (CBPB) and wood strand cement board (Eltoboard): production, properties and applications," In 10th Inter. *Inorganic Bonded Fiber Composites Conference*, Sao Paulo, Brazil, 2006.
- [2] C. Pereira, F.C. Jorge, M. Irle, and J.M. Ferreira, "Characterizing the setting of cement when mixed with cork, blue gum, or maritime pine, grown in portugal I: temperature profiles and compatibility indices," *Journal of Wood Science*, vol 52, no 4, pp. 311, 2006.
- [3] B. Na, Z. Wang, H. Wang, and X.L. Nanjing, "Wood-cement compatibility review," *Wood Research*, vol 59, no 5, pp. 813-826, 2014.
- [4] A. Saunders and E. Davidson.(2014, March10). www.globalcement.com (*Cement boards 101global cement magazine*) [Online]. Available: <http://www.globalcement.com>, 2014.
- [5] M. Aslan, "İçme suyu atık çamurunun çimentolu yonga levha üretiminde kullanımı," Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, KTÜ, Trabzon, Türkiye, 2007.

- [6] S.R. Karade, "Cement-bonded composites from lignocellulosic wastes," *Construction and Building Materials*, vol. 24, pp. 1323–1330, 2010.
- [7] A. Ashori, T. Tabarsa, and S. Sepahvand, "Cement-bonded composite boards made from poplar strands," *Constr. Build. Material*, vol. 26, pp. 131-134, 2011.
- [8] H. Kalaycıglu, H. Yel, and A. Çavdar, "Çimentolu odun yünü kompozitleri ve kullanım alanları," *Kastamonu Üni., Orman Fakültesi Dergisi*, c. 12, s. 1, ss. 122-133, 2012.
- [9] U. Aras, "Pomza tozu ve akışkanlaştırıcı kullanımının çimentolu yonga levhaların bazı özelliklerine etkisi," Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, KTÜ, Trabzon, Türkiye, 2013.
- [10] H. Yel, "Bazı üretim faktörlerinin çimentolu yonga levhaların özellikleri üzerine etkileri," Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye, 2015.
- [11] Y. Yang and X. Li, "Study on compatibility of poplar wood and portland cement," *Construction and Building Materials*, vol. 314, pp. 125586, 2022.
- [12] M. D.S. Swaroop, and G. P.A. Raj, "Experiment on concrete containing with activated carbon and nano-fly ash, nano metakaolin," *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE)*, vol. 8, no 6S4, 2019.
- [13] B. Chowdhury, "Investigations into the role of activated carbon in a moisture-blocking cement formulation," *J. Therm. Anal. Calorim.*, vol. 78, pp. 215–226, 2004.
- [14] M. Mahoutian, A.S. Lubell, and V.S. Bindiganavile, "effect of powdered activated carbon on the air void characteristics of concrete containing fly ash," *Constr. Build. Mater.*, vol. 80, pp. 84–91, 2015.
- [15] Y.G. Zhang, Y. Wang, C.Y. Yang, G.Q. Li, and H.C. Yan, "Study on the reduction of radon exhalation rates of concrete with different activated carbon," *Key Eng. Mater.*, vol. 726, pp. 558–563, 2017.
- [16] Special cement - Part 11: Composition, specification and conformity evaluation for cement with short setting time, DIN 1164-11 Standard, 2003.
- [17] *Ahşap esaslı levhalarda birim hacim ağırlığının tayini*. Türk Standartlar Enstitüsü TS EN 323, 1999.
- [18] *Standard test method for evaluating properties of wood-based fibres and particle panel materials*. ASTM D 1037, 2006.
- [19] *Yonga levhalar ve lif levhalarda su içerisine daldırma işleminden sonra kalınlığına şişme tayini*. TS EN 317, 1999.
- [20] *Ahşap esaslı levhalarda bağlayıcıların geri çıkma kapasitesinin tayini*. TS EN 13446, 2005.
- [21] A.A. Moslemi, and S.C. Pfister, "The Influence of cement-wood ratio and cement type on bending strength and dimensional stability of wood- cement composite panels," *Wood Fiber Science*, vol. 19, pp. 165-175, 1987.
- [22] E.Y.A. Okino, M.R. De Souza, M.A.E. Santana, M.V.A Alves, M. E. De Sousa, and D.E. Teixeira, "Physico-mechanical properties and decay resistance of cupressus spp. cement-bonded particleboards," *Cement & Concrete Composites*, vol. 27, pp. 333–338, 2005.

- [23] R. Sudin, and N." Swamy bamboo and wood fibre cement composites for sustainable infrastructure regeneration," *Journal of Materials Science*, vol. 41, pp. 6917–6924, 2006.
- [24] M.L. Maminski, M.E. Krol, W. Jaskolowski, and P. Borysiuk, " Wood-mineral wool hybrid particleboards," *European Journal of Wood And Wood Products*, vol. 69, pp 337–339, 2011.
- [25] A. Ashori, T. Tabarsa, and F., Amos, "Evaluation of using waste timber railway sleepers in wood–cement composite materials." *Construction and Building Materials*, vol. 27, pp. 126–129, 2012.
- [26] I.O. Ohijeagbon, M.U. Bello-Ochende, A.A. Adeleke, P.P. Ikubanni, A.A. Samuel, O.A. Lasode, and O.D. Atoyebi, "Physico-mechanical properties of cement bonded ceiling board developed from teak and african locust bean tree wood residue," *Materials Today:Proceedings*, vol. 44, pp. 2865-2873, 2021.
- [27] S. Na, S. Lee, and S. Youn, " Experiment on activated carbon manufactured from waste coffee grounds on the compressive strength of cement mortars," *Symmetry*, vol. 13, pp. 619, 2021.
- [28] G. Düz kale Sözbir, İ. Bektaş, M. Demirbük, " Çimentolu odun kompozit malzemeye eklenen katkı maddesinin levha özelliklerine etkisi," *Turkish Journal of Forestry*, vol. 23, no 1, pp. 64-68, 2022.
- [29] Y. Zhou, and D.P. Kamdem, " Effect of cement/wood ratio on the properties of cement-bonded particleboard using CCA-treated wood removed from service," *Forest Products Journal*, vol. 52, no 3, pp. 77-81, 2002.
- [30] A.N. Papadopoulos, G.A. Ntalos, and I. Kakaras, "Mechanical and physical properties of cement-bonded OSB," *European Journal of Wood and Wood Products*, vol. 64, pp. 517-518, 2006.
- [31] *Cement-bonded particleboards - Specifications - Part 2: Requirements for opc bonded particleboards for use in dry, humid and external conditions*. TS EN 634-2, Mart, 2009.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Perde Tipi Engellerin Gözenek Oran ve Konumlarının Çalkantıyı Sönümleme Etkisinin Sayısal Olarak İncelenmesi

 Tolga BAYRAMOĞLU ,  Fatih C. KORKMAZ ^{a,*}

^a Gemi Makineleri İşletme Mühendisliği

Bölümü, Gemi İnşaatı ve Denizcilik Fakültesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: fkorkmaz@yildiz.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1081197

ÖZ

Bu çalışmada farklı gözenek oranına sahip perdelerin çalkantıyı sönümleme etkisi sayısal olarak incelenmiştir. Sayısal modelde perdeler tankın her iki yan yüzeyine yerleştirilmiş ve salınım hareketine zorlanmıştır. Perdeler için serbest su yüzeyinde, altında ve üstünde olarak üç farklı konum belirlenmiştir. Her bir perde için, serbest su yüksekliğinde okunan basınç değerleri ile akışkan serbest yüzey deformasyonu zamana bağlı olarak karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda tank yan yüzeylerine uygulanan perdelerin, yüzey deformasyonunu azaltarak serbest su seviyesinde çalkantı kuvvetlerini düşürdüğü gösterilmiştir. Perdelerin basınç sönümleme oranları karşılaştırıldığında, en iyi oranın gözeneksiz perde olduğu belirtilerek. Serbest su yüzeyine yakın perde yerleşiminin basınç sönümlemede daha etkili olduğu tespit edilmiştir. Ancak gözenekli perdelerin sönüm oranı katı perdeye yakın olduğu, tanka daha az yük getireceği için bu tip perdenin uygunluğu vurgulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: sönümleyici perde, çalkantı yükleri, nümerik çalışma, dikdörtgen tank.

Numerical Investigation of solidity rate and position of baffles efficiency on damping sloshing

ABSTRACT

In this study, the effect of baffle solidity in a partially filled rectangular tank on sloshing was investigated numerically. In the numerical model, the baffles are located on both lateral surfaces of the tank and are forced into oscillating motion. Three different positions were determined for the baffles as free water surface, below and above. For each baffles cases, the pressure values are measured at the free surface level and the free surface deformation of the fluid were compared. The results of the study showed that it reduces the pressures at the free surface level by decaying the surface deformation with applying baffles to the lateral tank walls. When the pressure damping ratios of the baffles are compared, it is seen that the best damping ratio is measured by using the solid baffles. In addition, it has been determined that the baffles placements closed to the free water surface was more effective in pressure damping. However, the better applicable of perforated baffles are emphasized because the damping rates are close to the solid baffles and it will bring less load to the tank.

Keywords: baffles, sloshing loads, numerical study, rectangular tank.

I. GİRİŞ

Çalkantı, kısmen dolu bir tankta akışkana dışardan gelen kuvvet ile tank içerisinde serbest sıvı yüzeyinin deformasyona uğramasıyla oluşan kuvvettir. Akışkanın tank içerisinde oluşturduğu kuvvetler, sıvı seviyesine bağlı olarak değişen doğal frekans ile zorlama frekansının örtüşmesine, akışkanın viskozitesine ve tankın geometrisine bağlı olarak değişir (Akyıldız ve Ünal [1]). Cruchaga vd. [2] ilk iki doğal frekans değerlerini kapsayan, tankın çalkantısını deneysel ve sayısal olarak incelemiştir. Jin vd. [3] farklı yükseklik ve viskozitedeki akışkanın çalkantı kuvvetlerini tespit etmişlerdir. Çalkantı tankın iç cidarlarına yükler bindireceği için araştırmacılar bu kuvvetleri sönmölemek için çeşitli uygulamalar yapmıştır. En yaygın uygulama tankın içerisine çeşitli boyutlarda engellerin yerleştirilmesidir. Çelebi ve Akyıldız [4] tank içerisindeki bir akışkan içerisine yatay ve dikey şekilde uygulanan perdelerin etkisini incelemiştir. Yu vd. [5] ise serbest yüzeye yerleştirilen düşey perdeler ile çalkantıyı sönmölemiştir. Yapılan çalışmada perdelerin düşük genliklerde ve doğal frekansa yakın salımlarda önemli oranda çalkantı yüklerini azalttığı belirtilmiştir. Kim vd. [6] eksenel zorlanan model tankının serbest su yüksekliğinde sağ ve sol duvarına yerleştirilen yaylı yatay perdelerle çalkantı kuvvetlerini azaltmıştır. Nasar ve Sannasiraj [7] katı perdeye alternatif olarak gözenekli perdelerin çalkantı yüklerini azaltmadaki etkilerini ve farklı perde formları ile kıyaslamıştır.

Belekroum vd. [8] kısmen dolu tankı salınım hareketine zorlanmış ve sönmö oranlarını analiz etmişlerdir. Akyıldız [9] sabit su yüksekliğinde, tabana yerleştirilen farklı yüksekliğe sahip perdelerin karşılaştırmasını yapmışlardır. Goudarzi ve Sabbagh-Yazdi [10] sayısal ve deneysel çalışmada, tank içerisine yerleştirilen farklı perdelerin serbest su yüzey deformasyonuna etkisini incelemiştir. Jung vd. [11] ise perdelerin rezonans durumundaki sönmö etkisini sayısal olarak 3B model üzerinde araştırmışlardır. Jin vd. [12] yatay konulan gözenekli perdelerle, tek eksenli hareket altında basınç sönmö oranlarını incelemiştir. Korkmaz ve Guzel [13] ise farklı sayıdaki perdelerin sönmö oranını rezonans ve rezonans olmayan bölgelerde araştırmışlardır. Kim vd. [14] ölçekli LNG tankının serbest yüzeyine, yüzer şekilde örtü yerleştirilerek çalkantı genliğinde ve tank duvarlarında oluşan basınçlarda önemli oranda düşüşe sebep olduğu gösterilmiştir. Hwang vd. [15] çalkantının, perdesiz, rijid ve elastik bir perde yerleşimiyle, Sanapala vd. [16], Koca ve Zabun [17] ise yatay perdelerin çalkantıya etkisini sayısal olarak incelenmişlerdir. Akyıldız [18] tank içerisine yerleştirilen T şekilli perde, düz perde ve perdesiz durumlarda tankı salınım hareketine zorlamışlardır. Yapılan çalışmalarda T şeklindeki perdenin sığ sularda daha etkili olduğu gözlemlenmiştir.

Cavalagli vd. [19] tankın zeminine yerleştirilen çalkantı sönmöleyicilerin etkisini incelemiştir. Cho ve Kim [20] gözenekli perdelerin konumlarına ve gözenek çaplarına göre çalkantıya etkisi sayısal ve deneysel olarak araştırmışlardır. Gözenek büyüklüklerinin küçültülmesinin çalkantı sönmölemede etkili olduğu ancak perde üzerine oluşacak yükünde artacağı belirtilmiştir. Gözenek büyüklükleri ile perde sayısı arasında önemli bir ilişki olduğu belirtilmiş olup en uygun yöntem için optimizasyon yapılması gerekliliği ifade edilmiştir. Tsao ve Huang [21] gözenekli engellerin kullanıldığı tankın rezonans durumunda meydana gelen çalkantı kuvvetlerini analitik ve nümerik olarak tahmin etmişlerdir. Ayrıca sonuçlarını deneysel verilerle de doğrulamışlardır. Korkmaz vd. [22] tankın içine yerleştirilen farklı sayıda gözenekli perdelerin çalkantının sönmölemede etkisini araştırmışlardır. Sahin ve Bayraktar [23]. tankın ortasına ve yanal yüzeylerine konumlandırılan engellerin sönmö etkinlikleri karşılaştırılmıştır. Seibi vd. [24] deneysel çalışmada tek yönde sabit ivmeli hareket eden bir tankın ani durması durumunda oluşacak çalkantı hareketini incelemiştir.

Tanktaki çalkantı hareketi sonucunda oluşan dalganın yanal yüzeylere etki oranları farklı olur (Kırıköz [25]). Genelde serbest su yüzeyinde en yüksek basınç tespit edilmiş olsa da bazı dalga formlarında maksimum basınç biraz daha yüksek kısımlarda tespit edilmiştir (Lugni vd. [26]). Farklı dalga formlarının fiziksel sonuçlarını ise Kisacik vd. [27] tartışmışlardır. Sanapala vd. [28] 3B dikdörtgen bir tankın boy, boy-yanal ve dalıp çıkma hareketlerinin birleşimi altında çalkantının fiziksel sonuçlarını incelemiştir. Nümerik ve deneysel kısımları bulunan çalışma, çalkantı kaynaklı hidrodinamik kuvvetlerin tankın cidarlarında yorulma hasarlarına sebep olabileceği vurgulanmıştır.

Bir diğer sönüm yöntemi olarak kahve yüzeyindeki köpüğün akışkan hareketini azalttığından yola çıkarak suyun üstüne dairesel köpük koyularak çalkantıyı sönümlenmeye çalışılmasıdır. Ning vd. [29] deneysel çalışmada, tank içerisindeki su üzerinde yüzen dairesel köpükler kullanmış ve etkisini tartışmışlardır. Bir diğer çalışma ise çalkanan akışkanın sabit cisimlere etkisi olmuştur. Demir ve Dinçer [30] çalışmalarında zamanla veya çeşitli çalışmalarla suyun altında kalan cami minarelerinin deprem anında çalkantıyla oluşan akışkan hareketinin etkilerini araştırmışlardır.

Bu çalışmada ise çalkantı esnasındaki sıvı deformasyonu dolayısıyla oluşacak basınçları azaltmak için dikdörtgen tankın yan duvarlarına yatay perde tipi engeller uygulanmıştır. Farklı oranda gözeneğe sahip perde tipi engellerin çalkantı sönümleme etkilerini araştırılmıştır. Sayısal çalışmada üç farklı gözenek oranına sahip engel uygulanmıştır. Her bir durum için serbest su yüzey deformasyonu incelenerek, basınç ve çalkantı sönüm oranları karşılaştırılmıştır.

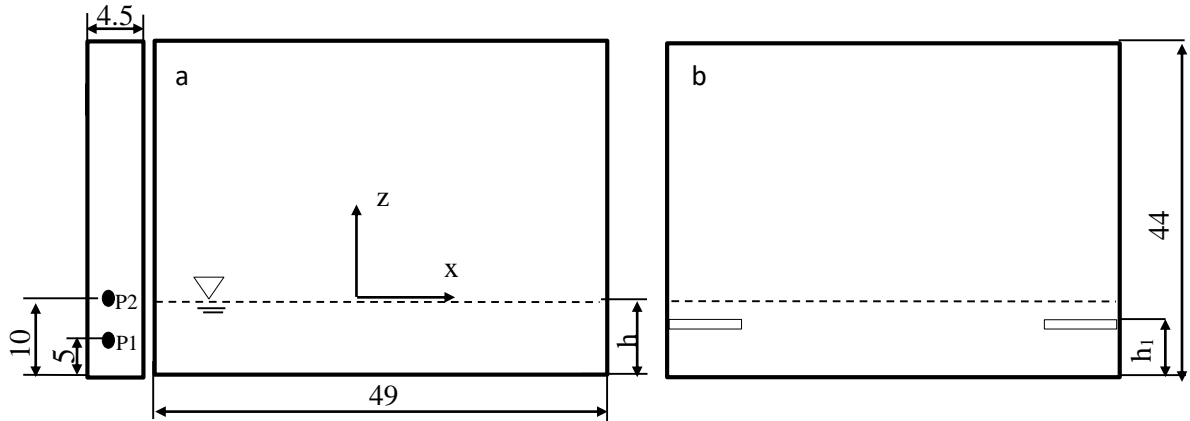
II. SAYISAL MODEL

A. MODEL TANITIMI

Serbest su yüzeyine sahip olan dikdörtgen bir tanka, çalkantının azaltılmasına yönelik pasif kontrol yöntemi olan sabit perdeler kullanılmıştır. Perdesiz ve farklı gözenek oranlı perdelerin yanal yüzeylere konumlandırılmasıyla tanktaki çalkantı etkisi araştırılmıştır. RANSE (Reynolds Averaged Navier-Stokes), standard k-ε türbülans modeli kullanılan çalışmada tanka aksel yönde ivme hareketi verilmiştir.

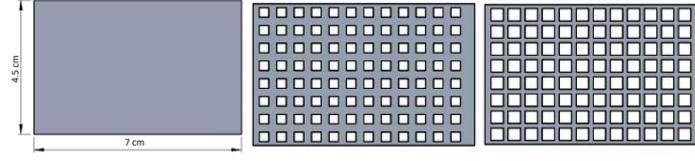
A. 1. Perde tipi Perdelerin Tankta Yerleşimi

Çalışmada, salınım hareketine zorlanmış tank içerisindeki suyun çalkantı esnasında tank duvarlarında belirli noktalardan okunan basınç değerleri karşılaştırılmıştır. Tablo 1’de akışkanın özellikleri belirtilmiştir. Şekil 1.’de ise 49 cm uzunluğunda, 44 cm yüksekliğinde ve 4.5 cm genişliğe sahip dikdörtgen tank gösterilmiştir. Tank içerisindeki su yüksekliği 10 cm, hareket genişliği 11 cm ve salınım frekansı ise 4.58 rad/s olarak belirlenmiştir.



Şekil 1. Sayısal çalışmada kullanılan tank modeli (a) ve perdelerin konumlandırılması (b). Uzunluklar cm birimindedir.

Çalkantıyı sönümlemesi için kullanılan gözeneksiz ve farklı orandaki gözenekli perdeler Şekil 2’de gösterilmiştir. Perdeler tabana yerleştirilen engellere nazaran tanka yükleme-boşaltma hususunda daha kolaylık sağlayacağı düşünülerek, tankın yanal yüzeylerine uygulanmıştır. Konum olarak da serbest su seviyesine, altına ve tankın daha yüksek kısımları olarak düşünülmüştür. Perdeler geometrik olarak aynı forma sahip farklı gözenek oranlarında kullanılmıştır. a tipi perde gözeneksiz, b tipi perde %27 oranda gözenekli ve c tipi perde ise %50 oranda gözenekli perde olarak belirlenmiştir.



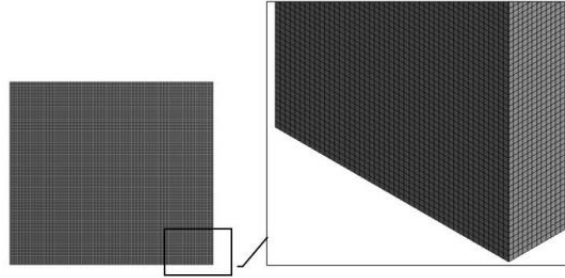
Şekil 2. Perde geometrileri, gözeneksiz perde a, %27 oranlı gözenekli perde tipi b ve %50 oranlı gözenekli perde tipi c

Tablo 1. Suyun akışkan özellikleri

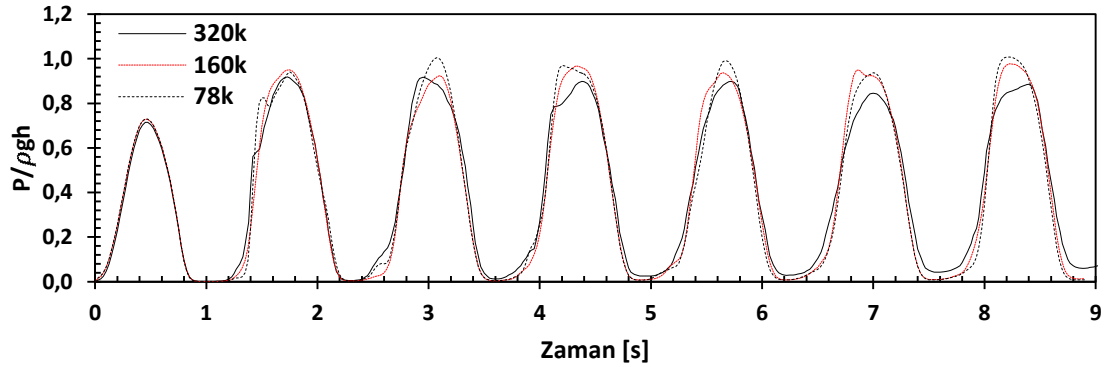
Akışkan	Viskozite (Ns/m ²)	Yoğunluk (kg/m ³)	Sıcaklık (°C)	Yüzey Gerilimi (N/m)
Su	0.0010005	998	20	0.0728

A. 2. Ağ yapısı ve Bağımsızlık analizi

Ağ yapısından bağımsızlığı göstermek için üç farklı eleman sayısı kullanılarak analizler tekrarlanmıştır. Sayısal çalışmada modelin bir ağ örgüsü Şekil 3. de gösterilmiştir. Elde edilen boyutsuz basınç değerleri her bir eleman sayısı için hesaplanmış ve sonuçlar karşılaştırmalı olarak Şekil 4’de gösterilmiştir. Tablo 2’de farklı zaman dilimi ve ağ yapısındaki normalize edilmiş basınç değerlerinin hata analizi eklenmiştir. Analiz çalışmaları Intel(R) Xeon (R) CPU E5630 @2,53 GHz 64 GB RAM özellikli bilgisayarda yapılmıştır. Kullanılan eleman sayısı ise 160k elemanlı ağ örgüsü olarak seçilmiştir. Ayrıca sayısal çalışma 0.025 zaman adımında zamana bağlı olarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3. Dikdörtgen tank model ağ yapısı



Şekil 4. Ağdan bağımsızlık analizi

Tablo 2. Ağ sayıları ve hata analizi

Ağ sayısı	P/ρgh	E
78k	0.913+0.0267	% 6.8
160k	0.909+0.02	% 5.6

A. 3. Matematik Model

Çalkantı problemini çalışabilmek için kullanılan süreklilik ve Navier-Stokes denklemleri aşağıdaki gibidir;

$$\nabla(V) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial(V)}{\partial t} + V \cdot \nabla(V) = -\frac{1}{\rho} \nabla P + F + \nu \nabla^2 V \quad (2)$$

Burada V hız vektörünü ρ , P ve F ise sırasıyla akışkanın yoğunluğunu, basıncı, kinematik viskoziteyi ve dış kuvvetleri gösterir.

Serbest yüzey dağılımının tespiti için uygulanan VOF denklemi aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$\frac{1}{\rho} \left[\frac{\partial}{\partial t} (a_b \rho_b) + \nabla \cdot (a_b \rho_b \vec{v}_b) \right] = S_{a_b} + \sum_{p=1}^n (\dot{m}_{ab} - \dot{m}_{ba}) \quad (3)$$

Burada, \dot{m}_{ab} a fazından b fazına kütle transferini, \dot{m}_{ba} b fazından a fazına kütle transferini ifade etmektedir. Denklemin sağ tarafında S_{a_b} kaynak terimini ifade etmektedir. n faz için;

$$\sum_{b=1}^n a_b = 1 \quad (4)$$

İki fazlı akışın fiziksel parametreleri hesaplamak için kullanılan aşağıda denklemler belirtilmiştir;

$$\rho = \alpha \rho_b + (1 - \alpha) \rho_a \quad (5)$$

$$\mu = \alpha \mu_b + (1 - \alpha) \mu_a \quad (6)$$

Burada α , su için 1, hava için 0 olarak belirtilir.

Türbülans modeli için k, türbülans kinetik enerji ve ε , yayılma hızı çözümünü gerektiren standart k- ε seçilmiştir.

$$\frac{\partial}{\partial t} (k) + \frac{\partial}{\partial x_i} (u_i k) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu_t + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + P_k - \varepsilon \quad (7)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i} (u_i \varepsilon) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu_t + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{\varepsilon 1} P_k \frac{\varepsilon}{k} - C_{\varepsilon 2} \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (8)$$

Aşağıda verilen Tablo 3'de k- ε türbülans modelinde kullanılan katsayılar verilmiştir.

Tablo 3. Türbülans model sabitleri

Model sabitleri	$C_{\varepsilon 1}$	$C_{\varepsilon 2}$	σ_ε	σ_k	C_μ
Değer	1.44	1.92	1	1.3	0.09

Su ile dolu tankın doğal frekansı, su yüksekliği d ve tank uzunluğu l oranına bağlı olarak ve aşağıdaki denklem ile ifade edilir (Yu et al. [5]).

$$\omega_n = \sqrt{\frac{g}{4\pi l} \tanh\left(\frac{\pi d}{l}\right)} \quad (9)$$

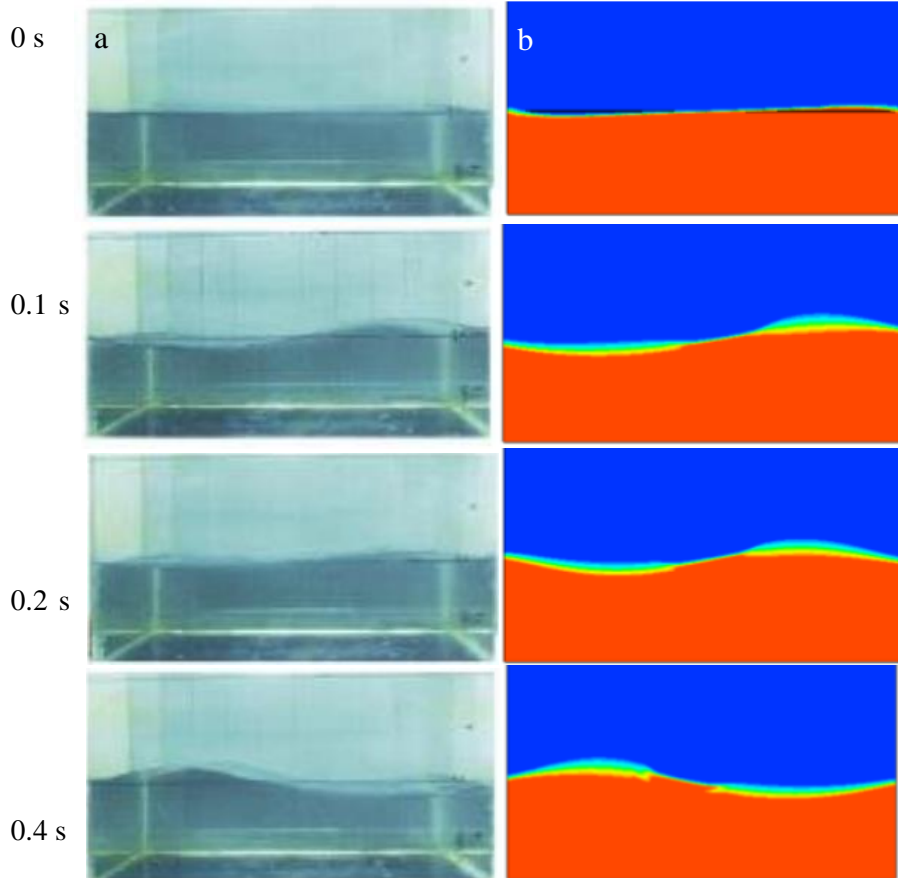
Sayısal analiz çalışmasında tank doğal frekansı $\omega_n = 1.16 \text{ Hz}$ olarak hesaplanmıştır. Salınım hareketine zorlanan sistemin hareket denklemi ise aşağıdaki gibidir;

$$X = A \sin(\omega t) \quad (10)$$

Burada, A tank hareket genliğini ve çalışmada 0.11 m 'dir, ω hareket frekansını ve t de zamanı ifade etmektedir.

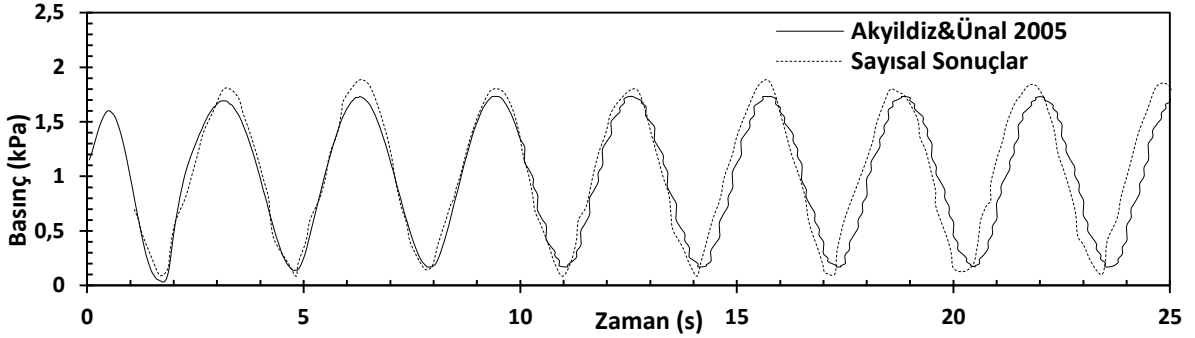
A. 4. Modelin Doğrulanması

Modelin doğrulanması için farklı refereranslar seçilmiştir. Serbest yüzey deformasyonunu karşılaştırmak için Cruchaga vd. [2] yapılan deneyler ele alınmış ve Şekil 5'de gösterilmiştir. Aynı frekans salınımında, serbest su yüzeyi deformasyonu yapılan sayısal çalışmayla da yakalanmıştır. Akyildiz ve Unal [1] çalışması ile basınç değerlerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Basınç ölçümleri de tanka 2 rad/s tahrik verildiğindeki değerler alınmıştır. Tankın salınım frekansı sistemin doğal frekansı ile örtüşmeyen yani rezonans olmayan bölgede yapılan karşılaştırma deneysel veriye oldukça iyi yaklaşmıştır.

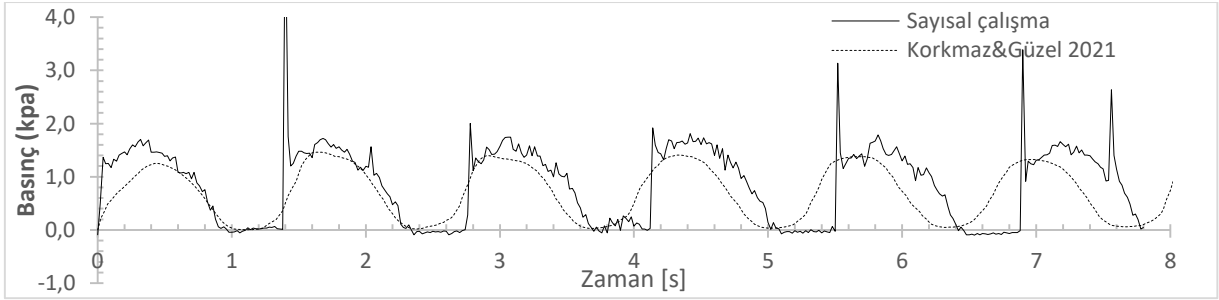


Şekil 5. Serbest su yüzeyi karşılaştırması Cruchaga vd. [2]^a, sayısal çalışma^b

Yalnız eğer sistemin doğal frekansı ile örtüşen değerlerde salınım yapılırsa, serbest su yüzeyindeki deformasyonun çok artmasıyla dalga uç formunun açık hale gelmesi, hava sıkışması veya hava ile karışık çarpma neticesinde basınç ölçümlerinin tekrar edilebilirliği düşmektedir (Kısacık vd. [27], Korkmaz ve Guzel [13]). Buna ek olarak sayısal çalışmada kırılan dalganın sonucu, tank yüzeyi ile dalga ucu arasında sıkışan havanın etkisini yakalanamadığı için bu rezonans bölgesindeki numerik yaklaşımla bulunan basınç değerleri, rezonans dışı bölgedeki doğruluk oranından daha düşük çıkmıştır. Şekil 7’de rezonans bölgesine yakın frekanstaki tank salınımının basınç karşılaştırması gösterilmektedir.



Şekil 6. Rezonans dışındaki bölgedeki çalkantı basınçlarının karşılaştırılması



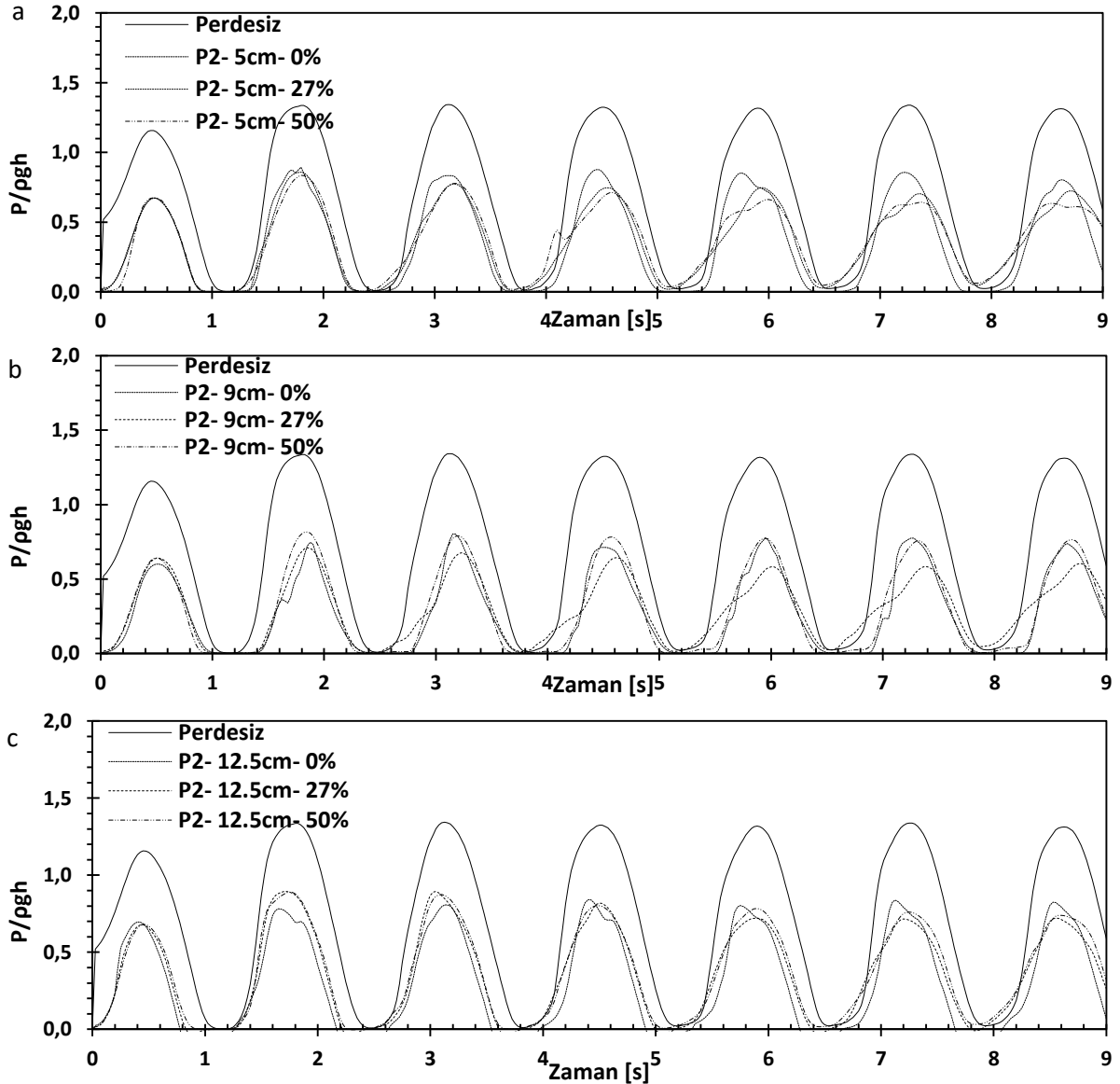
Şekil 7. Rezonans bölgesi yakınlarındaki çalkantı basınçlarının karşılaştırılması

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalkantıya zorlanan tank, sabit basınca ulaşana kadar ölçümler alınmıştır. Aynı ölçümler farklı perde uygulamaları için de tekrar edilerek karşılaştırma yapılmıştır. Akışkan serbest sıvı yüzeyi yüksekliğine uygulanan P2 basınç ölçüm noktasında meydana gelen basınç değişimleri farklı gözenek oranlarında ve farklı yüksekliklere yerleştirilen perdelerle Şekil 8’de gösterilmiştir. Şekil 8 a, b ve c sırasıyla tank tabanından 5 cm, 9 cm ve 12.5 cm yüksekliğe yerleştirilen perdelerin P2 yani serbest su yüksekliğinde oluşan basınçlara etkisini göstermektedir. Bir tanka salınım esnasında en yüksek basınç, dalganın formuna göre değişiklik gösterir. Çoğu dalga formunda, serbest su yüksekliği bölgesindeki basınç değerleri diğer noktalara göre daha yüksek olurken (Kırıköz [25]). Dalga ile tabandan gelen akış yanıl yüzeyde buluşup, tankın üst kısımlarına doğru hızlıca enerji aktarımı gerçekleşiyorsa serbest sıvı bölgesinden biraz daha yukarı bölgelerde maksimum basınç gerçekleşir (Lugni vd. [26]).

Serbest su yüksekliğine yakın alınan sonuçlar, akışkan serbest yüzeyinden okunan basınç değerlerin perde kullanımı ile büyük oranda azaldığı belirlenmiştir. En düşük sönümlenme oranının ise serbest yüzeyden en uzak nokta olan 5 cm ye yerleştirilen perde ile gerçekleşmiştir. Serbest su bölgesine yerleştirilen perdelerin basınç karşılaştırmasında ise en iyi sönümlenme oranı tank tabanından 9 cm yüksekliğe yerleştirilen b tipi perdelerin sağladığını görülürken, 9 cm’ye yerleştirilen c tipi ve a tipi

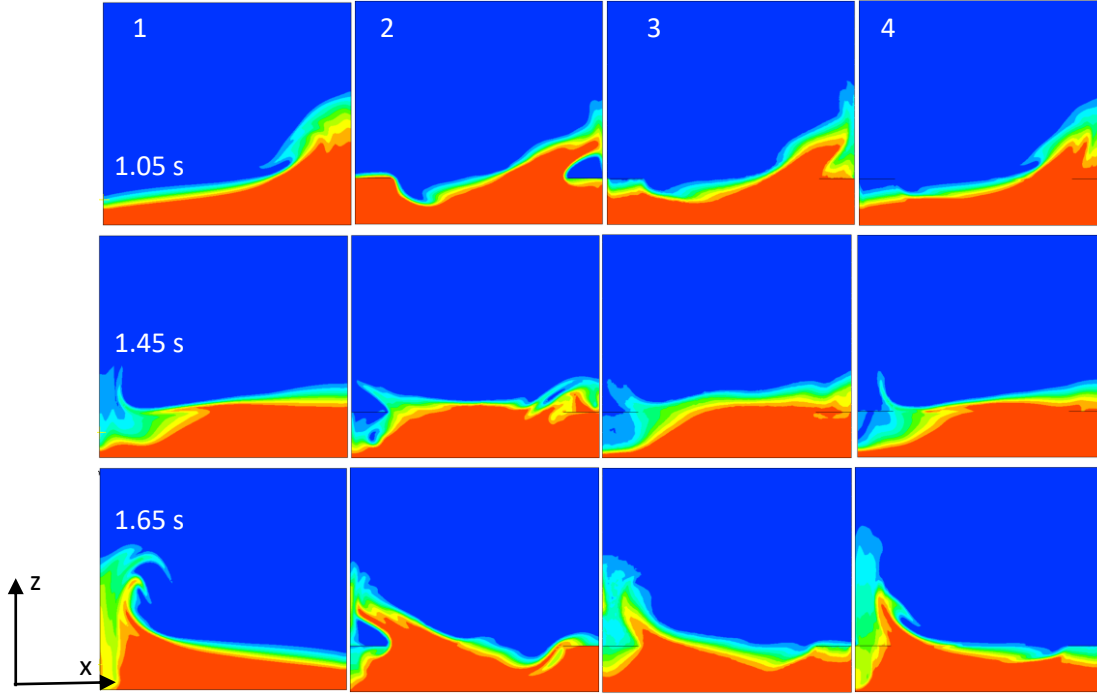
perdelerin basınç sönümlenme değerlerinin birbirine yakın ve diğer perde uygulama yüksekliklerinde daha iyi olduğu belirlenmiştir. Örneğin Şekil 8^b'de %52 ile en iyi sönümlenme oranına sahip gözeneksiz perde, c tipi perde ise %43 sönüm gerçekleştirmiştir. Ancak gözeneksiz perde her ne kadar daha iyi sönüm gerçekleştirmiş olsa da yarı yarıya gözenekli olan perdenin kullanımı tanka getireceği ek konstrüksiyon ve ağırlıktan dolayı gözenekli perdenin kullanımı daha optimumdur. Serbest sıvı yüzeyine yerleştirilen perdelerin daha etkin olması, o bölgelerde dinamik basıncın daha etkili olduğu içindir. Ama tankın derinliklerinde statik basınç dinamik basınca göre dominant olduğu için sönüm oranı daha az olmuştur. Perde engellerdeki gözenek oranının artması daha fazla akışkanın aksi yöne geçmesiyle sönüm oranını azaltmaktadır. Perde kullanımıyla yalnız akışkanın oluşturduğu basınç düşmemiş aynı zamanda gözenek oranının küçülmesiyle maksimum basınca ulaşma süresi uzamıştır. Şekil 8^b'de perdesiz ve katı perdeli karşılaşmada 0.2 s gecikmeli olarak maksimum basınç değerine ulaşmıştır. Bu süre %50 gözenek oranlı perde ile 0.02 s ek süre gerekmiştir.



Şekil 8. Farklı yüksekliklere yerleştirilen perdeler için P2 noktası boyutsuz basınç değerleri

Şekil 9'de $t=0$ saniyeden $t=1.65$ saniyeye kadar çeşitli zamanlarda 9 cm ye yerleştirilen farklı perde yerleşimleri için aksenal zorlama altında serbest su yüzeyinin deformasyonu verilmiştir. Akışkan başlangıçta +x yönüne doğru salınım yaptığı için o yöne doğru hareket etmeye başlar, duvara çarparak

yükselir. Hareket etkisi ile kazanılan enerji duvara aktarılır. Daha sonra tankın -x istikametinde ilerlemesiyle akışkan sol duvara aynı şekilde çarpıp, harekete dik yönde tankın tavanına doğru enerjisi doğrultusunda tırmanır. Akışkanın bu hareketi tank duvarlarında çarpma kuvvetleri oluşturur. Tankın perdesiz ve perde yerleştirilmiş halleri akışkanın tank içerisindeki serbest su yüzey deformasyonunun farklı olmasına sebep olur. Akışkan perdesiz tankta enerji kaybetmeden tank yanal yüzeylerinde yükselirken, perdeler akışkanın bir kısmı enerjisini alarak daha az enerjiyle yanal yüzeye çarpmasını sağlar. Gözeneksiz perde akışkan hareketini daha çok engellerken, gözenek oranı arttıkça daha az sönümlenme gerçekleşmiştir.



Şekil 9. Perdesiz 1, a tipi perde 2, b tipi perde 3 ve c tipi perde 4

Yanal yüzeylere uygulanan perdelerle serbest su yüzey bölgesinde deforme olan akışkan ciddi oranda azalmış olduğu halde özellikle gözeneksiz perde de daha yüksek yanal yüzeylere bir miktar da olsa akışkan taşınımı gerçekleşmiştir. Dolayısıyla gözeneksiz perde serbest su yüzeyinde ciddi oranda sönüm gerçekleştiği durumda, b ve c tipi perde de ile daha az sönüm oran elde edilmiştir. Ancak daha yüksek seviyelerde, gözenekli perdenin akışkanın enerjisini yayararak dağıttığından, o bölgelerde akışkan daha az enerjiye sahiptir.

IV. SONUÇ

Bu çalışmada çalkantı etkisinin azaltılması için dikdörtgen tankın yanal yüzeylerine gözeneksiz perde ve çeşitli oranlarda gözenekli perdeler yerleştirilmiştir. Yapılan sayısal çalışmada aşağıda verilen sonuçlar elde edilmiştir.

- Tank yanal duvarlarına yerleştirilen perdelerin çalkantı şiddetini azaltmada tıpkı tabana yerleştirilen engeller gibi etkili olduğu ve tank duvarlarında oluşan basınçlarda perdesiz konuma göre azalma olduğu gösterilmiştir.

•Serbest yüzeyinde alınan basınç değerleri, serbest yüzeye yerleştirilen perdelerin basınç sönümleme oranları diğer bölgelere yerleştirilen perdelerle göre daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Gözenek oranının artmasıyla beraber bu sönüm oranının azaldığı görülmüştür. Ancak yarı yarıya gözenek olduğu perdelerde, gözeneksiz perdeye oranda %9 daha az sönüm gerçekleştirmiştir. Bu sebepten perdelerde optimum gözenek oranının tespit edilerek uygulanması tanka getirecek ek yüklerden kaçınmak için katı perdelerin kullanımına göre daha uygun olacaktır.

•Serbest su yüzey deformasyonuna bakıldığında ise her bir perde yerleşiminde akışkanın daha az deforme olduğu görülmüştür. Fakat gözenekli perde gelen akışkanı serbest su yüzeyinden yukarı noktalara yükü dağıtarak yaydığı halde katı perde belirli bölgelere daha fazla yük aktarmıştır. Bu da tek noktada daha fazla enerji aktarımına sebep olduğu gözlemlenmiştir. Katı perde kullanımının bir diğer durumu ise çalkantı yükünü daha çok sönümlemesi sonucu malzemenin yorulması daha olasıdır.

V. KAYNAKLAR

- [1] H. Akyildiz and E. Ünal, “Experimental investigation of pressure distribution on a rectangular tank due to the liquid sloshing,” *Ocean Eng.*, vol. 32, no. 11-12, pp. 1503-1516, 2005.
- [2] M. A. Cruchaga, R. S. Reinoso, M. A. Storti, DJ Celentano and TE Tezduyar, “Finite element computation and experimental validation of sloshing in rectangular tanks,” *Comput. Mech.*, vol. 52, no. 6, pp. 1301-1312, 2013.
- [3] X. Jin, J. Tang, X. Tang, S. Mi, J. Wu, Mi Liu and Z. Huang, “Effect of viscosity on sloshing in a rectangular tank with intermediate liquid depth,” *Exp. Therm. Fluid Sci.*, vol. 118, pp. 110-148, 2020.
- [4] M.S. Celebi and H. Akyildiz, “Nonlinear modeling of liquid sloshing in a moving rectangular tank,” *Ocean Eng.*, vol. 29, no. 12, pp. 1527–1553, 2002.
- [5] Y. M. Yu, N. Ma, S. M. Fan and X. C. Gu, “Experimental and numerical studies on sloshing in a membrane-type LNG tank with two floating plates,” *Ocean Eng.*, vol. 129, pp. 217–227, 2016.
- [6] S. P. Kim, S. M. Chung, W. J. Shin, D. S. Cho and J. C. Park, “Experimental study on sloshing reduction effects of baffles linked to a spring system,” *Ocean Eng.*, vol. 170, pp. 136–147, 2018.
- [7] T. Nasar and S. A. Sannasiraj, “Sloshing dynamics and performance of porous baffle arrangements in a barge carrying liquid tank”, *Ocean Eng.*, vol. 183, pp. 24–39, 2019.
- [8] R. Belakroum, M. Kadja, T. H. Mai and C. Maalouf, “An efficient passive technique for reducing sloshing in rectangular tanks partially filled with liquid,” *Mech. Res. Commun.*, vol. 37, no. 3, pp. 341–346, 2010.
- [9] H. Akyildiz, “A numerical study of the effects of the vertical baffle on liquid sloshing in two-dimensional rectangular tank,” *J. Sound Vib.*, vol. 331, no.1, pp. 41–52, 2012.
- [10] M. A. Goudarzi and S. R. Sabbagh-Yazdi, “Analytical and experimental evaluation on the effectiveness of upper mounted baffles with respect to commonly used baffles,” *Ocean Eng.*, vol. 42, pp. 205–217, 2012.
- [11] J. H. Jung, H. S. Yoon, C. Y. Lee and S. C. Shin, “Effect of the vertical baffle height on the liquid sloshing in a three-dimensional rectangular tank,” *Ocean Eng.*, vol. 44, no. 79–89, 2012.

- [12] H. Jin, Y. Liu and H. J. Li, “Experimental study on sloshing in a tank with an inner horizontal perforated plate,” *Ocean Eng.*, vol. 82, pp. 75–84, 2014.
- [13] F. C. Korkmaz and B. Güzel, “On the effects of the number of baffles in sloshing dynamics,” *Ships and Offshore Structures*, vol. 18, no. 1, pp. 21-33, 2023.
- [14] Y. Kim, S. M. Hwang, S. E. Chun, Y. S. Suh, J. J. Park and Y. J. Lee, “Model-scale sloshing tests for an anti-sloshing blanket system,” *Int. J. Offshore Polar Eng.*, vol. 23, no. 4, pp. 254–262, 2013.
- [15] S.C Hwang, J. C. Park, H. Gotoh, A. Khayyer and K.J. Kang, “Numerical simulations of sloshing flows with elastic baffles by using a particle-based fluid- structure interaction analysis method,” *Ocean Eng.*, vol. 118, pp. 227–241, 2016.
- [16] V. S. Sanapala, M. Rajkumar, K. Velusamy and B. S. V. Patnaik, “Numerical simulation of parametric liquid sloshing in a horizontally baffled rectangular container,” *J. Fluids Struct.*, vol. 76, pp. 229–250, 2018.
- [17] F. Koca ve M. Zabun, “Çoklu Bölmeli Kare Tankta Su Çalkalanmasının Sayısal Araştırması,” *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 28, ss. 1062-1070, 2021.
- [18] H. Akyildiz “Sloshing in a T-baffled rectangular storage tank numerical study for 2-D problems,” *GİDB Dergi*, s. 1, ss. 13–34, 2014.
- [19] N. Cavalagli, C. Biscarini, A. L. Facci, F. Ubertaini and S. Ubertaini, “ Experimental and numerical analysis of energy dissipation in a sloshing absorber,” *J. Fluids Struct.*, vol. 68, pp. 466–481, 2017.
- [20] I. H. Cho and M. H. Kim, “Effect of dual vertical porous baffles on sloshing reduction in a swaying rectangular tank,” *Ocean Eng.*, vol. 126, pp. 364–373, 2016.
- [21] W. H. Tsao and Y. L. Huang, “Sloshing force in a rectangular tank with porous media,” *Results in Engineering*, vol. 11, 100250, 2021.
- [22] F. C. Korkmaz, K. Yigit ve B. Guzel “Perde Tipi Engellerin Çalkantı Yüklerini Azaltma Etkileri Üzerine Deneysel Bir Çalışma,” *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, c. 8, s. 3, ss. 1149-1157, 2021.
- [23] G. Sahin and S. Bayraktar, “Flow Visualization of Sloshing in an Accelerated Two-Dimensional Rectangular Tank,” *International Journal of Engineering Technologies*, vol. 1, no. 3, pp. 106-112, 2015.
- [24] C. Seibi, A. Goharzadeh and L. Khezzar, “Water Sloshing in Rectangular Tanks– An Experimental Investigation Numerical Simulation,” *Int. J. Eng.*, vol. 3, no. 3, pp. 174–184, 2009.
- [25] M. S. Kirkgoz, “Impact Pressure of Breaking Waves on Vertical and Sloping Walls,” *Ocean Engineering*, vol. 18, no. 1-2, pp. 45-59, 1991.
- [26] C. Lugni, M. Brocchini and O. M. Faltinsen, “Wave impact loads: The role of the flip-through,” *Phys Fluids*, vol. 18, 122101, 2006.
- [27] D. Kisacik, P. Troch and P. Van Bogaert, “Description of loading conditions due to violent wave impacts on a vertical structure with an overhanging horizontal cantilever slab,” *Coastal Eng.*, vol. 60, pp. 201–226, 2012.

- [28] V.S. Sanapala, K. Velusamy and B.S.V. Patnaik, "Numerical study of coupled slosh modes in a 3D vessel subjected to multi-directional excitations," *Annals of Nuclear Energy*, vol. 175, 109197, 2022.
- [29] D. Z. Ning, P. Su and C. W. Zhang, "Experimental Study on A Sloshing Mitigation Concept Using Floating Layers of Solid Foam Elements," *China Ocean Eng.*, vol. 33, no. 1, pp. 34-43, 2019.
- [30] A. Demir ve A. E. Dinçer, "Batık Minarelerde Su Seviyesinin Yapıya Olan Etkisinin Sayısal Olarak İncelenmesi," *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 11, s. 1, ss. 325-332, 2021.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

AISI D2 Çeliğinin Yüzey Frezelemesinde Nano/Tabakalı Sert Kaplamaların Kesme Performansının İncelenmesi

 Bilal KURŞUNCU^{a,*}

^a *Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Bartın Üniversitesi, Bartın, TÜRKİYE*

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: bkursuncu@bartin.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1151275

Öz

Kalıp döküm endüstrisinde, çeliklerin sertleştirilmiş durumda frezelemesi yaygındır. Daha iyi bir yüzey kalitesi için bu işlem sırasında oluşan takım aşınması ve kesme kuvvetleri dikkate alınmalıdır. Bu çalışmada, nano katmanlı AlTiN/TiN kaplı karbür kesici takımların AISI D2 yüzey frezelemede kesme performansı incelenmiştir. Kesme performansı karşılaştırmak için tek katmanlı sert kaplamalı karbür kesici takımlar ve kaplamasız kesici takımlar kullanılmıştır. Tüm kesme hızlarında, nano katmanlı AlTiN/TiN kaplı karbür kesici takım, TiAlN ve TiN kaplı olanlardan ve kaplamasız takımdan daha uzun takım ömrü sergilemiştir. Tüm kesici takımlarda çentik aşınması ve yığılma kenar oluşumu etkin aşınmaları olduğu görülmüştür. Tüm parametrelerde nano katmanlı AlTiN/TiN sert kaplamalar kullanılarak daha düşük kesme kuvveti değerleri ölçülmüştür.

Anahtar kelimeler: Takım Aşınması, Kesme Kuvveti, Sertleştirilmiş Çelik, Yüksek Hızda İşleme, nano-tabakalı kaplama.

Anahtar Kelimeler: *Tool wear, Cutting-force, Hardened steel, High-speed machining, nano-layer hard-coatings.*

Investigation of Cutting Performance of Nano/Layered Hard Coatings in Face Milling of AISI D2 Steel

ABSTRACT

In the die-molding industry, milling steels in a hardened condition is common. Tool wear and cutting-forces occurring during this process must be considered for better surface quality. The cutting performance of nano-layered AlTiN/TiN coated carbide cutting-tools in AISI D2 face-milling was evaluated in this work. Single-layer hard-coated carbide cutting-tools and uncoated cutting-tools were used to compare cutting performance testing. All cutting-speeds nano-layer AlTiN/TiN coated carbide cutting tool presented longer cutting-length than TiAlN and TiN coated ones and uncoated tool. Notch wear is an overriding wear mechanism, followed by build-up edge formation for all cutting-tools. Using a nano-layer AlTiN / TiN hard-coating, cutting-force values were lowered in all experiments.

Keywords: *Tool wear, Cutting-force, Hardened steel, High-speed machining, nano-layer hard-coatings.*

I. INTRODUCTION

Due to environmental and economic concerns, sustainable material machining has become vital in today's society [1]–[6]. The economical and environmentally friendly manufacturing of materials may become possible by sustainable manufacturing. Machining of hardened steel (>45 HRC) [7], [8], called hard machining, can be regarded as sustainable manufacturing. In the hard machining operations, some steps of the process and coolant usage can be eliminated due to the negative impact on the environment and machining cost [9]–[14]. Because of its hardness, high toughness, and informal manufacture in complicated geometries, carbide cutting-tools are favoured for machining hard materials [15]–[16]. However, the extraordinary temperatures occurring in the cutting area during hard machining cause the cutting-tools to become unusable, and this situation restricts the usage of carbide cutting-tools in hard machining operations. Besides, the process cost also increases due to this rapid wear occurring in carbide cutting-tools. Various ways have been attempted to rise the wear resistance of carbide cutting-tools. Some of these methods are cryogenic heat treatment and thin hard-coatings. [17]–[20].

The first applications of hard-coatings were generally applied to the cutting tool materials as a single layer. The most commonly used of these coatings are TiN CrN TiAlN ceramic hard-coatings [21]–[23]. More durable TiAlN coatings have been developed because TiN coatings lose their properties at temperatures above 500 °C in dry machining [24]. Newly, multicomponent coatings have further improved the coating properties [25]. Thanks to the coating technology developed in recent years, hard-coatings can be applied as nano-layer [26] and nano-composite [27] instead of single-layer.

Innovative nano-composite and nano-layer coatings have been used frequently to machining hard materials. They are preferred due to their unique superior properties, for example, excellent adhesion to substrate materials, high hardness, and oxidation resistance [28]–[33]. However, the hard-coatings are expected to be compatible with chemical content and structure concerning the machined workpiece material. Yao et al. [30] used nano-layer CrN/Ag coating in the turning process of S45C steel in their work and achieved an increase in wear resistance compared to cutting-tools coated with single-layer CrN. In another study, Caliskan et al. [34] used nano-layer coated carbide cutting-tools to machining AISI O2 steel material and observed an increase in cutting performance.

In this work, innovative nano-layer AlTiN / TiN, TiN, and TiAlN coatings were dumped on carbide cutting-tools supplied uncoated. Then, cutting-performance in AISI D2 work-piece face-milling was then examined at determined high cutting-speeds.

II. MATERIALS AND METHODS

Experiments were realised on AISI D2 cold-work steel, which is commonly used in mill rolls, hunting knives, punches, blanking dies, shear blades, and spinning tools. The work-piece material has sizes of 150x100x50 mm and a hardness of 55 HRC as annealed. The heat-treatment includes: (1) slowly heating to 650°C-850°C in 45 min, individually, (2) keeping 30 min for austenitizing at 1040 °C, (3) quickly cooling in a furnace under 3 bar nitrogen atmosphere, (4) tempering for 150 min at 525 °C and 545°C. The AISI D2 steel chemical composition is seen in Tab. 1.

Table 1. AISI D2 chemical-composition [36].

C	Mn	Si	P	Cr	S	V	Mo	Fe
1.55	0.22	0.34	0.018	11.68	0.001	0.95	0.73	Remaining

R390-11T308M-KMH13A coded cutting-tools provided by Sandvick were used in cutting tests. The diameter of the tool holder is 25 mm, and two cutting-tools can be attached to the holder. During the tests, a cutting tool was attached to only one mouth of the tool holder because the cutting tool's cutting behaviour can be determined more accurately. A 3-axis CNC machine was used to do surface-milling

operations. The work-piece was mounted on a piezoelectric dynamometer (Kistler 9257-B) to measure milling operations' cutting-forces.

A PVD system was used to deposit single-layer TiAlN and TiN and nano-layer AlTiN/TiN hard-coatings. AlTiN/TiN nano-layer coating was deposited using one Ti target and three segmental TiAl targets. The tools were 2-fold rotated during the deposition process. A 50 N load was used to test the coatings' hardness in a nano-indentation instrument. The calotest technique measured coating thicknesses.

The cutting parameters are given Table 2. Three different cutting-speeds were used, while radial and axial depths of cut feed rate were kept continuous. The amount of wear was measured using a stereo zoom microscope with software assistance. Afterward, each cutting-length of 450 mm, the cutting tool was taken from the CNC and attached on the stereo-zoom-microscope, and the quantity of wear was measured from its flank face. According to the images obtained from the cutting-tools' flank faces, the dominant wear types are flank wear and notch wear. When the flank-wear amount of the cutting-tool reaches 0.35 mm and the notch wear amount reaches 0.8 mm, the face-milling standard (TSISO8688-1) assumes the cutting tool is worn.

Table 2. Cutting Parameters

Cutting Parameter	1	2	3
Cutting-speed, V_c [m/min]	50	100	150
Feed Rate, f_z [mm/tooth]	0.05		
Axial depth of cut, a_p [mm]	0.1		
Radial depth of cut, a_e [mm]	15		

III. RESULTS AND DISCUSSION

A- MICRO-HARDNESS OF HARD-COATINGS

The maximum load of 50 mN for the coatings and the maximum load of 1000 mN for the substrate were used to measure the microhardness. The measurements in the load-displacement graph that considerably deviated from the overall trend were removed to improve the dependability of the results. The hardness of the coatings was calculated as the mean of the remaining values, which were frequently around twenty. The measurements in the load-displacement graph that considerably deviated from the overall trend were removed to improve the dependability of the results. The hardness of the coatings was calculated as the mean of the remaining values, which were frequently around twenty. Tab. 3. shows the micro-hardness and thickness measurements of single-layer TiAlN and TiN and nano-layer AlTiN/TiN coatings. As realized from the table, TiAlN single layer coating has the highest micro-hardness, followed by nano-layer AlTiN/TiN and TiN coatings.

Table 3. Hardness and thickness of the hard-coatings

Coating	Hardness [HV]	Thickness [μm]
nanolayer AlTiN/TiN	3417	4.2
TiAlN	4969	5.7
TiN	3044	3.3

B- TOOL LIFETIME

To finish the life of the cutting tool, two separate values were employed as criterion. The amount of flank wear is 0.35 mm, while the amount of notch wear is 0.80 mm. The cutting-tools are considered worn when they reach these wear amounts. Figure 2 shows the tool-life at 50 m/min cutting-speed based on the cutting-length.

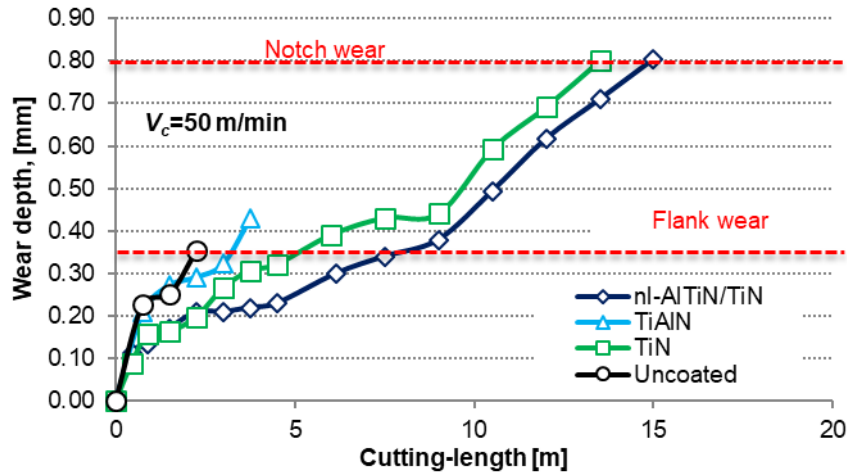


Figure 2. Tool-life at 50 m/min cutting-speed depending on cutting-length

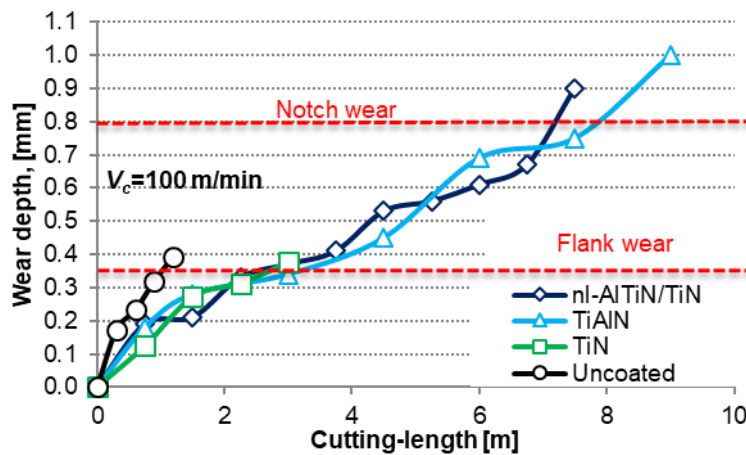


Figure 3. Tool-life at 100 m/min cutting-speed depending on cutting-length

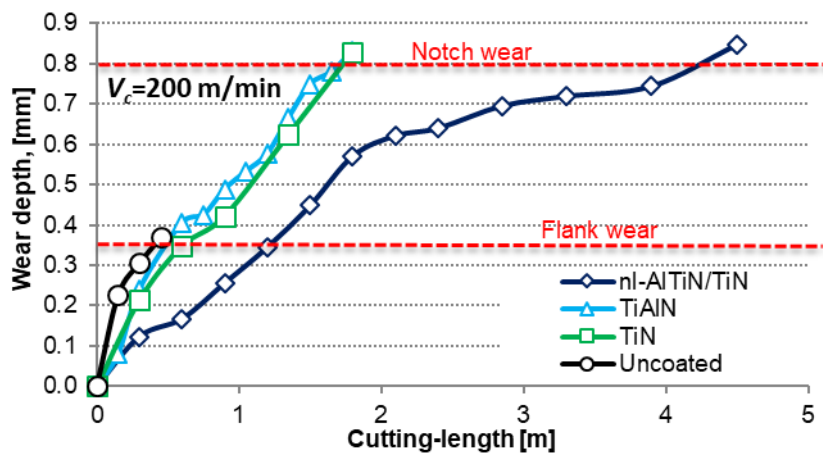


Figure 4. Tool-life at 200 m/min cutting-speed depending on cutting-length

All coated cutting-tools showed more tool-life than uncoated ones. The cutting tool-life of a nano-layer AlTiN/TiN coated tool was created to be seven times longer than that of an uncoated tool and TiAlN and TiN-coated tools with 15 m cutting-length. At first cutting parameter, TiAlN coated, and uncoated tools were worn predominately by flank wear and the others by notch wear. As a result of the lifetime criterion of 0.35 mm flank wear, the TiAlN coated tool was approved to finish its lifespan early.

Figure 3 shows the tool-life for several coated cutting-tools at second cutting parameter, depending on the cutting-length. In this case, flank wear criteria were applied to uncoated and TiN coated tools. The nano-layer AlTiN/TiN and TiAlN coated tool showed notch wear as tool failure. Nanolayer AlTiN/TiN and TiAlN coated tool presented almost the same tool wear progress, while TiAlN outperformed around notch wear criteria with a cutting-length of ~8 m.

Figure 4 shows the tool-life for various coated cutting-tools, allied with the cutting-length, at third cutting parameter. All the coated tools had notch wear at third cutting parameter, except the uncoated tool. With a cutting-length of 4.5 m, the nano-layer AlTiN/TiN coated tool had a longer tool-life than the other tools, with a cutting-length of 10 times that of the uncoated one. TiAlN and TiN coated cutting-tools showed a similar cutting-length of ~1.8 m. It is seen that cutting-tools coated with nano-layer hard-coating have higher tool-life at high cutting-speeds than single-layer coated cutting-tools.

C- ANALYSIS OF TOOL WEAR

The worn cutting-tools with different hard-coatings and uncoated ones are given in Figure 5. Wear types and mechanisms on the worn tools were summarized in Table 4 and ordered according to their dominance on the tool. As seen from the figure, uncoated tools demonstrated flank wear at all parameters. Flank wear was detected with the TiN coated tool at second cutting parameter, while notch wear was the leading wear type at the first and third cutting parameters. TiAlN coated tool demonstrated flank wear at first cutting parameter, notch wear becomes dominant wear type at higher cutting-speeds. In the nano-layer, AlTiN/TiN coated tools, notch wear was leading tool disappointment at all cutting-speeds.

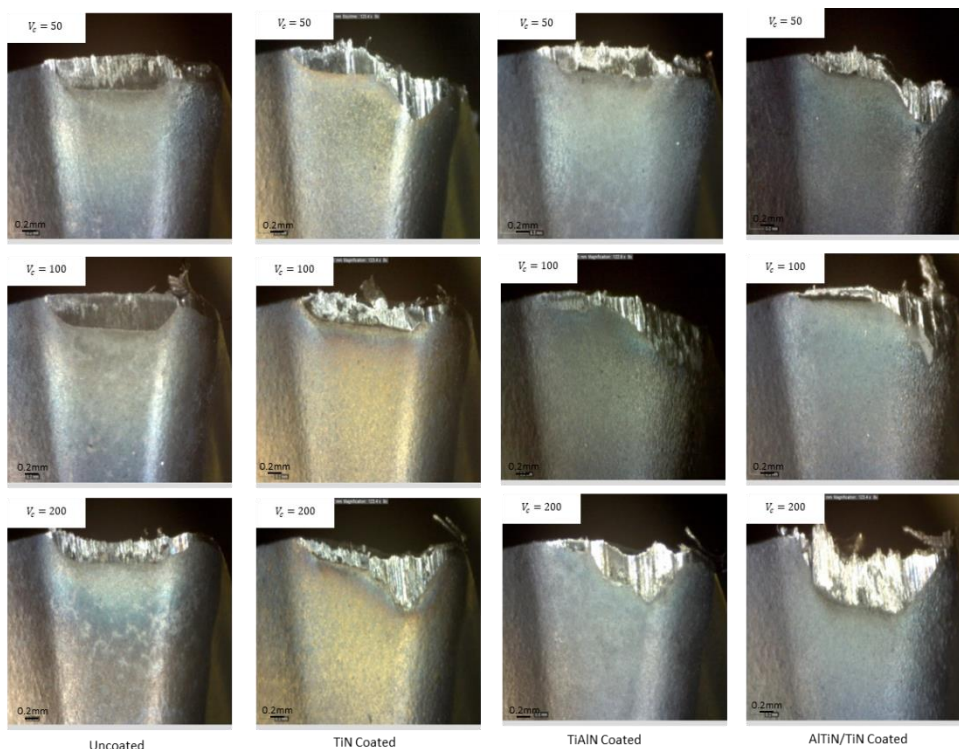


Figure 5. Worn cutting-tools

Table 4. A summary of wear type and mechanism on the worn cutting-tools

Coating	Cutting-speed (m/min)	Wear Type	Wear mechanism
Uncoated	50	Flank wear, Chipping, Build-up-edge, Seizure	Abrasion, Adhesion, Oxidation
Uncoated	100	Flank wear, Chipping, Seizure	Abrasion, Adhesion, Oxidation
Uncoated	200	Flank wear, Chipping, Seizure	Abrasion, Adhesion, Oxidation
TiN	50	Build-up-edge, Notch wear, Flank wear, Chipping, Seizure	Abrasion, Adhesion, Oxidation
TiN	100	Build-up-edge, Chipping, Flank wear, Seizure	Abrasion, Adhesion, Oxidation
TiN	200	Notch wear, Chipping, Build-up-edge, Seizure	Abrasion, Adhesion, Oxidation
TiAlN	50	Flank wear, Chipping, Seizure	Abrasion, Adhesion, Oxidation
TiAlN	100	Notch wear, Flank wear, Chipping, Breakage, Seizure	Abrasion, Adhesion, Oxidation
TiAlN	200	Notch wear, Chipping, Flank wear, Seizure	Abrasion, Adhesion, Oxidation
AlTiN/TiN	50	Notch wear, Chipping, Flank wear, Seizure	Abrasion, Adhesion, Oxidation
AlTiN/TiN	100	Notch wear, Chipping, Build-up-edge, Flank wear, Seizure	Abrasion, Adhesion, Oxidation
AlTiN/TiN	200	Notch wear, Chipping, Build-up-edge, Seizure	Abrasion, Adhesion, Oxidation

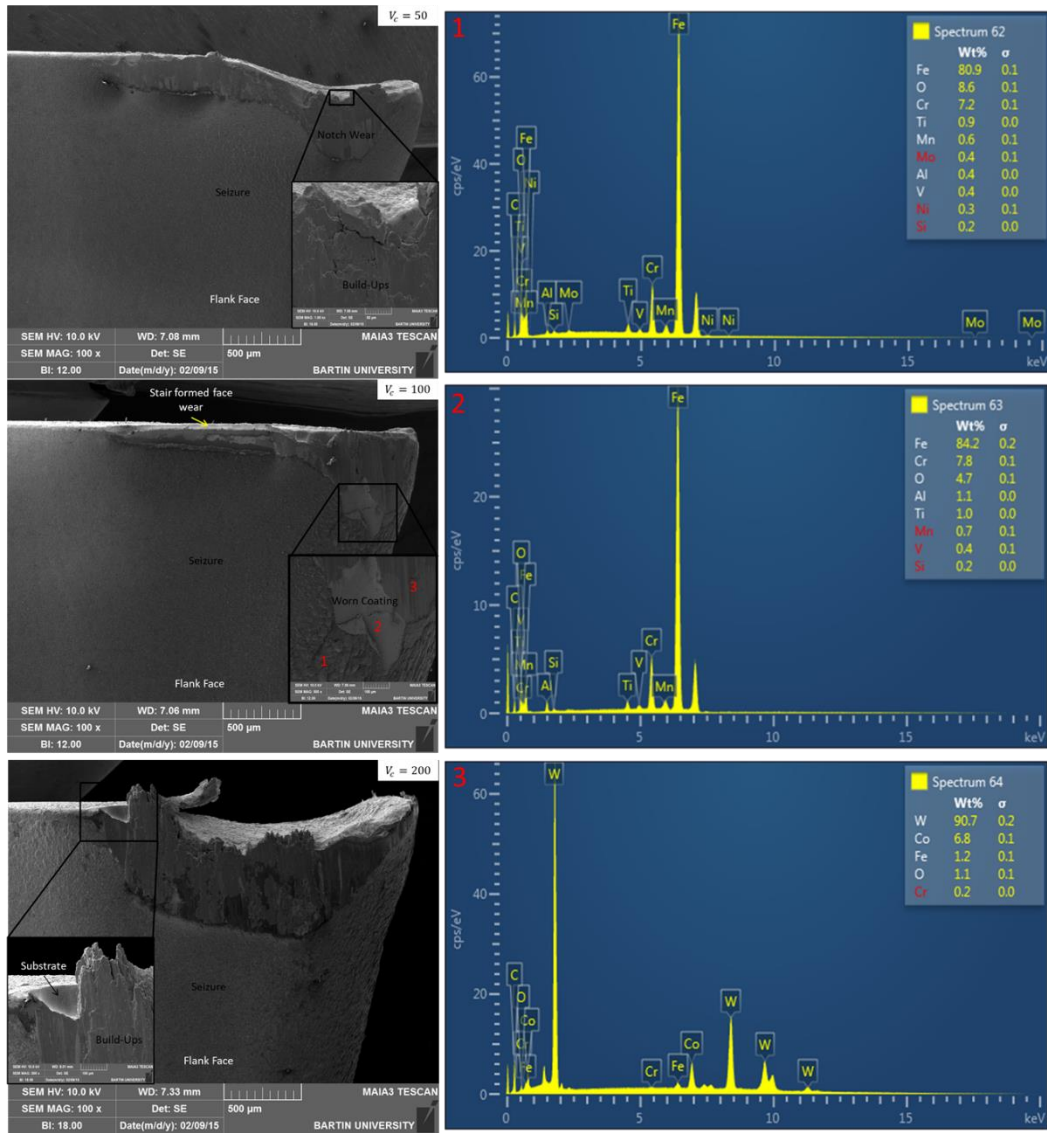


Figure 6. EDS analysis and SEM images of AlTiN/TiN Coated worn tools

Abrasion, work-piece adhesion, and oxidation were dominant tool wear mechanisms on all the tools with different amounts. Scanning Electron Microscopy pictures of the worn nano-layer AlTiN/TiN coated tools obtained at cutting-speeds 50, 100, and 200 m/min are given in Fig. 6. Seizure zone, built-up-edge, exposed substrate material, and worn coating were recognized on the cutting-tools by SEM pictures and EDS analysis. As the cutting-length increases, the wear of the hard-coatings deposited on the cutting-tools rises, and the substrate material of the cutting tool is further damaged. When the area of the substrate material got larger, the cutting temperature of the cutting edge increased. The cutting-edge temperature reached approximately 1100o C at this temperature; the coating lost its defensive ability, and so Seizure at the flank face could be observed. The worn substrate zone was shaped by sliding and rubbing by chips. Worn substrate zone EDS was analysis seen in Fig. 6, the point of 2. Seizure zones have occurred due to the work-piece obeying the cutting tool. Seizure zones EDS analysis was presented in Fig. 6, the point of 3. BUE formation is seen on the cutting tool's flank face, the hard-coating zone, and the substrate material of the cutting tool. Because of the high temperature in the cutting-zone, the welding of the work-piece material to the cutting tool causes BUE production. BUE zone EDS analysis was presented in Fig. 6, the point of 2. [36–39]. Wear zones had different wear mechanisms. Abrasion appears to be the effective wear

mechanism in all worn tools. Submitted substrate material started widening with increased cutting-length, and the temperature at the cutting area became higher; for this reason, diffusion wear mechanism became leading, and then creating craters on the flank face. Seizure and adhesion, abrasion, and diffusion wear mechanisms were caused by the zones of built-up edges.

D- CUTTING FORCES

This section gives the graphs obtained with the cutting-forces measured in the first 150 mm cutting-length with all cutting-tools. The values after a specific progress value (30 mm cutting-length) were used for the calculations to compare the measured values accurately with each other. This section only compares the values of the cutting-forces obtained by milling tests with nAlTiN/TiN coated cutting-tools and uncoated cutting-tools. Compared to uncoated and single-layer coated tools, lower cutting-force values were measured with nano-layer coated cutting-tools.

The comparison of the cutting-forces measured in milling tests at first cutting parameter with uncoated and nano-layered nAlTiN/TiN coated cutting-tools are seen in Fig. 7 a. Accordingly, the values of the cutting-forces measured with nano-layered nAlTiN / TiN cutting-tools in all cutting-force components were lower than those measured with uncoated cutting-tools. Furthermore, it is seen that in all cutting-force mechanisms, the cutting-forces gained with the uncoated cutting tool are received with more fluctuations than those with the coated one.

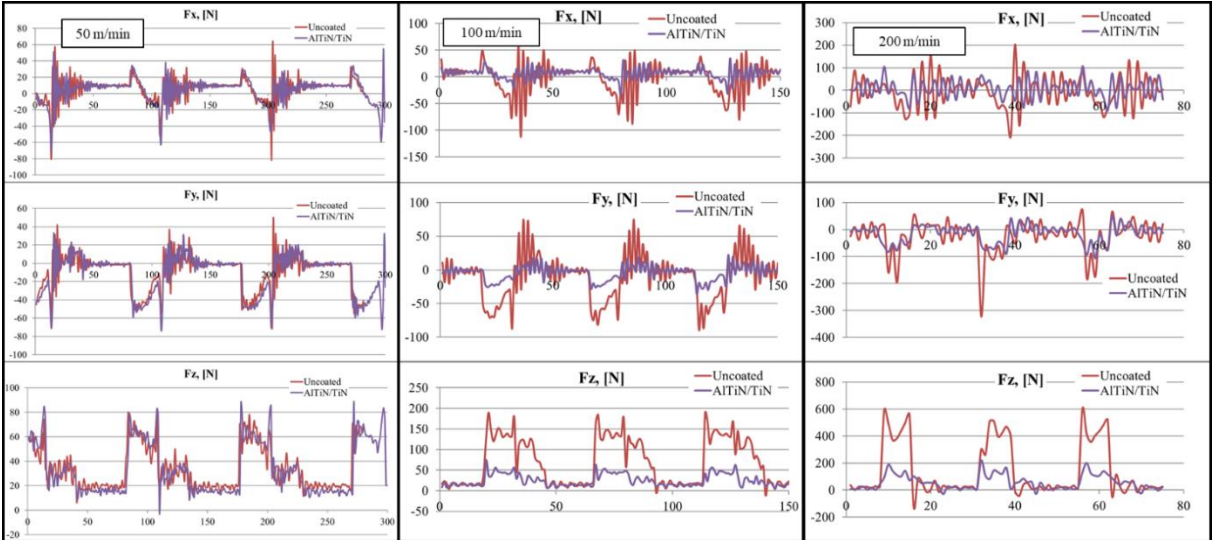


Figure 7. Cutting-forces comparison measured at a cutting-speed of 50, 100, 200 m/min

The comparison of the cutting-forces (F_x , F_y , F_z components) measured in milling tests at a cutting-speed of 100 m/min with uncoated and nano-layered nAlTiN/TiN coated cutting-tools are seen in Fig. 7. In all components of the cutting-force, the nano-layer coated carbide cutting tool showed higher cutting performance than the uncoated one. The most significant improvement in the F_z cutting-force component, which has the most significant impact on the cutting tool material wear behavior, has been achieved in the face-milling operations. The milling process with innovative nano-layer hard-coated cutting-tools deposited on the cutting tool material is thought to advance cutting performance because of the low friction coefficient provided by the hard-coating.

Comparing the cutting-forces (F_x , F_y , F_z components) measured in milling tests at a 200 m/min cutting-speed with uncoated and nano-layered nAlTiN/TiN coated cutting-tools are seen in Fig. 7. As with the previous cutting-speeds, lower cutting-force values were obtained in milling operations with nano-layer cutting-tools than milling tests with uncoated cutting-tools.

IV. CONCLUSIONS

In this work, the effect of nano-layer hard-coated carbide cutting-tools on cutting tool-life and cutting-forces in the processing of AISI D2 steel was investigated. In addition, the wear behavior of the worn carbide cutting-tools was investigated. All the results obtained after all applied tests are as follows.

- An increase in the cutting-tools' tool-life has been observed at all cutting-speeds thanks to the coating material.
- 15 m cutting-length has been reached with a nano-layer cutting tool at 50 m / min cutting-speed. Compared to the test results with uncoated cutting-tools, approximately seven times more tool-life has been achieved.
- At cutting parameter nano-layer, AlTiN/TiN and TiAlN coated tool presented almost the same tool wear progress, while TiAlN outperformed around notch wear criteria with cutting-length of ~8 m.
- At 200 m/min cutting-speed nano-layer, AlTiN/TiN coated tool showed longer cutting-length than the other cutting-tools, foremost to ~ ten times longer tool-life than the uncoated one.
- After the tool-life tests applied at a cutting-speed of 100 m/min, the worn TiN coated cutting tool observed flank wear; at first and third cutting parameters, notch wear was observed.
- TiAlN coated tool demonstrated flank wear at low cutting-speed; notch wear becomes the leading wear type at advanced cutting-speeds.
- In nano-layer coated tools, notch wear led to tool disappointment at all cutting-speeds.
- Abrasion, adhesion of work-piece, and oxidation were dominant tool wear mechanisms on all the
- Built-up-edge, seizure zone was identified on both cutting-tools.
- The milling process with innovative nano-layer hard-coated cutting-tools deposited on the cutting tool material improves cutting performance because of the hard-coating's low friction coefficient compared to the uncoated one.

It is planned to examine the performance of the same hard-coating in the machining of other hard work-piece materials in future investigations.

ACKNOWLEDGMENT: I want to thank Professor Peter PANJAN from Jožef Stefan Institute for his outstanding contribution to hard-coatings production.

V. REFERENCES

- [1] L. Smith and P. Ball, "Steps towards sustainable manufacturing through modelling material, energy and waste flows," *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 140, no. 1, pp. 227–238, 2012, doi: 10.1016/j.ijpe.2012.01.036.
- [2] P. Krajnik, F. Pusavec, and A. Rashid, "Nanofluids: properties, applications and sustainability aspects in materials processing technologies BT - advances in sustainable manufacturing: Proceedings of the 8th Global Conference on Sustainable Manufacturing," G. Seliger, M. M. K. Khraisheh, and I. S. Jawahir Eds. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2011, pp. 107–113.
- [3] B. Kursuncu and A. Yaras, "AISI O2 takım çeliğinin frezelenmesinde minimum miktarda yağlama (MQL) sisteminin kesme performansına etkisi," *Mühendislik ve Teknol. Bilim. Derg.*, vol. 5, no. 2, pp. 125–128, 2018.
- [4] Caliskan, H., Kursuncu, B., Guven, S. Y., Karaoglanli, A. C., Sabri Gok, M., & Alsaran, A. "Effect of boron nitride coating on wear behavior of carbide cutting tools in milling of Inconel 718," in *Machining, Joining and Modifications of Advanced Materials*, Singapore: Springer, 2016, pp. 13-21.

- [5] B. Kursuncu and A. Yaras, "Assessment of the effect of borax and boric acid additives in cutting fluids on milling of AISI O2 using MQL system," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 95, no. 5, pp. 2005–2013, 2018.
- [6] M. Kunca, K. Kaplan, H. M. Ertunç, and S. Küçükateş, "5 Axis CNC precision tire side machining" *Eur. J. Tech.*, vol. 6, no. 2, pp. 117–123, Aug. 2016.
- [7] A. Poomari, B. Mohan, A. Rajadurai, and A. S. Kumar, "Wear performance of Ti-Al-N coated and cryogenically treated cermet tools while machining Aisi 4340 steel," *Adv. Mater. Res.*, vol. 622–623, pp. 404–408, 2012.
- [8] W. Li, Y. B. Guo, M. E. Barkey, and J. B. Jordon, "Effect tool wear during end milling on the surface integrity and fatigue life of Inconel 718," *Procedia CIRP*, vol. 14, pp. 546–551, 2014.
- [9] B. Kursuncu, H. Caliskan, S. Y. Guven, and P. Panjan, "Improvement of cutting performance of carbide cutting tools in milling of the Inconel 718 superalloy using multilayer nanocomposite hard coating and cryogenic heat treatment," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 97, no. 1–4, pp. 467–479, 2018.
- [10] B. Kursuncu, H. Caliskan, S. Y. Guven, and P. Panjan, "Wear behavior of multilayer nanocomposite TiAlSiN/TiSiN/TiAlN coated carbide cutting tool during cace milling of Inconel 718 superalloy," *J. Nano Res.*, vol. 47, no. December, pp. 11–16, 2017.
- [11] S. S. Gill, R. Singh, H. Singh, and J. Singh, "Wear behaviour of cryogenically treated tungsten carbide inserts under dry and wet turning conditions," *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, vol. 49, no. 3–4, pp. 256–260, 2009.
- [12] Chetan, S. Ghosh, and P. V. Rao, "Performance evaluation of deep cryogenic processed carbide inserts during dry turning of Nimonic 90 aerospace grade alloy," *Tribol. Int.*, vol. 115, pp. 397–408, Nov. 2017.
- [13] S. Zhang, J. F. Li, and Y. W. Wang, "Tool life and cutting forces in end milling Inconel 718 under dry and minimum quantity cooling lubrication cutting conditions," *J. Clean. Prod.*, vol. 32, pp. 81–87, 2012.
- [14] J. Sharma and B. S. Sidhu, "Investigation of effects of dry and near dry machining on AISI D2 steel using vegetable oil," *J. Clean. Prod.*, vol. 66, pp. 619–623, Mar. 2014.
- [15] J. Gu, G. Barber, S. Tung, and R.-J. Gu, "Tool life and wear mechanism of uncoated and coated milling inserts," *Wear*, vol. 225–229, pp. 273–284, 1999.
- [16] G. M. Krolczyk, P. Nieslony, R. W. Maruda, and S. Wojciechowski, "Dry cutting effect in turning of a duplex stainless steel as a key factor in clean production," *J. Clean. Prod.*, vol. 142, pp. 3343–3354, Jan. 2017.
- [17] I. Ucu, K. Aslantas, and F. Bedir, "The performance Of DLC-coated and uncoated ultra-fine carbide tools in micromilling of Inconel 718," *Precis. Eng.*, vol. 41, pp. 135–144, 2015.
- [18] H. Caliskan, C. C. Celil, and P. Panjan, "Effect of multilayer nanocomposite TiAlSiN/TiSiN/TiAlN noating on wear behavior of carbide tools in the milling of hardened AISI D2 steel," *J. Nano Res.*, vol. 38, pp. 9–17, 2016.
- [19] A. Biksa et al., "Wear behavior of adaptive nano-multilayered AlTiN/MexN PVD coatings during machining of aerospace alloys," *Tribol. Int.*, vol. 43, no. 8, pp. 1491–1499, 2010.
- [20] C. Mitterer, P. Losbichler, and F. Hofer, "Nanocrystalline hard coatings within the quasi-binary

system TiN–TiB₂,” *Vacuum*, vol. 50, no. 3, pp. 313–318, 1998.

[21] J. E. Sundgren, “B. O. Johansson, SE Karlsson and HTG Hentzell,” *Thin Solid Films*, vol. 105, pp. 367, 1983.

[22] D. McIntyre, J. E. Greene, G. Håkansson, J. Sundgren, and W. Münz, “Oxidation of metastable single-phase polycrystalline Ti_{0.5}Al_{0.5}N films: Kinetics and mechanisms,” *J. Appl. Phys.*, vol. 67, no. 3, pp. 1542–1553, 1990.

[23] V. H. Derflinger, A. Schütze, and M. Ante, “Mechanical and structural properties of various alloyed TiAlN-based hard coatings,” *Surf. Coatings Technol.*, vol. 200, no. 16–17, pp. 4693–4700, 2006.

[24] J. Hsieh, C. Liang, C. Yu, and W. Wu, “Deposition and characterization of TiAlN and multi-layered TiN/TiAlN coatings using unbalanced magnetron sputtering,” *Surf. Coatings Technol.*, vol. 108–109, pp. 132–137, 1998.

[25] Y. Y. Chang and H. M. Lai, “Wear behavior and cutting performance of CrAlSiN and TiAlSiN hard coatings on cemented carbide cutting tools for Ti alloys,” *Surf. Coatings Technol.*, vol. 259, no. PB, pp. 152–158, 2014.

[26] R. Haubner, M. Lessiak, R. Pitonak, A. Köpf, and R. Weissenbacher, “Evolution of conventional hard coatings for its use on cutting tools,” *Int. J. Refract. Met. Hard Mater.*, vol. 62, pp. 210–218, 2016.

[27] C.-L. Chang, J.-W. Lee, and M.-D. Tseng, “Microstructure, corrosion and tribological behaviors of TiAlSiN coatings deposited by cathodic arc plasma deposition,” *Thin Solid Films*, vol. 517, no. 17, pp. 5231–5236, Jul. 2009.

[28] H. Caliskan, C. Kurbanoglu, D. Kramar, P. Panjan, and J. Kopac, “Hard milling operation of AISI O2 cold work tool steel by carbide tools,” *Engineering Science & Technology, an International Journal*, vol. 15, no. 1, pp. 21–26, 2012.

[29] H. Caliskan, C. Kurbanolu, P. Panjan, M. cekada, and D. Kramar, “Wear behavior and cutting performance of nanostructured hard coatings on cemented carbide cutting tools in hard milling,” *Tribol. Int.*, vol. 62, pp. 215–222, 2013.

[30] M. Yao, “Performance of nanolayer CrN/Ag coated cutting tools,” *Surf. Eng.*, vol. 27, no. 3, pp. 180–189, 2011.

[31] J. Yi et al., “Effects of Ni content on microstructure, mechanical properties and Inconel 718 cutting performance of AlTiN-Ni nanocomposite coatings,” *Ceram. Int.*, no. August, pp. 0–1, 2018.

[32] J. Patscheider, “Nanocomposite hard coatings for wear protection,” *MRS Bull.*, vol. 28, no. 03, pp. 180–183, 2003.

[33] C. Kannan, R. Ramanujam, and A. S. S. Balan, “Machinability studies on Al 7075/BN/Al₂O₃ squeeze cast hybrid nanocomposite under different machining environments,” *Mater. Manuf. Process.*, vol. 33, no. 5, pp. 587–595, 2018.

[34] H. Caliskan, C. Kurbanoglu, P. Panjan, and D. Kramar, “Investigation of the performance of carbide cutting tools with hard coatings in hard milling based on the response surface methodology,” *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 66, no. 5–8, pp. 883–893, 2013.

[35] N. H. Rafai, M. A. Lajis, and N. A. J. Hosni, “Performance of TiAlN-PVD coated carbide tools in milling AISI D2 hardened steels,” *World Academy of Science, Engineering and Technology*, vol. 77,

pp. 1481–1485, 2013.

[36] B. Kursuncu, “Influence of cryogenic heat-treatment soaking period and temperature on performance of sintered carbide cutting tools in milling of Inconel 718,” *Int. J. Refract. Met. Hard Mater.*, vol. 92, pp. 105323, 2020.

[37] B. Kursuncu, H. Caliskan, S. Y. Guven, and P. Panjan, “Improvement of cutting performance of carbide cutting tools in milling of the Inconel 718 superalloy using multilayer nanocomposite hard coating and cryogenic heat treatment,” *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 97, no: 1, pp. 467-469, 2018.

[38] B. Kursuncu and Y. E. Biyik, “Optimization of cutting parameters with Taguchi and grey relational analysis methods in MQL-assisted face milling of AISI O2 steel,” *J. Cent. South Univ.*, vol. 28, no: 1, 2021.


[39] V. V. Cay, “Effects of abrasive particle type, load and sliding distance on micro-abrasion resistance of high speed steel coated with AlCrN or AlTiN,” *Materials Science (Medžiagotyra)*, vol. 27, no: 1, pp. 50-56, 2021.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Yerçekimi Güdümlü Yağ-su Ayırımı için Yeşil Polikaprolakton/Polihidroksibütirat Nanolifli Membranların Tek Basamaklı Üretimi

 Fatma Bayram Sariipek^{a,*},

^a Kimya Mühendisliği Bölümü, Doğa Bilimleri ve Mühendislik Fakültesi, Konya Teknik Üniversitesi, Konya,
TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: fsariipek@ktun.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1099168

Öz

Endüstriyel organik çözücü emisyonlarının ve petrol sızıntılarının sık görülmesi ile yüksek verimli yağ-su ayırma malzemelerinin geliştirilmesi büyük önem kazanmıştır. Bu çalışmada, yağ-su ayırma için polikaprolakton/polihidroksibütirat (PCL/PHB) nanolifli matlar paslanmaz çelik elek yüzeyler üzerinde tek basamaklı elektroğirme yöntemi ile başarılı bir şekilde üretildi. Elde edilen biyobazlı lifli matların yüzey morfolojisi Alan Emisyonlu Taramalı Elektron mikroskopisi (FE-SEM) ile analiz edildi. Ayrıca hazırlanan tüm örneklerinin kimyasal yapılarını açığa çıkarmak ve ıslanma özelliklerini incelemek için Fourier Dönüşümlü Kızılötesi spektroskopisi (FT-IR) ve temas açısı ölçüm cihazı kullanıldı. Hazırlanan yeşil PCL/PHB nanolifli membranların ıslanabilirliği üzerine yapılan çalışmalar, membran yüzeylerinin mükemmel hidrofobik ve süperoleofilik özelliğe sahip olduklarını gösterdi. Ölçülen su temas açısı değerleri biyopolimer katkı oranlarına ve elek boyutuna bağlı olarak değişkenlik gösterdi. Paslanmaz çelik elekler üzerinde elde edilen PCL/PHB biyokompozit nanofiber matların maksimum su temas açısı değeri 144.8° olarak ölçülürken yağ temas açısı değeri ise sıfıra yakın olarak ölçüldü. Çelik elekler üzerinde elde edilen hidrofobik ve süperoleofilik PCL/PHB biyonanolifli membranlar doğrudan yerçekimi güdümlü yağ-su ayırımı için kullanıldı ve ekstra herhangi bir kuvvet veya kimyasal reaktif kullanmaksızın ağ boyutuna ve biyopolimer karışım oranlarına bağlı olarak en yüksek %97.4'lük yüksek bir ayırma verimliliği değeri gözlemlendi.

Anahtar Kelimeler: PCL, PHB, Elektroğirme tekniği, Hidrofobisite, Süper-oleofilisite, Yağ-su ayırımı

One Step Fabrication of Green Polycaprolactone/Polyhydroxybutyrate Nanofibrous Membranes for Gravity-driven Oil-water Separation

ABSTRACT

With the frequent occurrence of industrial organic solvent emissions and oil spills, the development of oil-water separation materials with high efficiency has gained great importance. In this study, polycaprolactone/polyhydroxybutyrate (PCL/PHB) nanofiber mats were successfully fabricated by single-step electrospinning on stainless steel mesh surfaces for oil-water separation. The surface morphology of the obtained biobased fiber mats was analyzed by Field Emission Scanning Electron microscopy (FE-SEM). In addition, Fourier Transform Infrared spectroscopy (FT-IR) and contact angle measurement device were used to reveal the chemical structures and to examine their wetting properties of all prepared samples. Studies on the wettability of the prepared green PCL/PHB nanofibrous membranes have shown that the membrane surfaces have excellent

hydrophobic and super-oleophilic properties. The measured water contact angle values varied depending on the biopolymer adding ratios and the mesh size. While the maximum water contact angle value of PCL/PHB biocomposite nanofiber mats obtained on stainless steel meshes was measured as 144.8°, the oil contact angle value was measured close to zero. Hydrophobic and superoleophilic PCL/PHB bionanofiber membranes obtained on stainless steel meshes were used directly for gravity driven oil-water separation and a high separation efficiency value of 97.4% was observed, depending on the mesh size and biopolymer adding ratios, without using any extra force or chemical reagents.

Keywords: PCL, PHB, Electrospinning technique, Hydrophobicite, Super-oleophilicite, Oil-water separation

I. GİRİŞ

Deniz taşımacılığı sırasında sık rastlanan kazara petrol sızıntıları, yağlı endüstriyel atık sular ve kirli okyanus suları ekolojik çevre ve insan sağlığı üzerinde uzun vadeli zararlı etkilere neden olmuştur [1-3]. Çökeltme tankları, adsorbe ediciler, santrifüjler, mekanik ayırıcılar, koagülasyon ve yüzdürme gibi yağ-su ayırma için geliştirilen yerçekimi esaslı mevcut yöntemler, düşük ayırma verimliliği, zayıf seçicilik, yüksek enerji tüketimi ve yavaş çalışma ile sınırlıdır [4-8]. Bu nedenle, verimli yağ-su ayırma için çevre dostu, seçici, uygulaması kolay ve ucuz bir yaklaşımın geliştirilmesi zaruri hale gelmiştir.

Doğadaki unsurların öykünmesi olarak tanımlanabilen biyomimetri, işlevsel malzemelerin tasarımında etkili bir yaklaşımdır. Islanabilen veya ıslanamayan yüzeyler açısından, sentetik malzemelerin geliştirilmesi için birçok model sunmaktadır. Örneğin, doğada süperhidrofobik yüzeylere sahip çeşitli bitki ve hayvanlar (nilüfer çiçeği, kelebek kanadı, su örümceği bacağı gibi) 150°den büyük su temas açıları ve 10°den daha az kayma açıları sergilemektedir ve bu yüzeylere ufak bir eğim verildiğinde su damlalarının yuvarlanarak yüzey üzerindeki kirliliklerin uzaklaştırıldığı gözlenmiştir. Bu gözlem birçok araştırmacıya biyo-ilhamlı süperhidrofobik yüzeyler geliştirme konusunda ilham kaynağı olmuştur [9, 10]. Son yıllarda nilüfer yaprağından esinlenen hem süperhidrofobik hem de süperoleofilik özelliklere sahip yüzeyler, yağlı karışımları ayırmak için alternatif bir yol sunmuştur [11, 12]. Yağlı bir karışımdaki yağın sudan ayrılması çoğunlukla bir arayüz olayı olduğundan, araştırmacılar yüzey işlevselleştirme yoluyla yüzeylerin ıslanabilirlik kontrolüne dayalı etkili ve basit ayırıcılar geliştirmeye çalışmaktadırlar [13, 14]. Prensipten olarak, bir yüzeyin ıslanabilirliği yüzey pürüzlülüğü ve yüzey kimyası ile ilişkilendirilmektedir [15]. Yüzey pürüzlülüğünün, akışkan ara yüzünün katı ile kesiştiği temas hattının dinamikleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu da bilinmektedir [16]. Nilüfer yaprağı üzerine hegzadekan gibi düşük yüzey gerilimine ($\gamma_{lv} = 27.5$ mN/m) sahip bir sıvı dağıtıldığında lotus yaprağı boyunca $\sim 0^\circ$ lik bir temas açısıyla sonuçlanmaktadır. Bu nedenle, katı bir yüzeyin yüzey gerilimi su ve yağ arasındaki bir değere sahip ise hem hidrofobik hem de oleofilik özellik gösterebilmektedir. Çoğunlukla süperhidrofobik yüzeyler oldukça pürüzlü yapılarından ötürü süperoleofilik özellik göstermektedir. Çünkü bu yüzeyler genel olarak yüzey enerjisi yağa benzer malzemeler içermektedir ve dolayısıyla sudan oldukça farklıdır. Yağın yağlı su karışımlarından seçici olarak uzaklaştırılmasını sağlamak için en basit yaklaşım, petrol ve su arasında bir yüzey enerjisine sahip bir malzemeden yapılmış delikli veya gözenekli bir membran malzemesi kullanmaktır. Yağ-su ayırma için literatürde birçok çalışma; tekstiller, metal elekler, süngerler ve filtre kağıtları gibi gözenekli malzemelerin süperhidrofobik ve/veya süperoleofilik yüzey modifikasyonlarına odaklanmıştır [17-20].

Gelişmiş bir arıtma ve ayırma yöntemi olan membran teknolojisi, sürekli çalışma kolaylığı, düşük enerji maliyeti, yüksek verimlilik ve çeşitli endüstriyel atık sulara uygulanabilirliği ile giderek daha fazla dikkat çekmiştir. Son yıllarda yağ-su ayırma çalışmaları için membranların hazırlanmasında poliviniliden florid (PVDF), polisülfon (PSF) ve polistiren (PS) gibi petrol esaslı polimerik malzemeler yaygın olarak kullanılmaktadır [21-23]. Ancak bu malzemeler kullanımdan sonra biyobozunurluk ve fotoliz yoluyla biyojeokimyasal döngüye girememekte ve bu yüzden ikincil bir kirlilik oluşturmaktadırlar. Ayrıca petrobazlı polimerik membranlar, su kaynakları ve su ekolojisi için zehirli ve yıkıcıdır. Üstelik günümüzde ham petrol fiyatlarının belirsizliği ve petrol kaynaklarının tükenmesinin yanı sıra petrol bazlı polimerlerin neden olduğu olumsuz çevresel etkileri büyük bir endişe kaynağı

olmaya devam etmektedir. Bu nedenle, uygun ve çevre dostu bir malzeme aramak araştırmaların odak noktası haline gelmiştir. Bunun için membran üretiminde yenilikçi sürdürülebilir bir strateji, doğal koşullarda bozulabilen biyolojik olarak parçalanabilen polimerlerin kullanılmasıdır. Biyobozunur polimerler kolaylıkla ayrıştırılabildikleri için petrol bazlı polimerlere iyi birer alternatiflerdir. Biyobozunurluk ve biyoyumluluk gibi olağanüstü özelliklere sahip PCL, en umut verici çevre dostu biyomalzemelerden biri olarak kabul edilmektedir. PCL, mikro organizmalar tarafından ve ester bağlarının hidrolizi ile ikincil bir etki olmadan bozulabilir [24]. Bununla birlikte, hidrofobik doğası nedeniyle bozulma oranı yavaştır (2-3 yıl). PCL kolayca farklı polimerlerle karışımlar oluşturabilmekte ve çok çeşitli çözücülerde çözünebilmektedir [25]. Biyoyumluluğun ve biyobozunurluğun sağladığı elverişli özellikleri nedeniyle, PCL'un içerisine silika nano parçacık gibi farklı katkı maddeleri yükleyerek veya başka bir polimer ile blendleri hazırlanarak yağ-su ayırma uygulamaları için kullanılabilir [26-28]. Ayrıca, PCL nanolifli membranlar havada hidrofobiklik ve su altında oleofilik özellik göstermektedir ki bu da yağ-su ayırma membranlarının hazırlanmasında kolaylık sağlar. Ayrıca PCL, UV ve kimyasal direnç dahil olmak üzere çok çeşitli ilginç özelliklere sahiptir [14]

Polihidroksialkanoat ailesinin en iyi karakterize edilmiş üyesi olan poli(hidroksibütirat) (PHB), en dikkat çekici biyobozunur polimerlerden biridir [29]. Biyoyumluluğu, toksik olmayışı, mekanik dayanımı, nispeten yüksek erime noktası ve toksik yan ürünleri olmayan su ve karbondioksit'e tamamen ayrışması PHB'ı tıbbi, tarımsal ve endüstriyel alanlardaki uygulamalar için cazip bir kaynak haline getirmektedir [30]. PCL gibi hidrofobik doğaya sahip olan PHB sulu ortamdan yağın seçici sorpsiyonu için polilaktik asit (PLA) ile blendleri hazırlanarak elektroğirme yöntemi ile PHB/PLA nanolifli matları üretilmiş ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir [31, 32].

Günümüzde yağ-su ayırımında kullanılmak üzere membran malzemelerin üretilmesi için çözelti dökme, daldırarak kaplama, sol-jel, sprej kaplama, elektrokimyasal biriktirme, kimyasal buhar biriktirme ve elektroğirme gibi birçok yöntemler kullanılmaktadır [33-39]. Bu yöntemler arasında, bir polimer işleme tekniği olan elektroğirme, basitliği, işlevsel çok yönlülüğü, maliyet etkinliği, yüksek esneklik ve mükemmel ayırma performansı gibi avantajlı özellikleri nedeniyle yağ-su ayırımı için membran malzemeleri üretiminde son yirmi yıldır büyük ilgi görmektedir [40]. Elektro-ğirme ile, elektrikli bir sıvıdan yaklaşık 1 mm ila 10 nm arasında değişen çaplarda pürüzsüz sürekli lifler üretmek mümkündür. Elektroğirme yöntemi ile üretilen süperhidrofobik yüzeyler, nano ölçekli pürüzlü yüzey morfolojileri, yüksek gözenekli yapıları, mikron altı gözenek boyutları, geniş yüzey alanı/hacim oranı ve yüksek geçirgenlik gibi birçok avantaj sunmaktadır. Elektro-ğirme ile poliviniliden florür, florlu benzoksazin, poli(metil metakrilat) kopolimer, polistiren/poliakrilonitril, poliüretan dahil olmak üzere çeşitli süperhidrofobik nano lifli membran hazırlanmıştır. Elektrospon membranlarda yüzey enerjisini azaltmak ve süperhidrofobikliği indüklemek için yüzey işlevselleştirme, inorganik nanopartiküllerle harmanlama ve koaksiyel elektroğirme gibi karmaşık stratejiler uyarlanmıştır. [41-46]. Ancak bu stratejilerin birçoğu, zararlı kimyasallar içeren karmaşık sentetik prosedürlere ihtiyaç duymaktadır. Ayrıca yüksek maliyet ve düşük stabiliteleri ve zorlu çevre koşullarında zayıf seçicilikleri nedeniyle pratik uygulamalar için uygun değillerdir. Bu çalışmada, PHB'nın PCL ile basit bir harmanlama stratejisi, etkili yağ suyu ayırımı için bir süperhidrofobik membran imal etmek üzere uyarlanmıştır. Birçok biyolojik olarak parçalanabilen polimer arasında PCL, yüksek mekanik ve termal kararlılığı nedeniyle süperhidrofobik yağ-su ayırma membranları yapmak için daha iyi bir aday olarak düşünülebilir. Scaffaro ve ark. yağın sudan seçici olarak emilmesi için suda çözünür porojen maddeleri (NaCl ve poli[etilen glikol]) PCL'i harmanlayarak 3D gözenekli süngerimsi membran hazırlamışlardır [47]. Saf PCL nanofiber matların yetersiz süperhidrofobikliği nedeniyle araştırmacılar, membranların süperhidrofobikliğini geliştirmek için hidrofobik maddeleri PCL içerisine katkılادılar. Wang ve Chu, elektroğirme çözeltisine hidrofobik silika nanopartiküllerin eklenmesiyle PCL/poli(metil metakrilat) (PMMA) süperhidrofobik nanolifler üretti [48]. Başka bir çalışmada Reshmi ve ark. balmumu ve polikaprolaktondan yeni bir süperhidrofobik, süperoleofilik elektrospon nanolifli membran üretilmişler ve hazırlanan membranın yüksek ayırma verimliliği ve iyi geri dönüştürülebilirlik ile sudan yağın ayırabildiğini tespit etmişlerdir. Ağırlıkça %25 balmumu içeren hibrit membran, yaklaşık $153^{\circ} \pm 2$ su temas açısı ile süperhidrofobik-süperoleofilik özellik göstermiştir [28]. Örneğin, Wang ve ark., [49] yağ-su ayırımı için elektroğirme yöntemi ile çevre dostu hidrofobik-oleofilik kitosan/PCL nanolifli

membranlar hazırlamışlar ve elde ettikleri biyo-bazlı nanofiber membran oldukça yüksek verimlilik göstermiştir. Son yıllarda araştırmacılar tarafından yağ ve suyun ayırımı için hazırlanan bu yeşil nanolifli membranlar düşük maliyetleri, yüksek seçicilikleri, çevre dostu olmaları, basitçe ayırma işlemleri ve uzun süreli yeniden kullanılabilirlikleri nedeniyle oldukça dikkat çekmektedir.

Bu çalışmanın amacı, etkili yağ-su ayırımı amacıyla elektroğirme tekniği ile çevre dostu hidrofobik-süperoleofilik membranların hazırlanmasını göstermektir. Burada, elektroğirme yöntemi ile paslanmaz çelik elekler üzerinde elde edilen PCL/PHB nanofiber matlar ilk kez yağ-su ayırımına uygulanmıştır. Toplayıcı olarak farklı elek boyutuna sahip paslanmaz çelik elekler kullanılmış ve elekler üzerinde elde edilen nanolifli matların morfolojisi, kimyasal yapısı ve ıslanma özellikleri incelenmiştir. PCL/PHB nanolifli matlar ile kaplı paslanmaz çelik elekler, verimli yağ-su ayırımı sağlayan hidrofobik-süperoleofilik hale gelmiştir. Hazırlanan yeşil hidrofobik-süperoleofilik PCL/PHB nanolifli membranlar, doğrudan yerçekimi güdümlü yağ-su ayırma için kullanılmıştır.

II. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

A. MALZEMELER VE CİHAZLAR

A.1. Kullanılan Malzemeler

Deneylerde altlık olarak kullanılan çeşitli gözenek boyutlarına (34, 61, 106 ve 283 μm) sahip paslanmaz çelik elekler Cromtel, Türkiye'den ticari olarak temin edilmiştir. Polikaprolakton granüller (PCL, $M_w = 45,000 \text{ g mol}^{-1}$), polihidroksibütirat granüller (PHB, $M_w = 500,000 \text{ g mol}^{-1}$), kloroform (CF, %99) dimetilformamid (DMF, %99.8), diklorometan (DCM, %99.8), aseton (Ac, %98) ve etil alkol (Eth, %96) Sigma-aldrich'den alınmıştır. Tüm kimyasallar analitik derecededir ve herhangi bir saflaştırma işlemine tabi tutulmaksızın alındığı gibi kullanılmıştır.

A.2. Kullanılan Cihazlar

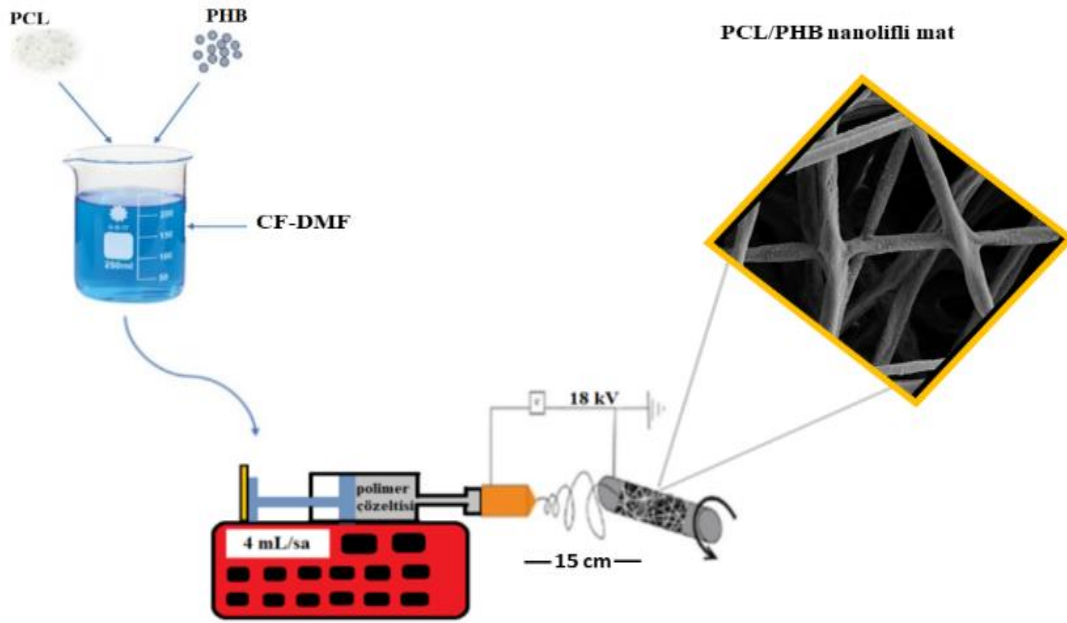
Elektroğirme prosesi, Inovenso marka bir elektroğirme makinesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Üretilen nanolifli matların kimyasal yapısı Fourier Transform Kızılötesi Spektrometresi (FT-IR; Thermo Scientific – Nicolet iS20) ile tespit edilmiştir. Alan Emisyon Taramalı Elektron Mikroskobu (FE-SEM; Zeiss GeminiSEM 500) kullanılarak membranların yüzey morfolojileri değerlendirilmiştir. Nanofiber membranların su temas açısı (WCA) ve yağ temas açısı (OCA), oda sıcaklığında bir temas açısı gonyometresi (Kruss Easy Drop) ile ölçülmüştür. 4 μL hacimli saf su ($\text{pH}=7.0$) ve dizel yağı damlacıkları, temas açısı ölçümleri için nanofiber kaplı eleklerle damlatılmıştır.

B. DENEYSEL YÖNTEM

B.1. Elektroğirme Yöntemi ile PCL/PHB Nanolifli Membranların Hazırlanması

İlk olarak, farklı gözenek boyutlarına sahip paslanmaz çelik elekler kare şeklinde ($4 \text{ cm} \times 4 \text{ cm}$) kesilmiştir. Daha sonra, elekler sterilizasyon için arka arkaya aseton, mutlak etanol ve damıtılmış su ile 30 dk boyunca ultrasonik banyoda işleme tabi tutulmuştur. Ardından elekler, sterilizasyon sonrasında kalabilecek çözücüleri tamamen uzaklaştırmak için $50 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de bir etüvde 30 dk süreyle tutulmuştur. Saf PCL, saf PHB, saf PHB ile birlikte PCL/PHB (50/50), PCL₃-PHB₁ (75/25) ve PCL₁/PHB₃ (25/75) eğirme solüsyonları her bir bileşenin ağırlığı ayarlanarak CF-DMF (V/V, 8:1) ikili çözücüsü içerisinde elde edilmiştir. Elektroğirilmiş PCL lifli mat üretmek için saf PCL granülleri, 22.5 mL'lik bir CF ve DMF (V/V, 8:1) karışımı içinde çözündürülmüş ve hazırlanan %17'lik (w/v) PCL/(CF-DMF) solüsyonu homojen bir karışım elde etmek için ortam sıcaklığında 18 sa sürekli olarak karıştırılmıştır. Farklı PBH içeriklerine sahip PCL/PHB kompozit nanolifli matlar hazırlamak için, belirtilen ağırlıkça oranlarda PCL ve PHB granülleri CF-DMF (22,5 mL) çözücüsü içerisinde çözündürülmüş ve tam çözünme için 2

sa 60 °C'de mekanik olarak karıştırılmıştır. Son olarak PHB lifli matlar hazırlamak için saf PHB granülleri 22.5 mL'lik bir CF-DMF (V/V, 8:1) karışımı içinde çözündürülmüş ve hazırlanan %5'lik (w/v) PHB/(CF-DMF) eğirme solüsyonu 2 sa 60 °C'de homojen bir karışım elde etmek için sürekli karıştırılmıştır. Elektroegirme işleminden önce tüm eğirme solüsyonları oda sıcaklığında 1 sa daha stabilize etmek için manyetik olarak karıştırılmıştır. Her bir çalışma solüsyonu 20-G iğne takılı 10 ml'lik bir plastik şırıngaya yüklenmiş ve ardından elektroegirme işlemi, bir dizi optimum parametrede gerçekleştirilmiştir: Akış hızı: 4 ml/saat; sağlanan yüksek voltaj: 18 kV; iğne ucu ile toplayıcı arasındaki mesafe: 15 cm; sıcaklık (T): 35 °C; ve bağıl nem (RH): %40. Elde edilen matlar, dönen bir tamburun etrafına sarılmış bir alüminyum folyo ve paslanmaz çelik elek altlıklar üzerinde toplanmıştır. Üretilen nanolifler daha sonra çözücü kalıntılarını çıkarmak için gece boyunca 37 °C'de bir vakumlu fırında kurutulmuştur. PCL, PHB, PCL/PHB nanolifli matların üretim prosesinin şematik gösterimi Şekil 1'de görülmektedir.



Şekil 1. PCL/PHB nanokompozit lifli matların üretim prosesinin şematik sunumu.

B.2. Yağ-su Ayırma Prosesi

Yağ-su ayırma verimliliği, literatürde bildirildiği gibi basit bir kurulum kullanılarak ölçüldü [50]. PCL/PHB nanofiber membranların yağ/su ayırma performansı, yağ/su karışımı ayrılarak incelendi. Bunun için, eşit miktarlarda yağ ve suyun karışımı çalkalandıktan sonra, nanolif kaplı paslanmaz çelik eleklerin üzerine döküldü. Elek yüzeyinden yağ (dizel) doğrudan geçerken suyun yuvarlanmasına izin vermek için elekler 45°'lik bir açıyla eğilendirildi ve ayrı iki kaptan toplanan yağ ve suyun miktarı kaydedildi. Su ve yağ karışımının ayrılmasını görsel olarak gözlemlemek için su mavi renkte gıda boyası ile renklendirilerek kullanılmıştır. Yağ-su ayırma verimliliği, eğilendirilmiş nanofiber kaplı elekler kullanılarak ayrı beherlerde toplanan sıvıların ağırlıklarından hesaplanmıştır. Bunun için ayırma öncesi ve sonrası yağ ağırlığı tartıldı ve Eş. 1'e göre ayırma verimi E hesaplandı.

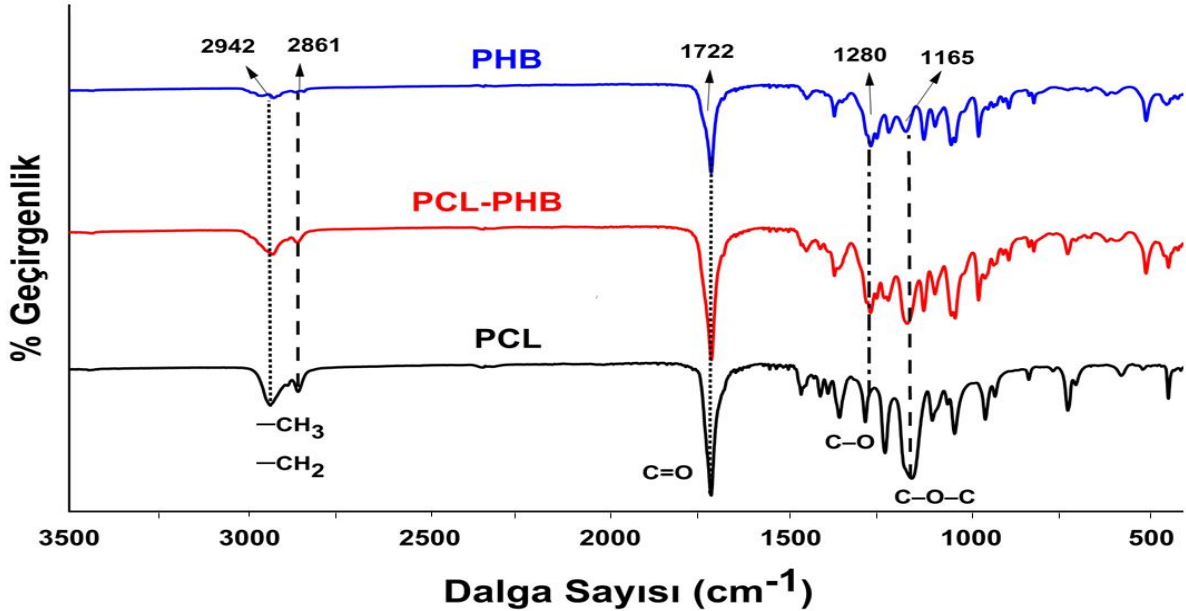
$$E = \frac{M_1}{M_0} \times 100\% \quad (1)$$

Burada M_0 ve M_1 , ayırmadan önce ve sonra yağın ağırlığını temsil etmektedir.

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

A. ÜRETİLEN NANOLİFLERİN KİMYASAL YAPISI VE MORFOLOJİSİ

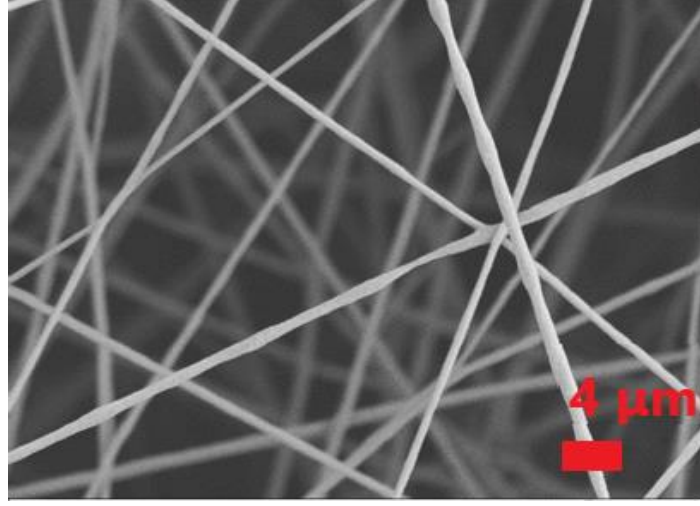
Elde edilen nanolifli matların kimyasal yapısı FTIR spektroskopisi kullanılarak analiz edilmiştir. Şekil 2’de PCL, PHB ve PCL/PHB nanolifli matların FTIR spektrumları verilmiştir. PCL matların spektrumunda 1724 cm^{-1} ’de C=O germe titreşimleri; 1473 cm^{-1} , 1415 cm^{-1} ve 1367 cm^{-1} ’de $-\text{CH}_2$ bükme titreşimleri; 1241 cm^{-1} ve 1163 cm^{-1} ’de C–O–C germe titreşimleri; ve 1106 cm^{-1} ve 1045 cm^{-1} ’de C–O germe titreşimleri görüldü [51]. PHB matlarına ait FTIR spektrumu ise aşağıdaki karakteristik bantları gösterdi: 1720 cm^{-1} ’de (C=O germe titreşimleri); 1456 cm^{-1} (asimetrik $-\text{CH}_3$); 1379 cm^{-1} (simetrik $-\text{CH}_3$); 1276 cm^{-1} , 1228 cm^{-1} ve 1180 cm^{-1} (C–O–C germe); 1261 cm^{-1} (C–O–C germe); 1055 cm^{-1} (C–O germe); ve 1043 cm^{-1} (C– CH_3 esneme) [52]. PCL ve PHB’ın FTIR spektrumları incelendiğinde PHB ve PCL’un kimyasal benzerliği nedeniyle PHB ve PCL bantları net bir şekilde ayırt edilememektedir. PCL₃/PHB₁ (75:25)’e ait FTIR spektrumunda hem PHB hem de PCL’a ait karakteristik bantlar gözlemlendi. 1722 cm^{-1} ’de gözlenen karakteristik tepe noktası PCL ve PHB’da bulunan karbonil gruplarının (C=O) gerilme titreşimlerine atfedilirken, $3000\text{--}2900\text{ cm}^{-1}$ ’deki bant CH_3 , simetrik CH_2 ve asimetrik CH_2 gerilme titreşimleri ile ilişkilidir [53, 54]; 1280 cm^{-1} ve 1165 cm^{-1} ’de bulunan pikler ise C–O ve C–O–C gerilme titreşimlerine atfedilir [55, 56]. Sonuçlar, hazırlanan matların hem PHB hem de PCL liflerinden oluştuğunu gösterdi.



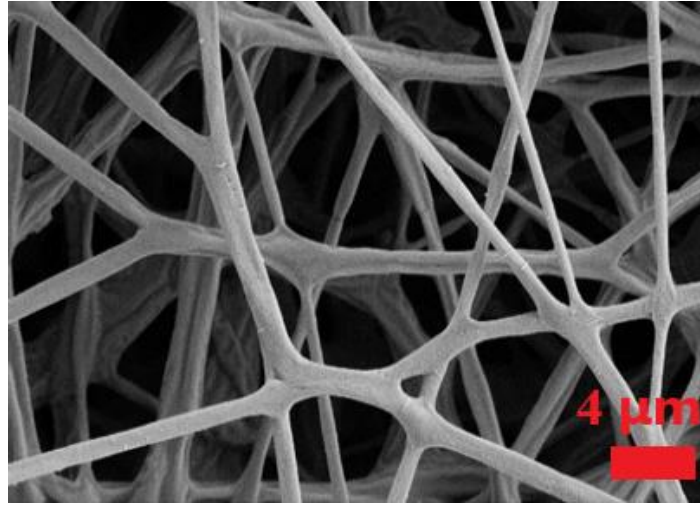
Şekil 2. PCL, PHB VE PCL/PHB nanolifli matların FTIR spektrumları.

Elde edilen nanolifli matların yüzey morfolojisi ve liflerin çap dağılımı FE-SEM ile gözlemlenmiş ve Şekil 3’de gösterilmiştir. Tüm nanolifler boncuk oluşumu olmaksızın sürekli tekdüze nano yapılar gösterdi ve doğaları gereği PCL ve PHB’ın hidrofobik yapılarından kaynaklanan pürüzlü yapıları açıkça gözlemlendi. PCL ve PHB nanoliflerinin ortalama lif çapları sırasıyla $3.6 \pm 1.6\ \mu\text{m}$ ve $4.4 \pm 1.2\ \mu\text{m}$ olduğu belirlendi. Bu fark, liflerin uzatma gerilmesini artıran PHB’a kıyasla PCL

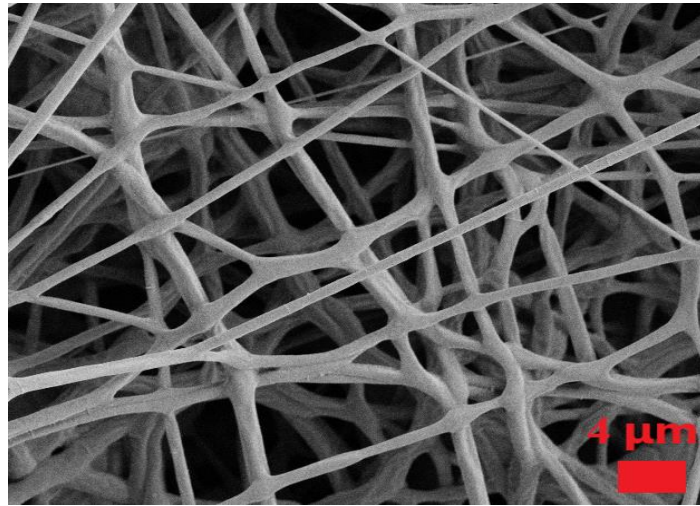
çözeltilsinin daha düşük viskozitesi ve daha yüksek iletkenliği ile açıklanabilir. PCL/PHB nanoliflerin ortalama lif çapları incelendiğinde ise $4.2 \pm 1.2 \mu\text{m}$ ile PCL nanolifleri ile kıyaslandığında artış olduğu görüldü. PHB'ın eklenmesi elektroğirme çözeltilsinin viskozitesini artırabileceğinden lif çaplarını artırmış olabilir. Çözelti viskozitesi, fiber çapını etkileyen en önemli elektroğirme parametrelerinden biridir. Daha yüksek viskoziteye sahip bir çözelti daha büyük bir lif çapına neden olurken, daha düşük viskoziteye sahip bir çözelti daha küçük lif çapına sahip lifler oluşturma eğilimindedir ve fazlası boncuk oluşumuna dahi neden olabilmektedir. Burada, polimerin moleküler ağırlığının etkisinin ince liflerin üretiminde önemli bir rol oynadığı bilinmektedir [57]. Aslında, PCL'un (45 kDa) moleküler ağırlığı PHB'dan (500 kDa) belirgin şekilde daha düşüktür. Ayrıca, PHB'ın moleküler ağırlığı PCL'den daha viskoz bir çözeltilye yol açtığından, polimerik PHB jetinin uzatma akışına karşı daha yüksek bir direnci, PCL membranlarına göre daha yüksek ortalama lif çapına sahip liflerin başarısını belirlemektedir. PHB'ın ortalama lif çapına çok yakın olan PCL/PHB karışımlarının içerikleri ele alındığında PHB özelliklerinden çok daha fazla etkilendiği görüldü.



(a)



(b)

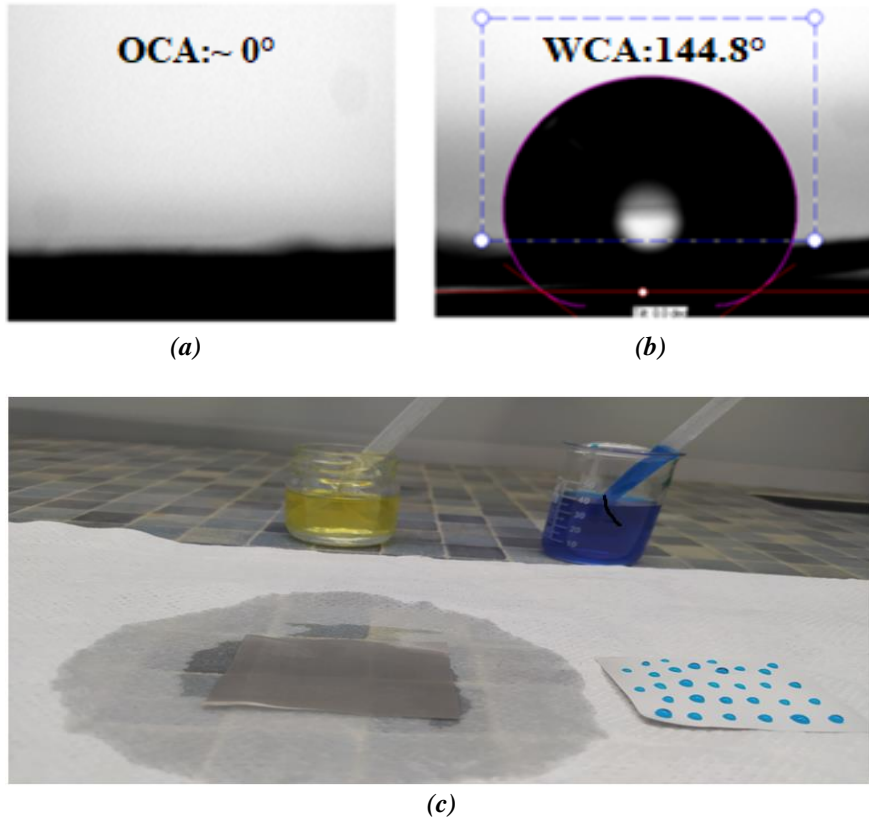


(c)

Şekil 3. (a) PCL, (b) PHB ve (c) PCL₁/PHB₃ nanolipli matların FE-SEM görüntüleri .

B. HAZIRLANAN PCL/PHB NANOLİFLİ MEMBRANLARIN ISLANMA ÖZELLİKLERİ

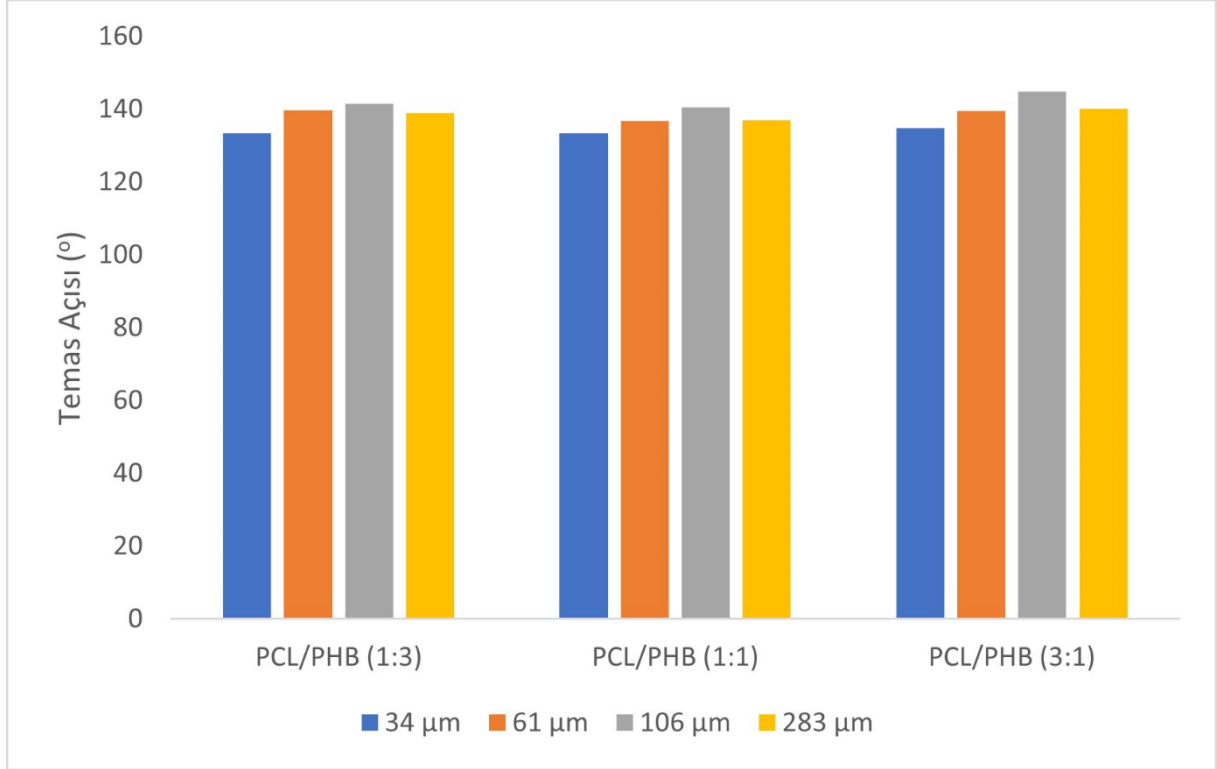
Eleklerin örgü yapıları ve doğal pürüzlülükleri ile PCL/PHB nanolif kaplama sonrası elde edilen hidrofobik yüzeyin neden olduğu kombinasyon, son kompozit yapıyı ideal bir su itici membran haline getirmiştir. Orijinal paslanmaz çelik elekler hidrofilik ve oleofilik yapıya sahipti ve bu yüzden elekler su ve yağ tarafından kolayca ve hızla ıslatıldı. Ayrıca, her iki sıvı da kaplamasız ağlardan herhangi bir engel olmadan geçebildi. Öte yandan, PCL/PHB nanolifli mat kaplı elekler suya ve yağa karşı farklı ıslatma davranışları sergiledi. PCL₃/PHB₁ nanolif kaplı paslanmaz çelik elek (106 µm gözenek boyutu) yüzeyindeki yağ ve su temas açıları sırasıyla ~ 0° ve 144.8° olarak ölçüldü. Şekil 4'de nanolif kaplı eleklerin yağ ve su temas açılarının hem görüntüleri hem de fotoğrafları verilmiştir.



Şekil 4. Paslanmaz çelik elek üzerinde elektroöğrilmüş PCL/PHB nanolifli matların (a) yağ temas açısı (~0°);(b) su temas açısı (144.8°) ve (c) PCL/PHB nanolif kaplı elek üzerinde dizel yağ (sol) ve su (sağ) damlalarının görüntüsü

PCL/PHB nanolifli membranların ıslatma özellikleri üzerine polimer katkı oranı ve elek gözenek çaplarının nihai yapısının etkileri ayrıntılı olarak incelendi. Polimer katkı oranı ve elek gözenek çaplarına göre su temas açısı (WCA) değerlerindeki değişiklikler Şekil 5'de verilmiştir. Tüm yüzeylerin 130°den büyük WCA değerleri ile yüksek oranda hidrofobik olduğu gözlemlendi. Nanolifli membran yüzeylerinin ıslanma davranışları incelendiğinde, WCA değerlerinin polimer katkı oranlarından ziyade elek gözenek boyutlarından daha çok etkilendiği görüldü. PCL₃/PHB₁ (75:25) nanolifli membranlar için, artan elek gözenek boyutları ile WCA değerlerinde bir artış vardır. 106 µm'lik gözenek boyutuna sahip elek için en yüksek WCA değerleri elde edildi ve bu elek yüzeyindeki PCL₃/PHB₁ nanolifli mat, 144.8°'lik WCA değerine sahip mükemmel hidrofobik bir yüzeyin oluşmasına neden oldu. PCL/PHB

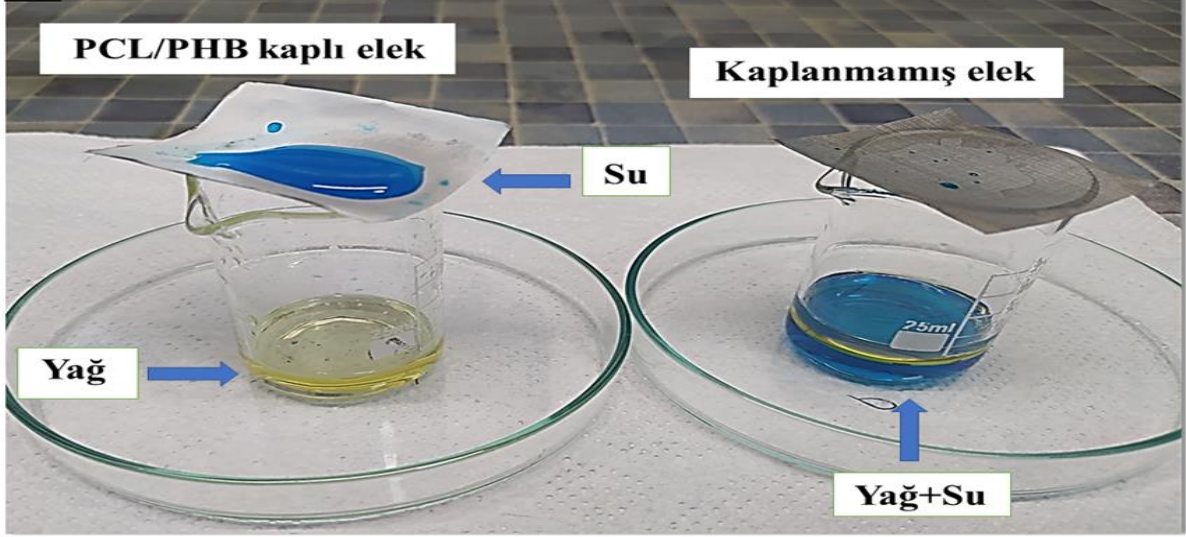
nanolif kaplı tüm elek yüzeylerinin 0°'lik yağ temas açılarıyla süperoleofilik davranış sergilediği gözlemlendi.



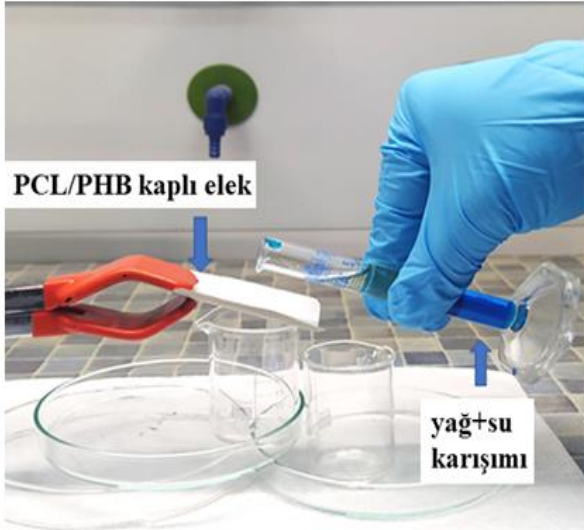
Şekil 5. Ticari eleğin gözenek çapları ile çeşitli karışım içeriklerine sahip PCL/PHB nanolifli membranın su temas açıları arasındaki ilişki.

C. YAĞ-SU AYIRMA

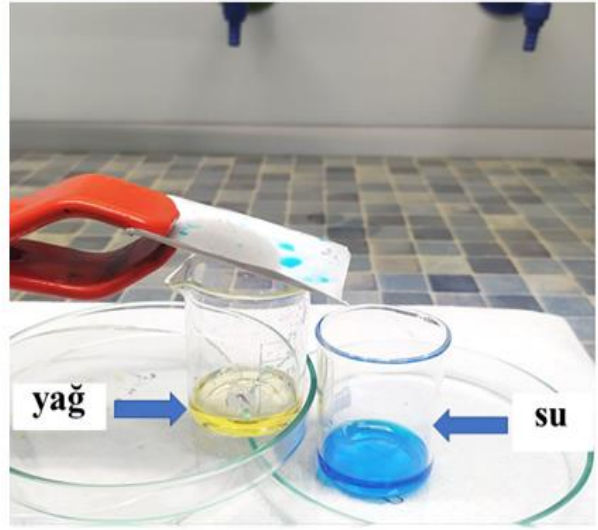
Yağ-su karışımının ayrılması, ekstra bir kuvvet veya kimyasal reaktif kullanılmaksızın basit bir düzenek kurulumu (Şek. 6) ile gerçekleştirildi. Kaplanmamış ve PCL/PHB nanolifli mat kaplı elekler, beherlerin üzerine yerleştirildi ve ardından üzerine çalkalanmış yağ-su karışımı döküldü. Kaplanmamış ticari elekler yağ-su karışımını herhangi bir ayırma olmadan hızlıca geçirirken; PCL/PHB nanolifli mat kaplı elekler yağ bileşenini geçirirken, su membran yüzeyinde asılı kaldı (Şek. 6(a)). Daha sonra elekler 45°'lik bir açıyla eğilendirildi ve çalkalanmış yağ-su karışımını PCL/PHB nanolifli membranların üzerine dökmek suretiyle ayırma işlemi gerçekleştirildi. Burada membran yüzeyinden yuvarlanmak suretiyle ayrılmış suyun bitişik bir kabin içine doğru akmasına izin vermek için kaplı eleklerin eğimi gereklidir ve burada ayırma için tek itici güç yerçekimidir. Sonuç olarak toplanan suda görünür bir yağ gözlenmedi (Şek. 6(b) ve 6(c)). Böylece, basit bir düzenek kurulumu ile yağ-su karışımının ayrılması, ekstra bir kuvvet veya kimyasal reaktif kullanılmaksızın sadece sıvıların ağırlıkları kullanılarak etkili bir şekilde gerçekleştirildi. PCL/PHB nanolifli membranların (PCL₁/PHB₃ nanolifli mat kaplı 106 µm'lik gözenek çapına sahip elek) ayırma verimliliği % 97.4 gibi yüksek bir oranda hesaplandı.



(a)



(b)



(c)

Şekil 6. Yağ-su ayırımının gösterimi: (a) kaplanmamış ve PCL/PHB nanolifli mat kaplı elekler üzerine dökülen çalkalanmış yağ-su karışımı ve (b), (c) sürekli ayırma için 45° eğimlendirilmiş PCL/PHB nanolifli mat kaplı elek üzerine çalkalanmış yağ-su karışımının dökülmesi.

IV. SONUÇ

Bu çalışmada hidrofobik ve süperoleofilik membranlar, çevre dostu biyobozunur polimerlerin elektroçirilmesi ile paslanmaz çelik elekler üzerine başarıyla üretildi. Hazırlanan yeşil PCL/PHB nanolifli membranların ıslanabilirliği üzerine yapılan çalışmalar, membran yüzeylerinin mükemmel hidrofobik ve süperoleofilik özelliğe sahip olduklarını gösterdi. Ölçülen WCA değerlerinin biyopolimer katkı oranlarına ve elek boyutuna bağlı olarak değiştiği gözlemlendi. Nanolifli membran yüzeylerinin WCA değerlerindeki gözlenen değişimler, polimer katkı oranlarından ziyade elek gözenek boyutlarının etkisinin daha önemli olduğunu gösterdi. PCL₃/PHB₁ (75:25) nanolifli membranlar için, artan elek gözenek boyutları ile WCA değerlerinde bir artış belirlendi ve 106 µm gözenek boyutuna sahip elek için en yüksek WCA değeri gözlemlendi. Paslanmaz çelik elekler üzerinde PCL/PHB nanofiber matların üretimi sonrası elde edilen maksimum su temas açısı değeri 144.8°, yağ temas açısı değeri ise sifira yakın olarak

ölçüldü. Elektroçirime ile modifiye edilmiş elek yüzeyleri, dizel yağını sudan çok yüksek ayırma verimliliğiyle (%97.4) ayıran bir membran görevi gördü. Sonuç olarak bu tür çevre dostu biyo polimerlerin nanolifleri ile modifiye edilmiş eleklerin, çeşitli alanlarda yağ-su ayırma uygulaması için umut verici bir membran materyali olduğu öngörüldü.

TEŞEKKÜR: Bu çalışmada Selçuk Üniversitesi İleri Teknoloji Araştırma ve Geliştirme Uygulama Merkezi alt yapısı kullanılmıştır.

V. KAYNAKLAR

- [1] I. B. Ivshina et al., "Oil spill problems and sustainable response strategies through new technologies," *Environmental Science: Processes & Impacts*, vol. 17, no. 7, pp. 1201-1219, 2015.
- [2] F. Li, Z. Wang, S. Huang, Y. Pan, and X. Zhao, "Flexible, durable, and unconditioned superoleophobic/superhydrophilic surfaces for controllable transport and oil-water separation," *Advanced Functional Materials*, vol. 28, no. 20, p. 1706867, 2018.
- [3] R. H. Kollarigowda, S. Abraham, and C. D. Montemagno, "Antifouling cellulose hybrid biomembrane for effective oil/water separation," *ACS applied materials & interfaces*, vol. 9, no. 35, pp. 29812-29819, 2017.
- [4] W. Kang et al., "A novel robust adsorbent for efficient oil/water separation: Magnetic carbon nanospheres/graphene composite aerogel," *Journal of Hazardous Materials*, vol. 392, p. 122499, 2020.
- [5] A. Cambiella, J. Benito, C. Pazos, and J. Coca, "Centrifugal separation efficiency in the treatment of waste emulsified oils," *Chemical Engineering Research and Design*, vol. 84, no. 1, pp. 69-76, 2006.
- [6] J. Song et al., "Barrel-shaped oil skimmer designed for collection of oil from spills," *Advanced materials interfaces*, vol. 2, no. 15, p. 1500350, 2015.
- [7] A. R. Siddiqui, R. Maurya, and K. Balani, "Superhydrophobic self-floating carbon nanofiber coating for efficient gravity-directed oil/water separation," *Journal of Materials Chemistry A*, vol. 5, no. 6, pp. 2936-2946, 2017.
- [8] C. Rattanapan, A. Sawain, T. Suksaroj, and C. Suksaroj, "Enhanced efficiency of dissolved air flotation for biodiesel wastewater treatment by acidification and coagulation processes," *Desalination*, vol. 280, no. 1-3, pp. 370-377, 2011.
- [9] Y. Liu and C.-H. Choi, "Condensation-induced wetting state and contact angle hysteresis on superhydrophobic lotus leaves," *Colloid and Polymer Science*, vol. 291, no. 2, pp. 437-445, 2013.
- [10] Y. Sun and Z. Guo, "Recent advances of bioinspired functional materials with specific wettability: from nature and beyond nature," *Nanoscale Horizons*, vol. 4, no. 1, pp. 52-76, 2019.
- [11] S. M. S. Shahabadi and J. A. Brant, "Bio-inspired superhydrophobic and superoleophilic nanofibrous membranes for non-aqueous solvent and oil separation from water," *Separation and Purification Technology*, vol. 210, pp. 587-599, 2019.
- [12] J. Liu et al., "Superhydrophilic and underwater superoleophobic modified chitosan-coated mesh for oil/water separation," *Surface and coatings technology*, vol. 307, pp. 171-176, 2016.

- [13] G. J. Dunderdale, M. W. England, T. Sato, C. Urata, and A. Hozumi, "Programmable oil/water separation meshes: water or oil selectivity using contact angle hysteresis," *Macromolecular Materials and Engineering*, vol. 301, no. 9, pp. 1032-1036, 2016.
- [14] R. Zhao et al., "Electrospun chitosan/sericin composite nanofibers with antibacterial property as potential wound dressings," *International journal of biological macromolecules*, vol. 68, pp. 92-97, 2014.
- [15] L. Feng et al., "Super-hydrophobic surfaces: from natural to artificial," *Advanced materials*, vol. 14, no. 24, pp. 1857-1860, 2002.
- [16] A. M. Karim, J. P. Rothstein, and H. P. Kavehpour, "Experimental study of dynamic contact angles on rough hydrophobic surfaces," *Journal of colloid and interface science*, vol. 513, pp. 658-665, 2018.
- [17] C. Jiang et al., "Robust fabrication of superhydrophobic and photocatalytic self-cleaning cotton textiles for oil–water separation via thiol-ene click reaction," *Journal of Materials Science*, vol. 54, no. 9, pp. 7369-7382, 2019.
- [18] H. Kang, Y. Sun, Y. Li, W. Qin, and X. Wu, "Mechanically robust fish-scale microstructured TiO₂-coated stainless steel mesh by atomic layer deposition for oil–water separation," *Industrial & Engineering Chemistry Research*, vol. 59, no. 48, pp. 21088-21096, 2020.
- [19] S. Han, Q. Song, X. Feng, J. Wang, X. Zhang, and Y. Zhang, "Flame-Retardant Silanized Boron Nitride Nanosheet-Infused Superhydrophobic Sponges for Oil/Water Separation," *ACS Applied Nano Materials*, vol. 4, no. 11, pp. 11809-11819, 2021.
- [20] F. Z. Pour, H. Karimi, and V. M. Avargani, "Preparation of a superhydrophobic and superoleophilic polyester textile by chemical vapor deposition of dichlorodimethylsilane for Water–Oil separation," *Polyhedron*, vol. 159, pp. 54-63, 2019.
- [21] Y. Yang, Y. Li, L. Cao, Y. Wang, L. Li, and W. Li, "Electrospun PVDF-SiO₂ nanofibrous membranes with enhanced surface roughness for oil-water coalescence separation," *Separation and Purification Technology*, vol. 269, p. 118726, 2021.
- [22] M. Obaid, E. Yang, D.-H. Kang, M.-H. Yoon, and I. S. Kim, "Underwater superoleophobic modified polysulfone electrospun membrane with efficient antifouling for ultrafast gravitational oil-water separation," *Separation and Purification Technology*, vol. 200, pp. 284-293, 2018.
- [23] S. M. Moatmed, M. H. Khedr, S. El-Dek, H.-Y. Kim, and A. G. El-Deen, "Highly efficient and reusable superhydrophobic/superoleophilic polystyrene@ Fe₃O₄ nanofiber membrane for high-performance oil/water separation," *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 7, no. 6, p. 103508, 2019.
- [24] L. Wang, M. Abedalwafa, F. Wang, and C. Li, "Biodegradable poly-epsilon-caprolactone (PCL) for tissue engineering applications: a review," *Rev. Adv. Mater. Sci.*, vol. 34, pp. 123-140, 2013.
- [25] A. Heimowska, M. Morawska, and A. Bocho-Janiszewska, "Biodegradation of poly (ε-caprolactone) in natural water environments," *Polish Journal of Chemical Technology*, vol. 19, no. 1, pp. 120-126, 2017.
- [26] F. B. Semiromi, A. Nejaei, and M. Shojaee, "Effect of methanol concentration on the morphology and wettability of electrospun nanofibrous membranes based on polycaprolactone for oil-water separation," *Fibers and Polymers*, vol. 20, no. 12, pp. 2453-2460, 2019.

- [27] H. N. Doan et al., "Environmentally Friendly Chitosan-Modified Polycaprolactone Nanofiber/Nanonet Membrane for Controllable Oil/Water Separation," *ACS Applied Polymer Materials*, vol. 3, no. 8, pp. 3891-3901, 2021.
- [28] C. Reshmi, S. P. Sundaran, A. Juraij, and S. Athiyanathil, "Fabrication of superhydrophobic polycaprolactone/beeswax electrospun membranes for high-efficiency oil/water separation," *RSC advances*, vol. 7, no. 4, pp. 2092-2102, 2017.
- [29] M. Lopar, I. V. Špoljarić, A. Atlić, M. Koller, G. Braunegg, and P. Horvat, "Five-step continuous production of PHB analyzed by elementary flux, modes, yield space analysis and high structured metabolic model," *Biochemical engineering journal*, vol. 79, pp. 57-70, 2013.
- [30] F. Bayram Saripek, Y. Gündoğdu, and H.Ş. Kılıç, "Fabrication of eco-friendly superhydrophobic and superoleophilic PHB-SiO₂ bionanofiber membrane for gravity-driven oil/water separation." *J Appl Polym Sci*, vol. 140, no. e53437, p. 1-10, 2023.
- [31] A. Iordanskii et al., "New Fibrillar Composites Based on Biodegradable Poly (3-hydroxybutyrate) and Polylactide Polyesters with High Selective Absorption of Oil from Water Medium," in *Doklady Physical Chemistry*, 2019, vol. 487, no. 2: Springer, pp. 106-108.
- [32] J. C. C. Yeo et al., "Highly washable and reusable green nanofibrous sorbent with superoleophilicity, biodegradability, and mechanical robustness," *ACS Applied Polymer Materials*, vol. 2, no. 11, pp. 4825-4835, 2020.
- [33] L. Zhong, H. Tao, and X. Gong, "Superhydrophobic Poly (l-lactic acid) Membranes with Fish-Scale Hierarchical Microstructures and Their Potential Application in Oil–Water Separation," *Langmuir*, vol. 37, no. 22, pp. 6765-6775, 2021.
- [34] C. Cao and J. Cheng, "Fabrication of superhydrophobic copper stearate@ Fe₃O₄ coating on stainless steel meshes by dip-coating for oil/water separation," *Surface and Coatings Technology*, vol. 349, pp. 296-302, 2018.
- [35] A. Xie et al., "One-step facile fabrication of sustainable cellulose membrane with superhydrophobicity via a sol-gel strategy for efficient oil/water separation," *Surface and Coatings Technology*, vol. 361, pp. 19-26, 2019.
- [36] Q.-Y. Cheng, M.-C. Liu, Y.-D. Li, J. Zhu, A.-K. Du, and J.-B. Zeng, "Biobased superhydrophobic coating on cotton fabric fabricated by spray-coating for efficient oil/water separation," *Polymer Testing*, vol. 66, pp. 41-47, 2018.
- [37] W. Tang et al., "One step electrochemical fabricating of the biomimetic graphene skins with superhydrophobicity and superoleophilicity for highly efficient oil-water separation," *Separation and Purification Technology*, vol. 236, p. 116293, 2020.
- [38] F. Bayram, E. S. Mercan, and M. Karaman, "One-step fabrication of superhydrophobic-superoleophilic membrane by initiated chemical vapor deposition method for oil–water separation," *Colloid and Polymer Science*, vol. 299, no. 9, pp. 1469-1477, 2021.
- [39] G. Zhang, P. Wang, X. Zhang, C. Xiang, and L. Li, "The preparation of PCL/MSO/SiO₂ hierarchical superhydrophobic mats for oil-water separation by one-step method," *European Polymer Journal*, vol. 116, pp. 386-393, 2019.

- [40] R. Su, S. Li, W. Wu, C. Song, G. Liu, and Y. Yu, "Recent progress in electrospun nanofibrous membranes for oil/water separation," *Separation and Purification Technology*, vol. 256, p. 117790, 2021.
- [41] Y. Nie et al., "One-step modification of electrospun PVDF nanofiber membranes for effective separation of oil–water emulsion," *New Journal of Chemistry*, vol. 46, no. 10, pp. 4734-4745, 2022.
- [42] M. Huang et al., "Gravity driven separation of emulsified oil–water mixtures utilizing in situ polymerized superhydrophobic and superoleophilic nanofibrous membranes," *Journal of Materials Chemistry A*, vol. 1, no. 45, pp. 14071-14074, 2013.
- [43] J.-J. Li, L.-T. Zhu, and Z.-H. Luo, "Electrospun fibrous membrane with enhanced switchable oil/water wettability for oily water separation," *Chemical Engineering Journal*, vol. 287, pp. 474-481, 2016.
- [44] Y. Guo, D. Tang, E. Zhao, Z. Yu, H. Lv, and X. Li, "Controlled synthesis of amphiphilic graft copolymer for superhydrophobic electrospun fibres with effective surface fluorine enrichment: the role of electric field and solvent," *RSC advances*, vol. 5, no. 101, pp. 82789-82799, 2015.
- [45] M. W. Lee, S. An, S. S. Latthe, C. Lee, S. Hong, and S. S. Yoon, "Electrospun polystyrene nanofiber membrane with superhydrophobicity and superoleophilicity for selective separation of water and low viscous oil," *ACS applied materials & interfaces*, vol. 5, no. 21, pp. 10597-10604, 2013.
- [46] L. Wu, L. Li, B. Li, J. Zhang, and A. Wang, "Magnetic, durable, and superhydrophobic polyurethane@ Fe₃O₄@ SiO₂@ fluoropolymer sponges for selective oil absorption and oil/water separation," *ACS applied materials & interfaces*, vol. 7, no. 8, pp. 4936-4946, 2015.
- [47] R. Scaffaro et al., "Polycaprolactone-based scaffold for oil-selective sorption and improvement of bacteria activity for bioremediation of polluted water: Porous PCL system obtained by leaching melt mixed PCL/PEG/NaCl composites: Oil uptake performance and bioremediation efficiency," *European Polymer Journal*, vol. 91, pp. 260-273, 2017.
- [48] J. Wang and L. Chu, "Biological nitrate removal from water and wastewater by solid-phase denitrification process," *Biotechnology advances*, vol. 34, no. 6, pp. 1103-1112, 2016.
- [49] D. Wang, Q. Lu, M. Wei, and E. Guo, "Electrospinning of flux-enhanced chitosan–poly (lactic acid) nanofiber mats as a versatile platform for oil–water separation," *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 135, no. 6, p. 45830, 2018.
- [50] P. Brown, O. Atkinson, and J. Badyal, "Ultrafast oleophobic–hydrophilic switching surfaces for antifogging, self-cleaning, and oil–water separation," *ACS applied materials & interfaces*, vol. 6, no. 10, pp. 7504-7511, 2014.
- [51] F. Bayram Sariipek, F. Sevgi, and S. Dursun, "Preparation of poly(ϵ -caprolactone) nanofibrous mats incorporating graphene oxide-silver nanoparticle hybrid composite by electrospinning method for potential antibacterial applications." *Colloids Surf A Physicochem Eng Asp*, vol 653, no.129969, pp. 1-12, 2022.
- [52] T. Furukawa et al., "Structure, dispersibility, and crystallinity of poly (hydroxybutyrate)/poly (L-lactic acid) blends studied by FT-IR microspectroscopy and differential scanning calorimetry," *Macromolecules*, vol. 38, no. 15, pp. 6445-6454, 2005.
- [53] L. Wei, N. M. Stark, and A. G. McDonald, "Interfacial improvements in biocomposites based on poly (3-hydroxybutyrate) and poly (3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) bioplastics reinforced and grafted with α -cellulose fibers," *Green Chemistry*, vol. 17, no. 10, pp. 4800-4814, 2015.

- [54] F. Bayram Sariipek, İ. Özyaytekin, and F. Erci, "Effect of ultrasound treatment on bacteriostatic activity of piezoelectric PHB-TiO₂ hybrid biodegradable scaffolds prepared by electrospinning technique." *J Appl Polym Sci*, vol.140, no. e53437, pp. 1-12, 2023.
- [55] H. S. Barud et al., "Bacterial cellulose/poly (3-hydroxybutyrate) composite membranes," *Carbohydrate Polymers*, vol. 83, no. 3, pp. 1279-1284, 2011.
- [56] D. Garcia-Garcia, J. Lopez-Martinez, R. Balart, E. Strömberg, and R. Moriana, "Reinforcing capability of cellulose nanocrystals obtained from pine cones in a biodegradable poly (3-hydroxybutyrate)/poly (ϵ -caprolactone)(PHB/PCL) thermoplastic blend," *European Polymer Journal*, vol. 104, pp. 10-18, 2018.
- [57] V. Nagarajan, A. K. Mohanty, and M. Misra, "Sustainable green composites: Value addition to agricultural residues and perennial grasses," *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, vol. 1, no. 3, pp. 325-333, 2013.



Düzce University Journal of Science and Technology

Research Article

Theoretical Investigation of Heat Capacities as a Function Temperature of Stannous Selenide (SnSe) Using Einstein-Debye Approximation

 Mehriban EMEK^{a,*},  Ethem İlhan ŞAHİN^b

^aDepartment of Physics, Computer Technologies, Gölbaşı Vocational School, Adıyaman University,
Gölbaşı, Adıyaman, TÜRKİYE

^bAdvanced Technology Research and Application Center, Adana Alparslan Türkeş Science and
Technology University, Adana, TÜRKİYE

* Corresponding author's e-mail address: emekmehriban@gmail.com

DOI: 10.29130/dubited.899249

ABSTRACT

A new alternative approach has been suggested for evaluating the heat capacities of stannous selenide (SnSe), based on the Einstein-Debye approximation. It is well known the thermal behavior of solids is a very important theoretical problem that has been explored thoroughly with the development of Einstein, Debye and recently developed Einstein-Debye approximations. Many additional thermophysical characteristics of materials may be analyzed using the Einstein-Debye approach employed in this study. As an application, the heat capacities have been computed by using the Einstein-Debye method for SnSe in the temperatures range between 40 and 900 K. The temperature dependence of heat capacities have been computed and found to be in good accord with the literature throughout a wide temperature range.

Keywords: Einstein-Debye method, Heat capacity, Selenide, Debye function

Einstein-Debye Yaklaşımı Kullanılarak Kalaylı Selenidin (SnSe) Bir Fonksiyon Sıcaklığı Olarak Isı Kapasitelerinin Teorik Olarak İncelenmesi

ÖZ

Einstein-Debye yaklaşımına dayalı olarak kalaylı selenidin (SnSe) ısı kapasitelerini değerlendirmek için yeni bir alternatif yaklaşım önerilmiştir. Katıların ısıl davranışının, Einstein, Debye ve yakın zamanda geliştirilen Einstein-Debye yaklaşımları ile iyice araştırılan çok önemli bir teorik problem olduğu iyi bilinmektedir. Malzemelerin birçok ek termofiziksel özelliği, bu çalışmada kullanılan Einstein-Debye yaklaşımı kullanılarak analiz edilebilir. Bir uygulama olarak, ısı kapasiteleri 40 ila 900 K arasındaki sıcaklıklarda SnSe için Einstein-Debye yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Isı kapasitelerinin sıcaklığa bağlılığı hesaplanmış ve geniş bir sıcaklık aralığında literatürle iyi bir uyum içinde olduğu bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Einstein-Debye yöntemi, Isı kapasitesi, Selenid, Debye fonksiyonu

I. INTRODUCTION

It is well known, tin (Sn) based compounds are being investigated for their applications in next generation electronics, optics, optoelectronics and flexible systems [1-3]. For example, the use of tin sulfide (SnS) and tin telluride (SnTe) materials in solar cells is a significant advancement [1, 2]. Note that tin selenite (SnSe) is a cost-effective and non-toxic material that's abundant on the planet, which significantly boosts its use in electronic and photonic devices [4-7].

Although the use of the SnSe semiconductor in electronic systems has recently become widespread, there has not yet been a comprehensive study focusing on the investigation of its thermal and electrical properties [8-10]. In the literature, various efficient approaches have been proposed to determine the thermoelectric properties of SnSe semiconductors, for example, determining the temperature dependence of heat capacities [8-14].

Using a least-squares approach and the Debye model, an effective approach for evaluating the temperature dependence of SnSe heat capacities has been proposed in the work [13]. In studies, differential scanning calorimetry was used to investigate the heat capacity of SnSe in the temperature range of 230–580 K [13, 14].

In this work, we provide thorough general theoretical calculations of heat capacities of SnSe semiconductor by using Einstein-Debye approximation. We indicate that the Einstein-Debye method is a well efficient approach for the present problem. It should be noted that the computational approach provided here is only suitable for arbitrary values of physical quantities. The method given here might be useful for calculating other thermophysical parameters of materials with accuracy.

II. APPROXIMATION AND METHODS

A. THE EINSTEIN-DEBYE APPROXIMATION

The specific heat capacity at constant pressure and volume may be introduced as, respectively [15–19]:

$$C_p(T) = \frac{T_m}{2A_0T} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{4A_0T}{T_m} C_v(T)} \right), \quad (1)$$

$$C_v(T) = 6N_A k_B M(T, \theta_D, \theta_E), \quad (2)$$

where T_m is the melting temperature, N_A is the Avogadro number, T is the absolute temperature, k_B is the Boltzmann constant, θ_E is the Einstein temperature and θ_D is the Debye temperature and $A_0 = 5.1 \times 10^{-3} J^{-1} K mol$. The function $M(T, \theta_D, \theta_E)$ based on the Debye-Einstein approximation may be introduced as [18, 19]:

$$M(T, \theta_D, \theta_E) = L_v(T, \theta_D) + (s-1)A(T, \theta_E), \quad (3)$$

where s is the number of atoms in one lattice point and the function $L_v(T, \theta_D)$ can be written in terms of Debye functions as:

$$L_V(T, \theta_D) = (n+1)D_n\left(1, \frac{\theta_D}{T}\right) - \frac{\theta_D}{T} \frac{n}{e^{\frac{\theta_D}{T}} - 1}. \quad (4)$$

Here, the quantity n takes the value 3-5 for alloys and metals. The $D_n(\beta, x)$ given in Eq. (4) for $\beta=1$ are the n -dimensional Debye functions defined by [19]:

$$D_n(\beta, x) = \frac{n}{x^n} \int_0^x \frac{t^n}{(e^t - 1)^\beta} dt. \quad (5)$$

where β takes an integer and non-integer values and $\beta=1$ corresponds to the Einstein-Debye approximation. In Eq. (3), the function $A(T, \theta_E)$ is the Einstein function and determined by the following relation [17]:

$$A(T, \theta_E) = \left[\frac{\theta_E}{2T} \frac{1}{\sinh\left(\frac{\theta_E}{2T}\right)} \right]^2. \quad (6)$$

The n -dimensional Debye functions $D_n(\beta, x)$ are determined as [20]:

$$D_n(\beta, x) = \frac{n}{x^n} \lim_{N \rightarrow \infty} \sum_{i=0}^N (-1)^i F_i(-\beta) \frac{\gamma(n+1, (i+\beta)x)}{(i+\beta)^{n+1}} \quad (7)$$

where N is the upper limit of series. Here, the functions $F_i(-\beta)$ and $\gamma(\alpha, y)$ are the binomial coefficients and incomplete gamma functions defined as, respectively [21, 22]:

$$F_m(n) = \frac{1}{m!} \prod_{i=0}^{m-1} (n-i) \quad (8)$$

and

$$\gamma(\alpha, y) = \int_0^y t^{\alpha-1} e^{-t} dt. \quad (9)$$

III. NUMERICAL RESULTS

The manuscript presents a new method of calculation of the heat capacity at constant volume and pressure, based on the Einstein-Debye method. The method is applied to calculate heat capacities of the stannous selenide (SnSe) semiconductor for the arbitrary values of temperature and the results are compared with the data available in the literature [13]. The comparative calculation results are listed in Tables 1 and 2. Tables 1 and 2 show calculation data for integer and noninteger values of n Debye parameter.

Table 1. The temperature dependence of C_V heat capacity at constant volume of SnSe for various values of n ($\theta_D = 220\text{ K}$, $\theta_E = 177.31\text{ K}$)

$T\text{ (K)}$	$n = 3$	$n = 3.1$	$n = 2.9$	Ref. [13]
60	26.64	26.33	26.76	27.85
80	34.83	34.74	34.92	35.53
100	39.94	39.78	39.91	40.35
120	43.07	43.02	43.12	43.42
140	45.27	45.23	45.31	45.52
160	46.86	46.83	46.89	47.04
180	48.07	48.04	48.09	48.03
200	49.03	49.01	49.05	49.13
240	50.52	50.51	50.54	50.46
280	51.68	51.67	51.69	51.38
298.15	51.14	51.13	51.15	51.76
340	53.13	53.12	53.14	52.51
380	54.01	54.00	54.01	53.16
420	54.87	54.86	54.87	53.78
460	55.72	55.72	55.72	54.36
500	56.79	56.58	56.58	54.93
580	58.41	58.41	58.42	56.02
620	59.40	59.40	59.40	
680	60.98	60.98	60.99	
720	62.15	62.15	62.15	
760	63.41	63.41	63.41	
820	65.53	65.53	65.53	
900	68.99	68.99	68.99	

Table 2. The temperature dependence of C_p heat capacity at constant pressure SnSe for various values of n ($\theta_D = 220\text{ K}$, $\theta_E = 177.31\text{ K}$)

$T\text{ (K)}$	$n = 3$	$n = 3.1$	$n = 2.9$
60	26.4464	26.3272	26.5715
80	34.3952	34.3092	34.4851
100	39.1342	39.0719	39.1992
140	43.9766	43.9410	44.0137

180	46.1961	46.1735	46.2196
240	47.7653	47.7522	47.7789
280	48.3165	48.3067	48.3266
298.15	48.4984	48.4998	48.5073
340	48.8145	48.8079	48.8214
380	49.0258	49.0206	49.0313
420	49.1804	49.1761	49.1848
460	49.2968	49.2933	49.3004
500	49.3865	49.3836	49.3895
580	49.5137	49.5117	49.5157
620	49.5597	49.5580	49.5613
720	49.6427	49.6417	49.6435
820	49.6967	49.6963	49.6968
900	49.7271	49.7272	49.7267

IV. DISCUSSION

As seen from the tables, it is deduced that our computational results are more satisfactory with literature data for $n = 3$ Debye parameter value. Note that using the proposed method, it is feasible to accurately calculate the heat capacities at different values of the n Debye parameter. It is seen from the tables that the theoretical and our results of the heat capacity at constant volume and pressure are well satisfactory for a wide temperature range. In conclusion, the expressions proposed here provide an efficient way to evaluate other thermodynamic properties of solid materials.

ACKNOWLEDGEMENTS: This research is published in honor of İbrahim EMEK, Salim ŞAHİN and Vahid YUSİFOV (passed away 2014 and passed away 2019). The writers thank them for their advice and endless assistance.

V. REFERENCES

- [1] N. K. Reddy, M. Devika, E. S. R. Gopal, "Review on tin (II) sulfide (SnS) material: synthesis, properties, and applications," *Crit. Rev. Solid State Mater. Sci.*, vol. 40, pp. 359-398, 2015.
- [2] Y. Xu, N. Alsalim, J. M. Hodgkiss, R. D. Tilley, "Synthesis and size dependent reflectance study of water soluble SnS nanoparticles," *Cryst. Growth Des.*, vol. 11, pp. 2721-2723, 2011.

- [3] S. Weiran, G. Minxuan, W. Jinping, G. Jianfeng, F. Chenwei, A. Eric, Li Handong, W. Zhiming, "Tin selenide (SnSe): growth, properties, and applications," *Adv. Sci.*, vol. 5, pp. 1700602, 2018.
- [4] L. D. Hicks, M. S. Dresselhaus, "Effect of quantum-well structures on the thermoelectric figure of merit," *Phys.Rev.B*, vol. 47, pp. 12727-12731, 1993.
- [5] R. Guo, X. Wang, Y. Kuang, B.Huang, "First-principles study of anisotropic thermoelectric transport properties of IV-VI semiconductor compounds SnSe and SnS," *Phys. Rev. B*, vol. 92, pp. 115202, 2015.
- [6] G. Duvjir, T. Min, T. Thi Ly, T. Kim, A-T. Duong, S. Cho, S.H. Rhim, J. Lee, J. Kim, "Origin of p-type characteristics in a SnSe single crystal," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 110, pp. 262106, 2017.
- [7] L.E. Bell, "Cooling, heating, generating power, and recovering waste heat with thermoelectric systems," *Science*, vol. 321, pp. 1457, 2008.
- [8] Y. Zhang, S. Hao, L-D. Zhao, C. Wolverton, Z. Zeng, "Pressure induced thermoelectric enhancement in SnSe crystals," *J. Mater. Chem. A*, vol. 4, pp. 12073, 2016.
- [9] H. Yu, S. Dai, Y. Chen, "Enhanced power factor via the control of structural phase transition in SnSe," *Sci. Rep.*, vol. 6, pp. 26193, 2016.
- [10] G. Li, U. Aydemir, M. Wood, W.A. Goddard III, P. Zhai, Q. Zhang, G. J. Snyder, "Ideal strength and deformation mechanism in high-efficiency thermoelectric SnSe," *Chem. Mater.*, vol. 29, pp. 2382-2389, 2017.
- [11] Y. Suzuki, H. Nakamura, "A supercell approach to the doping effect on the thermoelectric properties of SnSe," *Phys. Chem. Chem. Phys.*, vol. 17, pp. 29647-29654, 2015.
- [12] T-R. Wei, G. Tan, C-F. Wu, C. Chang, L-D. Zhao, J-F. Li, G. J. Snyder, M.G. Kanatzidis, "Thermoelectric transport properties of polycrystalline SnSe alloyed with PbSe," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 110, pp. 053901, 2017.
- [13] H. Wiedemeier, G. Pultz, U. Gaur, B Wunderlich, "Heat capacity measurements of SnSe and SnSe₂," *Thermochim. Acta*, vol. 43, pp. 297-303, 1981.
- [14] A. S. Pashinkin, A. S. Malkova, V. A. Fedorov, M. S. Mikhailova, "Heat capacity of tin monoselenide," *Inorganic Material*, vol. 42, pp. 593-595, 2006.
- [15] C. Cifuentes, M. Botero, E. Romero, C. Calderon, G. Gordillo, "Optical and structural studies on SnS films grown by co-evaporation," *Braz. J. Phys.*, vol. 36, pp. 1046-1049, 2006.
- [16] H. Wiedemeier, P. Siemers, U. Gaur, B. Wunderlich, "Heat capacity measurements of GcS, GcSc and GcTc," *Thermochim. Acta*, vol. 27, pp. 223-231, 1978.
- [17] M. Cankurtaran, B. M. Askerov, "Equation of state, isobaric specific heat, and thermal expansion of solids with polyatomic basis in the Einstein-Debye approximation," *Phys. Stat. Sol. B*, vol. 194, pp. 499-507, 1996.
- [18] B. M. Askerov, M. Cankurtaran, "Isobaric Specific Heat and Thermal Expansion of Solids in the Debye Approximation," *Phys. Stat. Sol. B*, vol. 185, pp. 341-348, 1994.
- [19] L. D. Landau, E. M. Lifshitz, *Statistical Physics*, 3rd ed., vol. 5, N.S.W., Australia: Vieweg & Sohn GmbH, 1969, pp. 254-270.

- [20] I. I. Guseinov and B. A. Mamedov, "Calculation of Integer and Noninteger n Dimensional Debye Functions Using Binomial Coefficients and Incomplete Gamma Functions," *Int. J. Thermophys.*, vol. 28, pp. 1420-1426, 2007.
- [21] I. S. Gradshteyn, I. M. Ryzhik, *Tables of Integrals, Series and Products*, 2nd ed., vol. 19, New York, USA: Academic Press, 1980, pp. 68-78.
- [22] I. I. Guseinov, B. A. Mamedov, "Evaluation of Incomplete Gamma Functions Using Downward Recursion and Analytical Relations," *J. Math. Chem.*, vol. 36, pp. 341-346, 2004.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Mikrobiyal Aracılı Kalsit Çökmesi (MICP) Tekniğinde Çimentolama Solüsyonu Enjeksiyonuna Sodyum Aljinat Yoğunluğunun Etkisinin İncelenmesi

 Harun AKOĞUZ^{a*}

^a İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Erzincan, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: hakoguz@erzincan.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1143123

ÖZ

Günümüzde zeminlerin iyileştirilmesi için birçok farklı metot kullanılmaktadır. Bu metotların birçoğu çevreye zararlı bileşenler içerdiğinden alternatif zemin iyileştirme yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu kapsamda zemin iyileştirme yöntemlerine çevreci bir yaklaşım olarak ortaya çıkan Mikrobiyal Aracılı Kalsit Çökmesi (MICP) tekniği ile zeminlerin mühendislik özellikleri iyileştirilebilmektedir. Ancak MICP tekniği ile zeminlerin iyileştirilmesinde karşılaşılan problemlerden biri uygulama süresidir. Uygulama süresi genelde oldukça fazla olan MICP tekniği için farklı uygulamalara ihtiyaç duyulduğu anlaşılmaktadır. Bu amaçla çalışmamızda çimentolama solüsyonuna (kalsiyum klorür) ilave edildiğinde uygulama süresini azaltabilecek bir biyopolimer türü olan sodyum aljinatın enjeksiyon özellikleri incelenmiştir. Farklı yoğunluklarda hazırlanan sodyum aljinat solüsyonu zemine enjeksiyon yöntemiyle verilerek zemin içerisindeki dağılımı uygulama süresince takip edilmiş ve sonuçlar permeabilite deneyi ve Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) analizi ile değerlendirilmiştir. Sonuç olarak çimentolama solüsyonuna ilaveten sodyum aljinat kullanımının tüm yoğunluklarda (0.1 g/l, 0.3 g/l, 0.6 g/l) permeabilite üzerinde olumlu sonuçları olmuştur. Daha düşük yoğunluklarda ise (0.1 g/l) uygulama süresi biraz daha artmış ancak daha iyi geçirimsizlik sonuçlarıyla beraber daha homojen bir dağılım elde edilebilmiştir. SEM analizleri sonucunda oluşan jel yapının taneler arasında bağ oluşturduğu gözlemlenmiştir. MICP tekniği ile zeminlerin iyileştirmesinde düşük yoğunluklarda (en fazla 0.1 g/l) sodyum aljinat kullanımının uygulama süresine olumlu etkisinin olabileceği değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sodyum aljinat, Zemin İyileştirme, MICP

Investigation of the Effect of Sodium Alginate Density on Cementing Solution Injection in Microbial Induced Calcite Precipitation (MICP) Technique

ABSTRACT

Today, many different methods are used to improve soils. Since many of these methods contain environmentally harmful components, alternative soil improvement methods are needed. In this context, the engineering properties of soils can be improved with the Microbial Induced Calcite Precipitation (MICP) technique, which emerged as an environmentally friendly approach to soil improvement methods. However, one of the problems encountered in improving soils with the MICP technique is the application time. It is understood that different applications are needed for the MICP technique, which has a very long application time. For this purpose, the injection properties of sodium alginate, a biopolymer type that can reduce the application time when added to the

cementing solution (calcium chloride), were investigated. Sodium alginate solution prepared in different densities was injected into the soil. Its distribution in the soil was followed during the application; the results were evaluated by permeability test and Scanning Electron Microscope (SEM) analysis. As a result, using sodium alginate in addition to the cementing solution had positive results on permeability at all densities (0.1 g/l, 0.3 g/l, 0.6 g/l). At lower densities (0.1 g/l), the application time was slightly longer, but a more homogeneous distribution could be obtained with better permeability results. It was observed that the gel structure formed as a result of SEM analyses formed a bond between the grains. It has been evaluated that using sodium alginate at low densities (up to 0.1 g/l) in soil improvement applications made with the MICP technique may positively affect the application time.

Keywords: sodium alginate, Soil Improvement, MICP

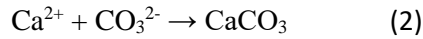
I. GİRİŞ

Zeminlerin iyileştirilmesinde günümüzde birçok farklı metot kullanılmaktadır. Bu metotlar ile zeminlerin mukavemet, geçirimsizlik vb. mekanik özellikleri iyileştirilebilmektedir. Bu metotlardan kullanımında çoğunlukla çevre kirliliği vb. problemlerle karşılaşmaktadır. Örneğin yapılan bir araştırmada artan çimento kullanımının çevreye zarar verdiği ve bu zararların önlenmesi için çeşitli teknolojilerin geliştirilmeye çalışıldığı belirtilmektedir [1]. Bu kapsamda zeminlerin iyileştirilmesinde Mikrobiyal Aracılı Kalsit Çökmesi (MICP) yeşil, sürdürülebilir ve doğa dostu bir teknik olarak karşımıza çıkmakta [2] ve MICP üzerine yapılan çalışmalar gün geçtikçe artmaktadır.

MICP bir dizi reaksiyon sonucunda gerçekleşmektedir. Zemin içerisine dahil edilen üreaz aktif enzime sahip bakteri ürenin hidrolizini gerçekleştirmektedir. Bu reaksiyon sonucunda amonyum ve karbonat oluşmaktadır [3]:



Sonrasında kalsiyum kaynağı (sıklıkla kalsiyum klorür) varlığında, kalsiyum iyonları ile karbonat iyonları reaksiyona girerek CaCO_3 kristallerini meydana getirmektedir [3]:



MICP ile yapılan çalışmalarda çimentolama solüsyonunda genellikle kalsiyum klorür kullanılmaktadır [4]. Yapılan çalışmalarda oldukça fazla uygulama süresine ihtiyaç duyulmaktadır. Örneğin Dagliya et al., [5] yapmış oldukları çalışmada çimentolama solüsyonunu 24 saat aralıklı olarak 7, 14 ve 21 gün süresince uygulamışlardır. Benzer şekilde bir diğer çalışmada ise çimentolama solüsyonu iki günde bir olmak üzere 14 ve 28 gün boyunca uygulanmıştır [6]. Buradan uygulama süresini azaltacak yöntemlere ihtiyaç duyulduğu anlaşılmaktadır. Akoğuz [7] yapmış olduğu çalışmada çimentolama solüsyonuna magnezyum klorür eklenerek uygulama süresinin kısaltılabileceğini belirtmiştir. Bu amaçla uygulama süresini kısaltmada faydalı olabilecek bir biyopolimer türü olan sodyum aljinatın enjeksiyonu üzerine çalışma yapılmıştır. Literatürde zeminlerin iyileştirilmesinde sadece sodyum aljinat [8], sodyum aljinat ve kalsiyum klorür [9] ve Enzim Aracılı Kalsit Çökmesi (EICP) ile sodyum aljinat [10, 11] üzerine çalışmalar bulunmaktadır. Ancak bu çalışmalarda genellikle sodyum aljinat zemine karıştırma metodu ile uygulanmıştır. MICP ile yapılan çalışmaların çoğunda ise enjeksiyon yöntemi kullanılmaktadır [12]–[15]. Kalsit çökmesinin verimli ve etkili olabilmesi için enjeksiyon sistemi gibi çeşitli parametrelerin süreç boyunca kontrol edilmesi gereklidir [16]. Sodyum aljinatın enjeksiyon yöntemi ile MICP-EICP uygulamalarında etkili bir şekilde kullanılabilmesi için enjeksiyon parametrelerinin araştırılması gerekmektedir.

Bu amaçla çalışmamızda sodyum aljinat ve kalsiyum klorürün oluşturduğu jel yapının zemine enjeksiyonu incelenmiştir. Farklı yoğunluklarda hazırlanan sodyum aljinat kalsiyum klorürle birlikte zemine enjekte edilmiş ve uygulama süresince takip edilmiştir. Gıda boyası ile renklendirilen sodyum

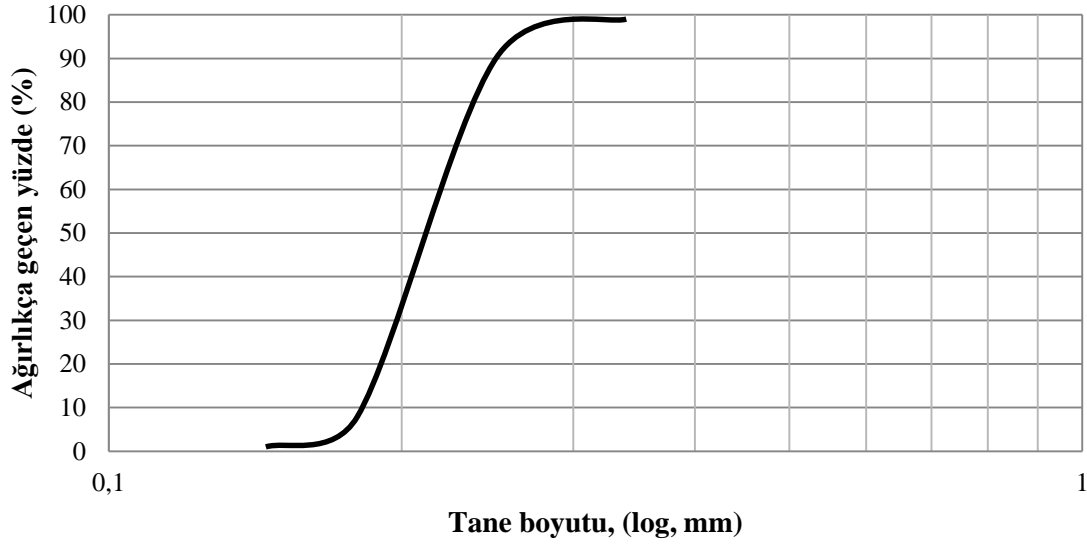
aljinatın zemin içerisinde dağılımı ve permeabilite sonuçları değerlendirilmiş ve Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile oluşan yapı mikro ölçekte gözlemlenmiştir.

II. MATERYAL METOT

A. MATERYAL

A.1. Zemin

Çalışmada kullanılan silis kum zeminin ASTM E 11 [17] standardına göre yapılan tane çapı dağılım eğrisi Şekil 1’de ve elek analizi sonuçları Tablo 1 ’de verilmiştir. Elek analizi deneyi sonuçlarına göre zemin sınıfı SP (kötü derecelenmiş kum zemin) olarak belirlenmiştir. Zeminler 38 mm çapındaki PVC kalıba 90 mm yükseklikte ve yaklaşık %50 rölâtif sıkılıkta konulmuştur.



Şekil 1. Silis kum zemine ait granülometri eğrisi

Tablo 1. Deneylerde kullanılan kum zeminin indeks özellikleri

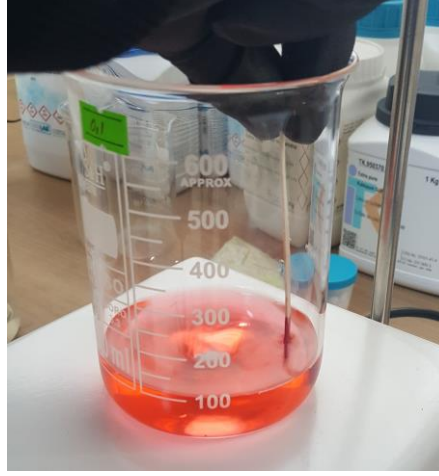
Özellik	Birim	Değer
D ₁₀ ^a	mm	0.18
D ₃₀ ^a	mm	0.20
D ₆₀ ^a	mm	0.22
C _u ^a	-	1.22
C _c ^a	-	1.01
Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi (USCS)	-	SP

^aASTM D2487-11 [18]

A.2. Kalsiyum Klorür ve Sodyum Aljinat

Çalışmada kalsiyum klorür 0,75 M (molar) olarak kullanılmıştır [7]. Sodyum aljinat ise yoğunluğun etkisinin belirlenmesi amacıyla 0,1 g/l, 0,3 g/l ve 0,6 g/l olarak kullanılmıştır. Sodyum aljinat solüsyonu, zemin içerisinde kalsiyum klorürle reaksiyona girdiğinde oluşan jel dağılımının görsel

olarak daha iyi anlaşılabilmesi amacıyla uygulanmadan önce gıda boyası (kırmızı) ile renklendirilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Sodyum aljinat solüsyonu hazırlanması (gıda boyası ile renklendirme işlemi)

A.3. Permeabilite Deneyi

Zeminin iyileştirme öncesinde ve sonrasında permeabilite katsayıları sabit düzeyli permeabilite deneyi prensibinde yürütülmüştür. Uygulama öncesi silis kum zeminin permeabilite katsayısı $8,98 \times 10^{-2}$ cm/s olarak belirlenmiştir. İyileştirme sonrasında zemin örnekleri suya doymun hale getirilmiş ve alttan süzülen su debisi sabitlendiğinde kapta biriken su miktarı ve hidrolik eğim dikkate alınarak permeabilite hesaplanmıştır.

A.4. SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) Analizi

Zeminlerin iyileştirme sonrasında oluşan yapıların mikro ölçekte değerlendirilebilmesi amacıyla SEM analizi yapılmıştır. SEM analizi Quanta 450 FEG cihazı ile yapılmıştır. Analizde kullanılan örnekler zemin numunesinin orta bölgesinden alınmış ve görüntüler kaplama yapılmadan 20 kV voltaj seviyesinde elde edilmiştir.

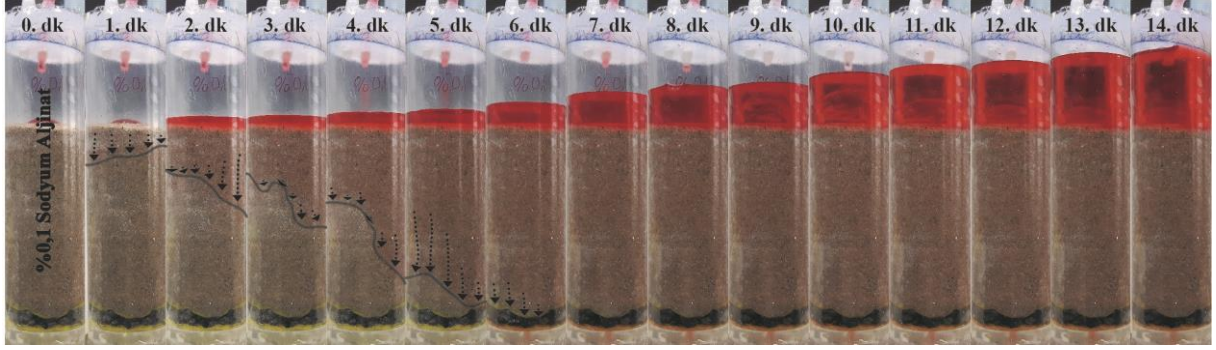
B. METOT

Zeminlerin bulunduğu kalıbın alt kısmına zemin tanelerinin süzülmemesi amacıyla çakıl filtre ve sünger yerleştirilmiştir. Kalsiyum klorür ve sodyum aljinat solüsyonları kalıbın üst kısmından peristaltik pompalar vasıtasıyla verilmiştir. Öncelikle 0,75 M kalsiyum klorür yaklaşık 30 dk. süresince alttan süzülen solüsyonun üstten tekrar verilmesi ile çevrim şeklinde uygulanmıştır. Böylece zemin kalsiyum klorür solüsyonu açısından doymun hale getirilmiştir. Sonrasında üç farklı yoğunlukta sodyum aljinat (0,1 g/l, 0,3 g/l ve 0,6 g/l) uygulanmıştır. Sodyum aljinat solüsyonu uygulanırken enjeksiyon basıncı 2 bara ulaştığında deney durdurulmuştur. Deney tamamlandıktan sonra zeminlerin geçirimsizlikleri belirlenmiştir. Geçirimsizlik deneyi sonrasında zemin örneklerinin SEM analizi yapılmıştır.

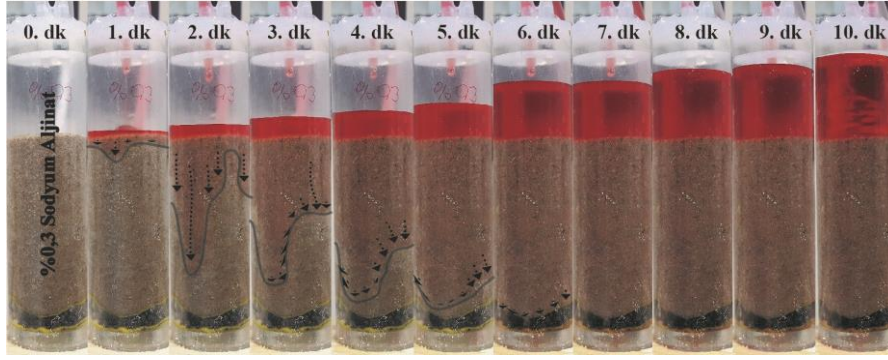
III. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

Uygulama yapılan zeminlerin 1 dk ara ile alınan görselleri Şekil 3, Şekil 4 ve Şekil 5'te verilmiştir. Farklı yoğunluklarda hazırlanan sodyum aljinatın zeminlerin içerisinden süzülerek çıkış bölgesine gelmesi tüm numunelerde benzer sürelerde (yaklaşık 6 dk.) gerçekleşmiştir. MICP tekniğiyle çimentolama solüsyonunun 2 bar basınca kadar verildiği belirtildiğinden [19] her bir sodyum aljinat

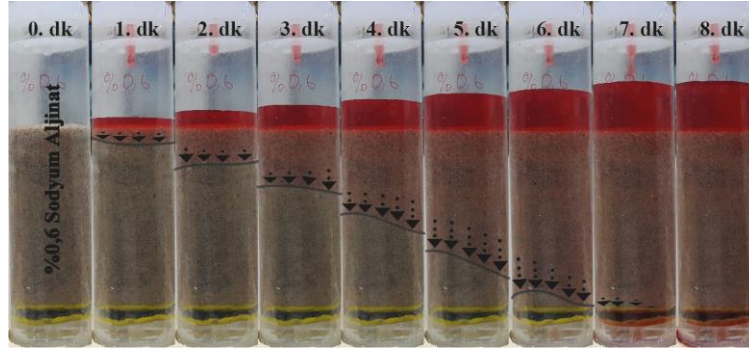
yoğunluğu için yaklaşık 2 bar basınca ulaşıldığında uygulama durdurulmuştur. Uygulamanın durdurulması her bir yoğunluk için farklı sürelerde gerçekleşmiştir. En uzun süre 0,1 g/l (14 dk.) ve en kısa süre 0,6 g/l (8 dk.) yoğunlukta sodyum aljinat uygulanan örneklerde gerçekleşmiştir.



Şekil 3. 0,1 g/l Sodyum aljinat enjeksiyonunun zamana bağlı dağılımı



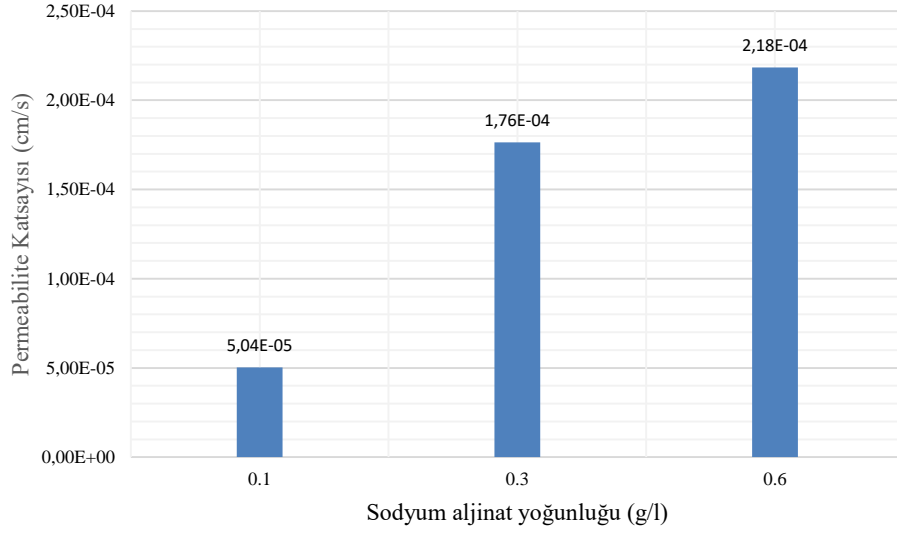
Şekil 4. 0,3 g/l Sodyum aljinat enjeksiyonunun zamana bağlı dağılımı



Şekil 5. 0,6 g/l Sodyum aljinat enjeksiyonunun zamana bağlı dağılımı

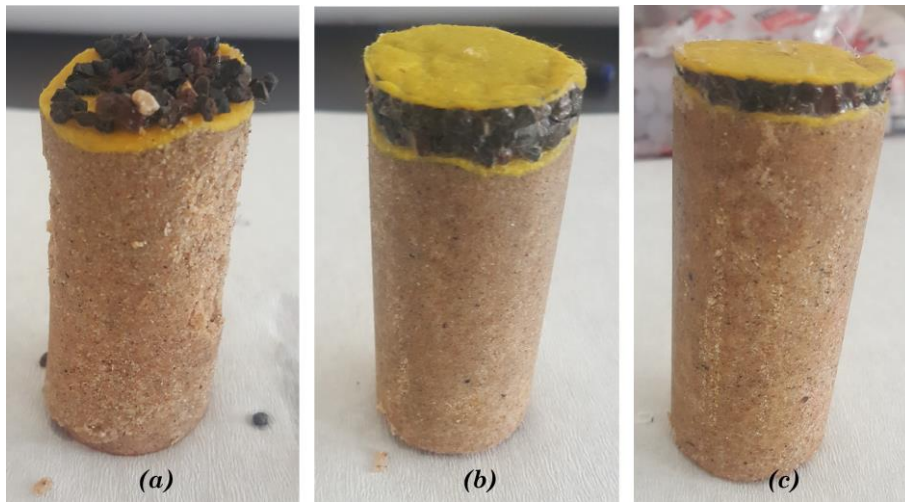
Uygulama yapılan zeminlerin permeabilite deney sonuçları Şekil 6'da verilmiştir. Buna göre uygulama yapılan tüm zeminlerde permeabilitede düşüş elde edilmiştir. Şekil 5'te 0,6 g/l uygulanan numunede diğer yoğunluklara göre zamana bağlı olarak daha homojen bir ilerleme görülse de daha düşük yoğunluklardan daha iyi sonuçlar elde edilebilmiştir. 0,1 g/l sodyum aljinat uygulanan zemin örneğinde enjeksiyon basıncının 2 bar olması için gereken süre diğer yoğunluklara göre daha uzun sürse de geçirimsizlik açısından daha iyi sonuçlar elde edilebilmiştir. Zhao et al., [20] çalışmalarında kil zemin üzerinde sodyum aljinat etkisini araştırmış ve sodyum aljinat yoğunluğu arttıkça permeabilitenin daha düşük değerlere sahip olduğunu belirtmiştir. Çalışmamızda ise genel olarak sodyum aljinat yoğunluğu azaldıkça permeabilitenin daha düşük değerlere sahip olduğu belirlenmiştir. Buradan farklı zeminlerde farklı uygulamalara ihtiyaç duyulduğu anlaşılmaktadır. Düşük

yoğunluklarda enjeksiyon basıncının daha uzun sürede artması ve yoğunluk azaldıkça zemin örneklerinin daha düşük permeabiliteye sahip olmalarının zeminde oluşan yapının daha homojen gerçekleştiğinden kaynaklandığı düşünülmektedir. MICP tekniğiyle yapılan uygulamalarda en büyük sorunlardan birinin homojen kalsit dağılımı [21] olduğu göz önüne alınırsa sodyum aljinate yoğunluğunun uygulamada kritik öneme sahip olduğu söylenebilir. MICP uygulamalarında uygulama sürelerinin azaltılmasında sodyum aljinate biyopolimerinin oluşturduğu jel yapının uygulama süresinin kısaltılmasında etkili olabileceği ve sodyum aljinate yoğunluğunun düşürülmesinin sonuçlar üzerinde olumlu etki gösterebileceği değerlendirilmektedir.



Şekil 6. Permeabilite deney sonuçları

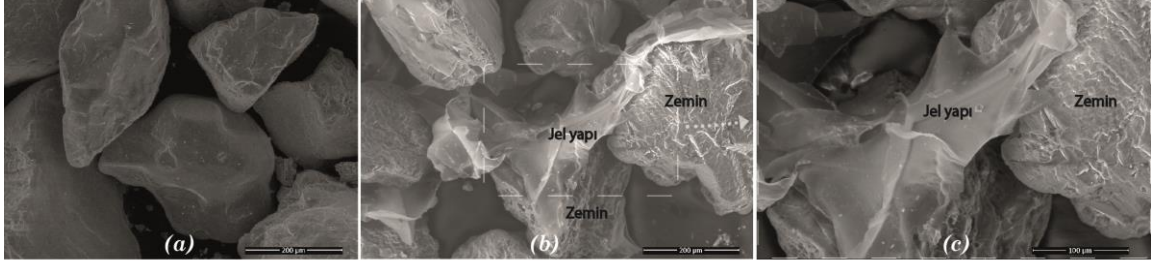
Zemin örneklerinin kalıplardan çıkarıldıktan sonraki görselleri Şekil 7’de sunulmuştur. Zemin örnekleri kalıptan çıkarıldığında dağılmamış ancak mukavemet (serbest basınç deneyi) elde edilememiştir. Sadece kalsiyum klorür ve sodyum aljinate kullanımının permeabilite üzerinde daha etkili olduğu anlaşılmaktadır. MICP tekniği ile birlikte sodyum aljinate ve kalsiyum klorür kullanılmasıyla zemin taneleri arasındaki bağların artacağı böylece mukavemet açısından da daha iyi sonuçlar elde edilebileceği değerlendirilmektedir.



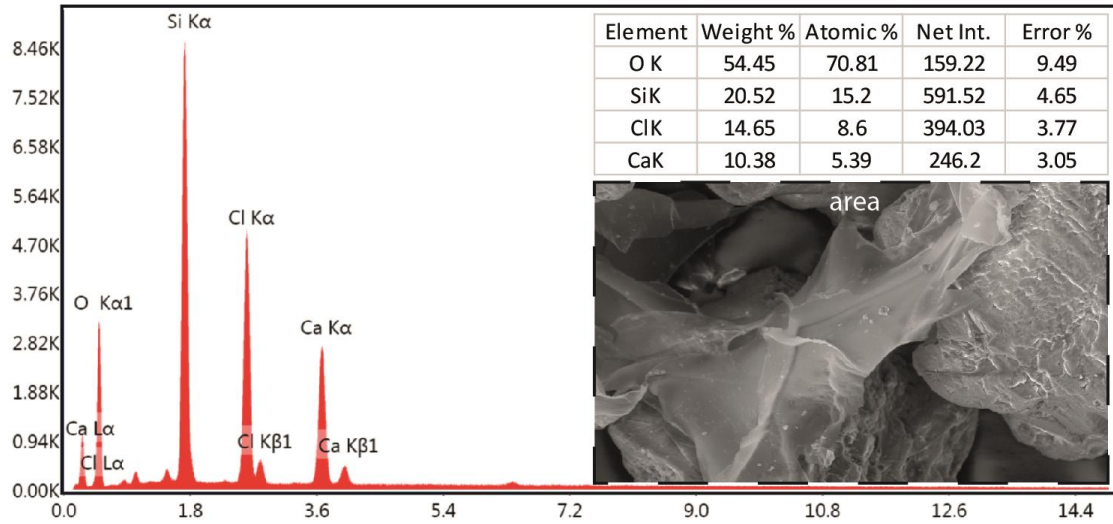
Şekil 7. İyileştirme sonrası zemin örneklerine ait görseller

Şekil 8’de iyileştirilmeyen zemin numunesi ile iyileştirilen zemin numunesi karşılaştırıldığında 0,1 g/l uygulanan zeminin SEM analizinde oluşan jel yapının zemin taneleri arasında bağ oluşturduğu ve

boşlukları doldurduğu anlaşılmaktadır. Şekil 9'de jel yapının olduğu bölgede yapılan EDS (Enerji dispersiv spektrum) analizi sonuçlarında Si elementi silis kum zeminden kaynaklanmaktadır. Cl ise kalsiyum klorürün suda çözünmesi sonucunda oluştuğundan pik vermiştir. Ca elementi de yine benzer şekilde kalsiyum klorürün suda çözünmesi sonucunda pik göstermiştir.



Şekil 8. SEM analiz sonuçları (a) İyileştirilmeyen numune (b) İyileştirilen numune 500x (c) İyileştirilen numune 1000x



Şekil 9. EDS analiz sonuçları

IV. SONUÇ

Yapılan bu çalışmada farklı yoğunluklarda hazırlanan sodyum aljinat solüsyonu ile MICP tekniğinde çimentolama solüsyonunda bulunan kalsiyum klorürün oluşturduğu jel yapının enjeksiyon özellikleri incelenmiştir. Çevrim şeklinde yapılan uygulamada bir süre sonra oluşan jel yapı zemin içerisinde enjeksiyon basıncını artırmış ve her bir yoğunluk için uygulama sonucunda zemin örneklerinin permeabilitesinde düşüşler elde edilebilmiştir. Sodyum aljinat yoğunluğu azaldıkça enjeksiyon uygulaması sonucunda belirlenen permeabilite katsayıları da azalmıştır. İki bar enjeksiyon basıncına en uzun sürede ulaşan 0,1 g/l sodyum aljinat solüsyonu ile en düşük permeabilite sonucu elde edilmiştir. Sodyum aljinat ve kalsiyum klorürün birlikte kullanılacağı MICP tekniği ile yapılan zemin iyileştirme uygulamalarında, düşük yoğunluklarda (en fazla 0,1 g/l) sodyum aljinat kullanımının daha homojen bir yapı oluşturacağı ve jel haline gelen bu karışımın daha kısa sürede başarılı sonuçlar verebileceği değerlendirilmektedir.

V. KAYNAKLAR

- [1] N. Bozkurt ve N. Sayın, “Günümüz Teknolojileri Çerçevesinde Çimento Dünyasındaki Gelişmelerin Araştırılması,” *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 9, s. 4, ss. 1159–1173, 2021.
- [2] A. Sharma and R. R., “Study on effect of Microbial Induced Calcite Precipitates on strength of fine grained soils,” *Perspect Sci (Neth)*, vol. 8, pp. 198–202, 2016.
- [3] L. Cheng, M. A. Shahin, R. Cord-Ruwisch, M. Addis, T. Hartanto, and C. Elms, “Soil stabilisation by microbial-induced calcite precipitation (MICP): investigation into some physical and environmental aspects,” presented at *7th international congress on environmental geotechnics*, Melbourne, Australia, 2014.
- [4] L. Cheng, R. Cord-Ruwisch, and M. A. Shahin, “Cementation of sand soil by microbially induced calcite precipitation at various degrees of saturation,” *Canadian Geotechnical Journal*, vol. 50, no. 1, pp. 81–90, 2013.
- [5] M. Dagliya, N. Satyam, and A. Garg, “Experimental Study on Optimization of Cementation Solution for Wind-Erosion Resistance Using the MICP Method,” *Sustainability*, vol. 14, no. 3, p. 1770, 2022.
- [6] M. Sharma, N. Satyam, and K. R. Reddy, “Investigation of various gram-positive bacteria for MICP in Narmada Sand, India,” *International Journal of Geotechnical Engineering*, vol. 15, no. 2, pp. 220–234, 2021.
- [7] H. Akoğuz, “Mikrobiyal aracılı kalsit çökmesi ile zeminlerin biyolojik iyileştirilmesinde bazı değişkenlerin etkisinin araştırılması,” Doktora, Fen Bilimleri Enstitüsü, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, Türkiye, 2019.
- [8] M. G. Arab, R. A. Mousa, A. R. Gabr, A. M. Azam, S. M. El-Badawy, and A. F. Hassan, “Resilient Behavior of Sodium Alginate–Treated Cohesive Soils for Pavement Applications,” *Journal of Materials in Civil Engineering*, vol. 31, no. 1, p. 04018361, 2019.
- [9] K. Wen, Y. Li, W. Huang, C. Armwood, F. Amini, and L. Li, “Mechanical behaviors of hydrogel-impregnated sand,” *Constr Build Mater*, vol. 207, pp. 174–180, 2019.
- [10] L. Cheng, Y. Yang, and J. Chu, “In-situ microbially induced Ca²⁺-alginate polymeric sealant for seepage control in porous materials,” *Microb Biotechnol*, vol. 12, no. 2, pp. 324–333, 2019.
- [11] A. Almajed, K. Lemboye, M. G. Arab, and A. Alnuaim, “Mitigating wind erosion of sand using biopolymer-assisted EICP technique,” *Soils and Foundations*, vol. 60, no. 2, pp. 356–371, 2020.
- [12] N.-J. Jiang and K. Soga, “Erosional behavior of gravel-sand mixtures stabilized by microbially induced calcite precipitation (MICP),” *Soils and Foundations*, vol. 59, no. 3, pp. 699–709, 2019.
- [13] F. Teng, Y.-C. Sie, and C. Ouedraogo, “Strength improvement in silty clay by microbial-induced calcite precipitation,” *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, vol. 80, no. 8, pp. 6359–6371, 2021.

- [14] B. M. Mortensen, M. J. Haber, J. T. DeJong, L. F. Caslake, and D. C. Nelson, "Effects of environmental factors on microbial induced calcium carbonate precipitation," *J Appl Microbiol*, vol. 111, no. 2, pp. 338–349, 2011.
- [15] Z. Wang, N. Zhang, J. Ding, Q. Li, and J. Xu, "Thermal conductivity of sands treated with microbially induced calcite precipitation (MICP) and model prediction," *Int J Heat Mass Transf*, vol. 147, p. 118899, 2020.
- [16] K. A. Gebru, T. G. Kidanemariam, and H. K. Gebretinsae, "Bio-cement production using microbially induced calcite precipitation (MICP) method: A review," *Chem Eng Sci*, vol. 238, p. 116610, 2021.
- [17] Standard specification for woven wire test sieve cloth and test sieves, ASTM E11, 2013.
- [18] Standard practice for classification of soils for engineering purposes, ASTM D2487-11, 2011.
- [19] S. N. Wei, L. L. Min, K. T. Chew, and L. H. Siew, "Factors Affecting Improvement in Engineering Properties of Residual Soil through Microbial-Induced Calcite Precipitation," *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, vol. 140, no. 5, p. 04014006, 2014.
- [20] Y. Zhao, J. Zhuang, Y. Wang, Y. Jia, P. Niu, and K. Jia, "Improvement of loess characteristics using sodium alginate," *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, vol. 79, no. 4, pp. 1879–1891, 2020.
- [21] CS. Tang, Ly. Yin, Nj. Jiang, C. Zhu, H. Zeng, B. Shi, "Factors affecting the performance of microbial-induced carbonate precipitation (MICP) treated soil: a review," *Environ Earth Sci*, vol. 79, no. 5, p. 94, 2020.



Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

Implementation of Blockchain-Assisted Source Routing for Traffic Management in Software-Defined Networks

 Murat KARAKUŞ^{a,*}

^a Department of Software Engineering, Faculty of Engineering, Ankara University, Ankara, TÜRKİYE

* Corresponding author's e-mail address: mrtkarakus@ankara.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1209656

ABSTRACT

The control and infrastructure layers are split into Software-Defined Networks (SDNs). With the control and infrastructure planes split, new network applications may be developed with more simplicity and greater independence. On the other hand, the disadvantages of SDN create a slew of questions. In large-scale networks, such as Wide Area Networks (WANs) covering huge areas, more propagation delays substantially contribute to network convergence time. In addition, traditional SDN restricts network design flexibility due to the influence of controller location on network performance in large-scale networks. SDN-based source routing (SR) has emerged as a viable solution to the issues above, where the packet header field is used to specify a packet's route. This study presents an SR-based End-to-End (E2E) traffic management framework called *SoRBlock*. In *SoRBlock*, inter-domain routing uses blockchain technology, while intra-domain routing relies on the SR technique in SDNs. The simulation results show that the proposed SR-based *SoRBlock* framework outperforms the traditional hierarchical routing approach, *HRA*, in SDN networks by lowering path setup time (PST) and the number of controller messages. While the same (i.e., identical origin and target) service requests were used for all runs in the simulations, the proposed *SoRBlock* architecture presents almost three times less total PST between 45ms and 65ms than the *HRA* method between 130ms and 200ms due to the *HRA* approach's increased node-controller and controller-controller latencies. On the other hand, *SoRBlock* shows two times less PST ([75ms – 90ms]) than *HRA* ([150ms – 175ms]) when different service requests (i.e., different origin and target) were used. Concerning Controller Messages Processed (CMP), the *HRA* deals nearly 50% more controller messages between 7 and 15 than the *SoRBlock* between 3 and 10 when the number of domains varies, while the CMP in the *SoRBlock* scheme ([10 - 17]) approaches that in the *HRA* framework ([15 - 20]) regarding the ratio while the count of nodes rises in domains.

Keywords: Source Routing, Blockchain, Software Defined Networks, Traffic Management

Yazılım Tanımlı Ağlarda Trafik Yönetimi İçin Blokzincir Destekli Kaynak Yönlendirmesinin Uygulanması

ÖZ

Kontrol ve veri katmanları, Yazılım Tanımlı Ağlarda (YTA) bölünmüştür. Kontrol ve veri düzlemlerinin ayrılmasıyla, yeni ağ uygulamaları daha basit ve bağımsız bir şekilde geliştirilebilir. Öte yandan, Yazılım Tanımlı Ağların dezavantajları birçok sorun oluşturmaktadır. Geniş Alan Ağları (WAN'lar) gibi büyük ölçekli ağlarda, daha fazla yayılma gecikmesi, ağ yakınsama süresine önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır. Ek olarak, geleneksel YTA, büyük ölçekli ağlarda denetleyici konumunun ağ performansı üzerindeki etkisi nedeniyle ağ tasarım esnekliğini kısıtlar. YTA-bazlı kaynak yönlendirmesi, paket başlık alanının bir paketin ağ üzerindeki yolunu belirtmek için kullanıldığı ve yukarıdaki sorunlara uygulanabilir bir çözüm olarak ortaya çıkmıştır. Bu çalışma, *SoRBlock* adlı kaynak yönlendirme tabanlı uçtan uca trafik yönetimi çerçevesini sunmaktadır.

1250

SoRBlock'ta, ağlar arası yönlendirme, blokszincir teknolojisini kullanırken, ağ içi yönlendirme, YTA-bazlı kaynak yönlendirme tekniğine dayanmaktadır. Simülasyon sonuçları, önerilen kaynak yönlendirme tabanlı *SoRBlock* çerçevesinin, yol kurulum süresini (Path Setup Time - PST) ve işlenen denetleyici mesajlarının (Controller Messages Processed - CMP) sayısını azaltarak YTA ağlarında geleneksel hiyerarşik yönlendirme yaklaşımı olan *HRA*'dan daha iyi performans gösterdiğini göstermektedir. Önerilen *SoRBlock* mimarisi 45ms ve 65ms aralığında olmak üzere, tüm simülasyon çalıştırmalarında aynı (aynı kaynak ve hedef düğüm) hizmet isteklerinin kullanıldığı senaryoda, *HRA* yaklaşımının artan düğüm - denetleyici ve denetleyici - denetleyici gecikmelerinden dolayı *HRA* yönteminden 130ms ve 200ms aralığında olmak üzere neredeyse üç kat daha az toplam PST sunmaktadır. Öte yandan *SoRBlock* ([75ms – 90ms]), farklı hizmet istekleri (farklı kaynak ve hedef) kullanıldığında *HRA*'dan ([150ms – 175ms]) iki kat daha az PST göstermektedir. İşlenen Denetleyici Mesajları (CMP) bakımından, etki alanı (domain) sayısı arttığında *HRA* ([7 - 15]), *SoRBlock*'tan ([3 - 10]) yaklaşık %50 daha fazla denetleyici mesajı işlerken, *SoRBlock* çerçevesinde ki CMP ([10 - 17]), *HRA* çerçevesinde ([15 - 20]) CMP'ye, etki alanlarındaki düğüm sayısı artarken oran olarak yaklaşmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Kaynak Yönlendirme, Blokszincir, Yazılım Tanımlı Ağlar, Trafik Yönetimi

I. INTRODUCTION

The centralized operations and administration in Software Defined Networking (SDN) [1] leads to scalability challenges owing to the recent per-flow forwarding state blast in networks caused by a growth in the count of nodes along with intelligent, flexible, and policy-driven service requests. One challenge is that WANs can suffer from extended propagation delays due to the controller's requirement to deploy flow rules on each data plane device along the flow's route. Long propagation delays may result in lengthy path setup times in large-scale SDN networks with many geographically dispersed switches. Route setup delay may not affect elephants and/or ordinary flows. However, the Quality of Service (QoS) of delay-aware flows might be considerably degraded [2] from such lengthy path setup times. Another scalability challenge in SDN networks is the message processing load by data plane devices and SDN controllers. SDN switches may struggle to process OpenFlow messages because of their limited processing capability. Because SDN devices can hold a certain amount of flow rules in flow tables, the "match-and-action" concept may affect the granularity with which flows are controlled. A similar problem with resource capacity affects SDN controllers while processing service request setup status messages. They only have a slight processor and storage capacity installed on their computers. The controller message load to process increases as the network expands, resulting in a network computation bottleneck. Finally, SDN switches have limited storage capabilities to maintain flow rules. SDN devices often keep flow tables and rules in TCAM-based memories [3]. However, the TCAM memories are expensive, power-costly, and restricted storage resources. In order to handle SDN architecture's scalability challenges, it is necessary to diminish the number of network incidents handled in the control layer and only process needed network incidents [4].

Increasing the scalability of SDN by lowering the number of flow rules in the switches has recently been deemed a potential strategy, i.e., easing the information change among the controller and data layer nodes [5]. At the origin node, Source Routing (SR) lays out the whole route from source to target. SDN networks' centralized management allows the controller to keep track of the network's global topology. This means that various objectives may be met by using different enhanced SR strategies. Similar to SDN-based destination routing, source switch-based route encapsulation aims to save flow information in the packet header. This means that all that would be required of each intermediary switch along the line is to read the correct egress ports and send the packets. To provide fine-grained traffic management, a limited and finite amount of flow rules may be exploited by all flows without requiring any interaction from the controller during route creation.

A potential solution to these issues mentioned above (i.e., path setup time latency and augmented controller message processing) might be utilizing an SR approach in routing functionalities, i.e., putting the route information into the packet headers [6], [7]. This allows putting a limited number of flow-independent forwarding rules into the network devices, which considerably diminishes the

forwarding state and improves the control plane scalability by reducing the workload on controllers to add flow entries into data layer nodes.

This work exploits and builds on the idea proposed in our previous study [8]. This study integrates a *Port IDs and TTL (PIDTTL)* based SR scheme for intra-domain traffic management into our blockchain (BC)-supported QoS-concentrated cross-network routing framework [8] in order to enable QoS-based end-to-end (E2E) routing in SDNs. This study aims to design and implement an E2E routing framework (*SoRBlock*) in SDNs, where inter-domain level routing exploits BC technology and intra-domain level routing leverages the SR scheme. The performance of the *SoRBlock* framework is quantified regarding *Path Setup Time* and the number of *Controller Messages Processed* (by controllers) metrics. *SoRBlock* is also compared against a QoS-aware routing strategy in SDNs, *Hierarchical Routing Approach (HRA)*, presented in our earlier research [9] to evaluate the performance gains. This study is certainly not the first to conceive SR. However, it is the first to effectively couple the SR concept, SDN, and BC to implement and demonstrate the collaboration of combined SDN, BC, and SR schemes on inter-domain routing applicability.

The following outline is the body of this paper: The next section presents studies exploiting SR in SDN. Section III briefly discusses SDN, SR, and BC to render this study self-sufficient. Section IV introduces the details of SR-based intra-domain and BC-enhanced inter-domain routing strategies in SDN in this study. Section V presents the experimental numbers before the final notes in the Conclusion section.

II. RELATED WORK

A packet's complete routing path may be determined solely by the origin using SR. Because of its simple and lower-state routing packets, it has already received substantial attention. SDN research also leverages the SR concept. SDN-based SR was suggested by [6] for scalable service chaining in the data center. The packet header contains the route information. Intermediary data plane nodes' ports are represented as straight integers to eliminate the requirement for additional bytes for route information.

On the other hand, SDN-based data centers concentrate on route installation rather than path discovery. Furthermore, it does not provide QoS. A novel forwarding method for OpenFlow-based systems is discussed by [10], who emphasizes the controller scalability and performance difficulties in SDNs. The equation for the number-encoded SR route is derived in this study. This dramatically minimizes the number of routing states sent to forwarding nodes by pushing the route rule to the ingress node. Using OpenFlow and NOX controller extensions, StEERING [11] attempts to set up a route that travels through certain middle-boxes. Splitting a single flow table into many small tables is the approach to limiting "rule explosion". StEERING utilizes Graph Theory to provide a solution to the route planning conundrum. StEERING's main shortcoming is the absence of QoS support. It uses middle-boxes procedures to find the best route. With SlickFlow [12], the emphasis is on resolving problems at the source through SR. The controller's fault recovery program sends the route information to the entry nodes in special headers. Each part of the journey includes all hops and other routes to the next hop.

In order to virtualize the data center network, SecondNet [13] uses SR through MPLS port switching. SecondNet uses shorter pathways and, as a result, does not encounter some of the limits associated with service chaining that apply to linking pairs of virtual machines. Improved flexibility and performance are the goals of [14]'s source-routed fabric. A source-routed fabric in leaf-spine data center topologies is discussed in the paper, which estimates the throughput advantages of the proposed fabric over existing forwarding methods. For data centers, the architecture described by [7] is comparable to the port switching procedure developed by [15] and the SR techniques shown in [14]. Wireless networks may also benefit from the use of SR. One of the most used SR schemes in MANET and Ad-Hoc networks is Dynamic Source Routing (DSR) [16]. A packet's route data may be included

in its header, allowing intermediary nodes to avoid maintaining a routing table in DSR. Finally, Segment Routing [17] is an alternate SR-based method proposed by the IETF to provide simplification, improved traffic engineering, and quick reroute capabilities.

New traffic engineering activities and services demand low-overhead routing and forwarding disruptions over-complicated network topologies. Source routing (SR) reduces network states to provide expressiveness and agility. M-PolKA [18], a topology-agnostic multipath source routing strategy and orchestration framework for reliable communications, examines exceptional characteristics from Residue Number System (RNS) polynomial arithmetic. Current routing protocols do not consider the communication characteristics of different applications. SDN was considered a solution, but it has scalability issues. Source Routing over IPv6 (SRv6), a decentralized source routing protocol, is expected to scale better. The proposed system in [19], Acar, uses SRv6 and adapts routing based on application bandwidth requirements and network link utilization. SDN has scalability issues in WANs due to the separation of control and data planes, which causes increased response time and overhead. The authors in [20] proposed the Source-Path Routing Model (SPRM) framework that addresses scalability, performance, and link failure issues by combining proactive and reactive approaches. They employ multiple pre-calculated paths and dynamic network state information (NSI) to assign the best path for an incoming flow. They also utilize multiple paths as a backup to each other in case of link failures. [21] proposes an SDN-based approach for quickly recovering Time Sensitive Networks (TSN) from failure events using SR and a stateless data plane. The authors employ a TSN failure recovery routing heuristic to minimize link congestion and TSN subgraphs to quickly reschedule flows in problematic areas. The authors in [22] introduce SRCV, a mechanism for verifying control-data plane consistency in P4-based SDN at runtime. SRCV uses active probe traffic with source routing labels, collects matching flow rule information, and compares it with control plane flow rules information through symbolic execution. Table 1 summarizes the related works studying SR and SDN.

Table 1. Summary of Related Works

WORK	SUMMARY
[6]	A scalable service chaining at which the NF-path path is encoded into the packet header
[7]	A forwarding method compactly encoding a packet's network route in its address fields
[10]	Focus on SR to solve SDN-based WAN convergence and controller placement issues
[11]	A framework for dynamically routing traffic through any sequence of middleboxes
[12]	An SR-based fast failure recovery by adding alternative path data into the packet header.
[13]	Data center network virtualization architecture using port-switching-based SR
[14]	SR-based clean abstraction and efficient implementation for future network fabrics
[15]	An SR approach for increased scalability and robustness in multi-tenant datacenters
[16]	Dynamic Source Routing (DSR) for Mobile Ad Hoc Networks for IPv4
[17]	Defining SR functions that are required in the IS-IS protocol
[18]	Topology-agnostic multipath source routing strategy and orchestration framework
[19]	A routing by considering application bandwidth requirements and link utilization
[20]	SPRM framework to address scalability, performance, and link failure issues in SDN
[21]	An SDN-based approach for ultra-fast TSN recovery using SR and stateless data plane
[22]	An SR-based control-data plane runtime consistency verification mechanism using P4
SoRBlock	An SR-based E2E traffic management framework in which inter-domain routing uses BC, while intra-domain routing relies on the SR technique in SDNs

SR is seen as a surrogate to the traditional hop-based forwarding strategy in SDN, as seen by the concepts described in this section. Despite this, there are a variety of implementation models to choose from. Despite this, other implementation forms exist. Supplementing these notions, this study demonstrates the applicability of SR strategies in actual SDN environments. However, this study differs from the works mentioned above in different ways. First, QoS information is considered in the

path selection process to support QoS provisioning. Second, BC is exploited to reduce further QoS-related signaling overhead messages handling by network controllers to enhance control plane scalability in SDN networks. Third, SR-based intra-domain and BC-enhanced inter-domain routing approaches cooperate to propose an E2E traffic management scheme. Therefore, this study is the first to exploit the confederacy of the SR, BC, and SDN concepts to manage E2E traffic to the best of the author's knowledge.

III. OVERVIEW OF SR, SDN, AND BC

This section briefly explains SR, SDN, and BC to make this paper self-inclusive.

A. SOURCE ROUTING (SR)

It is possible to set up a complete route from a single origin node to a single destination in SR. It requires the insertion of the set of labels into the packet header, which the switch fabric will handle. The process of SR can be facilitated by deploying a network controller in SDN, which will be responsible for the path computation and the population of path insertion entries into the edge switches. Reducing the amount of forwarding state may be accomplished via SR [23]. By reducing the number of states, significant reductions in switch TCAM can be achieved, resulting in more cost-effective switching equipment. In theory, switches could send packets with minimum flow-independent forwarding rules when employing SR because the path is encoded in the packet header. Each packet's route is represented as a list of labels that roughly correspond to the ports of the data plane nodes it must traverse. The switches can free up much TCAM capacity by not keeping forwarding entries to all network destinations at the L2 or L3 levels.

Because network topology may not match the route given by the source node, the usage of SR is restricted in practical networks. For this problem to exist, the source node must be deprived of a global topological perspective to establish a reliable route. As a result of the SDN controller's global topology perspective, it can accomplish globally optimal resource allocation and efficiency, including E2E routes. This means that in the scope of SDN, it is rather probable that a route will be found for SR. SDN uses SR in a variety of ways, including in data center networks [6], WANs [10], fault tolerance/recovery [13], and so on.

B. SOFTWARE-DEFINED NETWORKING (SDN)

The control plane and forwarding planes are intended to be separated by SDN. Network engineers and technicians benefit from this isolation, allowing them to use network resources more effectively and expedite service delivery. SDN also makes it simpler to modify the properties of entire networks via programmability. Network administration is more superficial because it is split from the data plane. SDN design [1] allows network administrators to simply and swiftly control and modify their networks' resources using self-written, flexible, and proprietary-free applications. Furthermore, unlike traditional networking, controllers in SDN possess a global view of the entire network since the network is logically centralized. As a result, they can dynamically improve resource allocation and flow management.

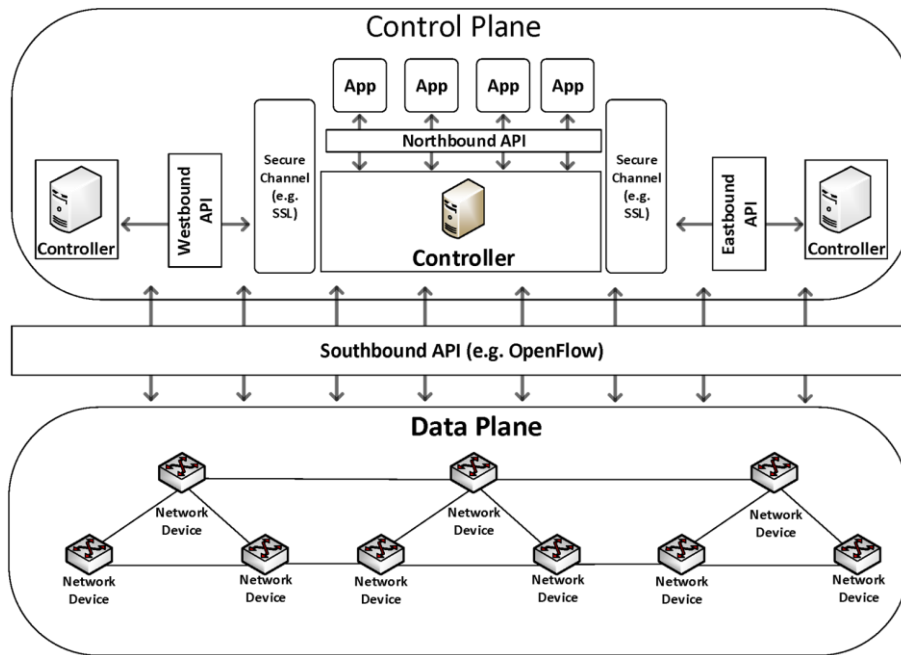


Figure 1. An outline of SDN with fundamental components.

Furthermore, the control and forwarding layers of SDN are interconnected through interfaces. These interfaces let devices communicate with others in the network. East-West APIs [24] aim to exchange information between controllers, which may be from the same or different organizations. Northbound APIs make network application and controller(s) interaction possible for network services. On the other hand, southbound APIs, as shown in Figure 1, enable access between the controller(s) and forwarding layer nodes such as routers, physical switches, or virtual switches. OpenFlow [25] is the primary southbound protocol for interaction between the control and data layers.

C. BLOCKCHAIN (BC)

BC technology is a democratic system where all participants working and participating in a network can follow the processes without a centralized authority. In another aspect, the system is a distributed database that records all transactions performed. Thanks to its decentralized structure, all operations performed without a centralized agent are executed with specific protocols and trust mechanisms. The overall BC structure is created by writing each activity, referred to as a transaction, into the blocks and adding it to the chain.

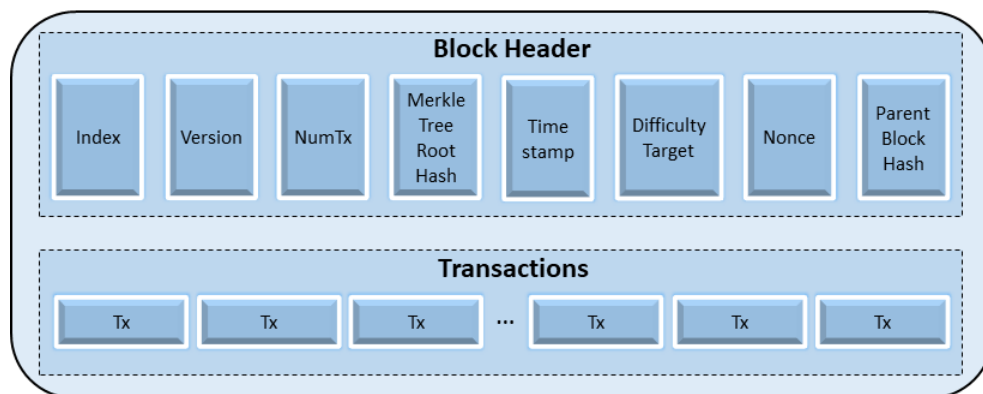


Figure 2. A visual depiction of a block's data structure in the BC.

A generic block data format in a BC is shown in Figure 2. A block's structure is primarily composed of: (i) a block header, which contains different data describing the block, and (ii) a block body, which contains the batch and count of transactions included inside the block. The construction of the BC might alter based on the applications and consensus methods that utilize it. Data such as the version or identifier, encrypted transaction values in a Merkle tree, a timestamp, and difficulty variables are included in the block header. The hashed value of the preceding/parent block is also included. The network's users use private and public keys to conduct transactional activities. Users' network access is protected by private keys, which act as a kind of identification.

IV. MOTIVATION

Combining SR, SDN, and BC can give networks a safe and effective routing solution. This method is not just tamper-proof and decentralized; it also gives users more say over how their data goes throughout the network. The optimal and reliable path for data to travel through a network may be determined using SR. SDNs allow the route to be dynamically altered based on current network circumstances, allowing optimal data delivery. BC may be used to make the network more secure and resistant to manipulation by storing and verifying routing information.

Altogether, SR, SDN, and BC can provide a complete answer for decreasing routing path setup times. This is especially relevant in networks that provide time-sensitive activities, such as online stock trading or live video conferencing. Combining these three technologies can be an effective strategy for easing the burden on routing controllers. Maintaining and updating the routing table is the controller's responsibility in conventional routing systems, which can burden the controller's resources and negatively impact performance. Organizations can relieve pressure on the controller by shifting part of the work to SR, SDNs, and BC.

The controller does not have to spend as much time maintaining and updating the flow tables and rules if SR is used to indicate the exact path that data should follow via the network. In order to ensure that data is delivered fast and effectively while minimizing the need for manual intervention and updates from the controller, SDNs allow for the routing path to be dynamically altered based on real-time network circumstances. BC can offer a decentralized and tamper-resistant solution to store and validate routing information to cut down on the time and effort needed for path construction and verification and the need for the controller to maintain centralized flow tables and rules.

Blending these three technologies can be especially helpful in sectors like banking, healthcare, and logistics, where safe and dependable transport is essential. When applied to a healthcare network, for instance, SR can guarantee the safe and timely transfer of patient information to the treating physician. Using BC can increase security by making routing data more difficult to alter and easier to verify. In addition, this method can give more programmability in routing, which opens the door to individualized routing solutions that meet the unique requirements of each business. This can boost efficiency, save money, and enhance safety and dependability.

Overall, SR, SDN, and BC form a powerful routing solution. Organizations may build a fast, secure, and reliable network by combining the benefits of these three technologies, lessening the time spent on path creation and verification and lightening the controller's workload.

V. SoRBlock: AN END-TO-END TRAFFIC MANAGEMENT FRAMEWORK

This section presents the technical details of the proposed E2E routing framework, *SoRBlock*, in two parts. First, a BC-based inter-domain level routing is presented in subsection IV-A.

Subsequently, the intra-domain level routing exploiting the SDN-based SR approach to form E2E connectivity is presented in subsection IV-B.

A. BLOCKCHAIN-BASED INTER-DOMAIN LEVEL ROUTING

This subsection presents an overview of the BC-based inter-domain level routing strategy in line with the framework discussed in [8] and used in this study. Readers can refer to [8] for more details.

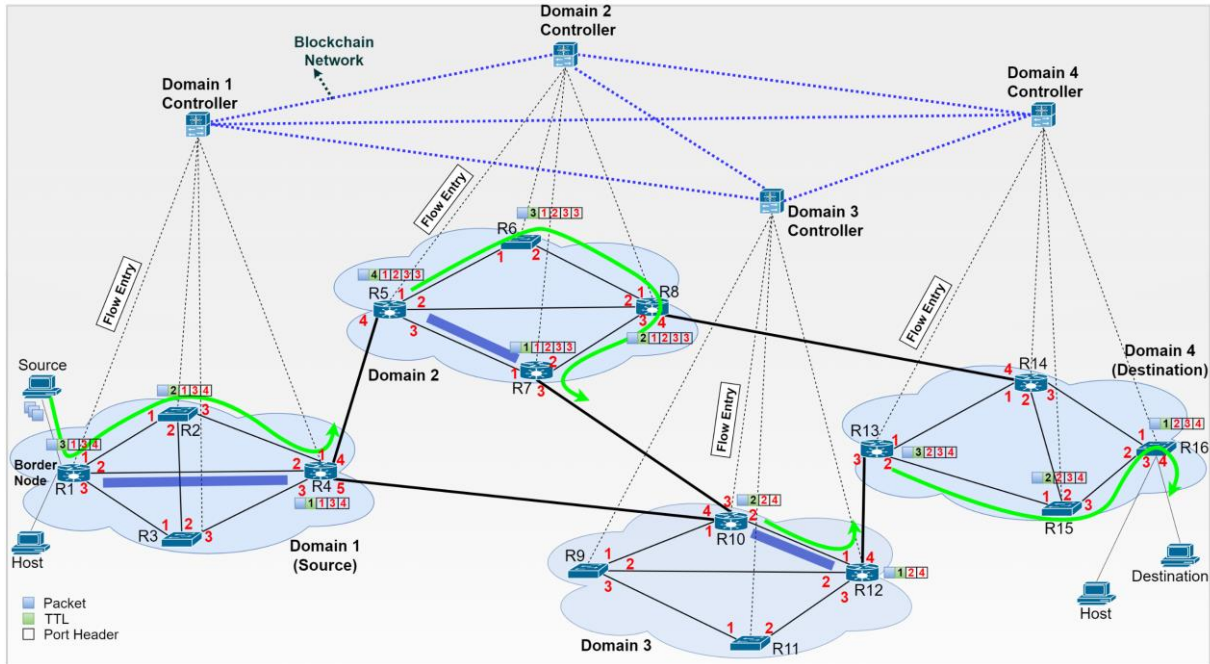


Figure 3. A representation of the proposed traffic management framework, *SoRBlock*, with BC-assisted inter-domain routing and SR-based intra-domain routing schemes for 4 SDN domains.

Figure 3 exhibits the proposed traffic management framework, *SoRBlock*, with BC-assisted inter-domain routing and SR-based intra-domain routing schemes. Figure 3 embodies the *SoRBlock* with 4 SDN domains with devices managed by corresponding controllers. Infrastructure nodes are two types: (i) A border device (rounded devices) connected to a border device in a different domain by an interconnecting link and (ii) a core network node (diagonal devices) without an interconnecting link. Black dashed lines represent the links among controllers and infrastructure nodes. There is also a BC network among controllers. Blue dashed lines show the connections in the BC amongst controllers. The thick blue lines show the pathlets, which comprise the E2E path, over the E2E path computed by the source-domain (Domain 1 in Figure 3) controller in domains. The green lines represent the SR-based intra-domain paths computed by controllers of domains over the E2E path. The red numbers are the port ID numbers of the network nodes.

The controller used in the *SoRBlock* framework has new modules and standard modules such as topology manager, statistics manager, etc. The Blockchain Manager (BM) and its sub-components are the primary BC enabler module. This component is a domain controller performing all BC-related operations. The Validator Agent is capable of proving new blocks from other controllers under BC's block validation criteria. The Hashing Agent is in charge of hashing transactions and blocks before transmitting to the BC. The Transaction/Block Agent is responsible for implementing the transactions/blocks that comprise the BC. The Consensus Protocol Handler conducts the BC consensus mechanism. The Resource Monitoring Manager (RMM) continually tracks network resources, such as bandwidth, latency, and jitter, to detect network modifications. It alerts the BM module of any updates and instructs it to construct the related transaction(s). Additionally, the controller design has novel applications. The Global Routing Agent (GRA) performs the cross-domain

routing capabilities when a controller receives an inter-domain service request. GRA uses transactions' ingress and egress fields to determine an E2E route for the arriving service request. The Blockchain Application (BA) is in charge of transmitting and receiving blocks and managing messages related to service requests.

In the framework, a pathlet is represented as: Given $G_i = (V_i, E_i)$, let $*V_i$ denote the set of border devices in the network N_i where $*V_i \subseteq V_i$, a path $P = \langle v_i^1, \dots, v_i^n \rangle$ is named a pathlet if $(\forall v_i^j \in P) \in V_i$ and $v_i^1, v_i^n \in *V_i$. A pathlet is a path that connects two border node pairs (entry and leaving nodes) in a domain. The nodes at the beginning and end of a pathlet are referred to as *ingress* and *egress* nodes. For example, as shown in Figure 3, paths R10-R12, R10-R9-R12, and R10-R9-R11-R10 (assuming duplex links) are pathlets between border devices R10 and R10 in Domain 3.

Each BC node represents a domain controller and operates its BC replica using the inter-domain level routing mechanism. Within the context of inter-domain routing, BC nodes generate transactions from pathlets and their associated QoS values. As a result, domain controllers calculate separate pathlets for all network border node pairings. A transaction's data structure consists of the following elements: Tx ID, Signature, Domain Number, Pathlet ID, Ingress Node, Egress Node, Max Bandwidth, and Min Delay. When a domain is added to the BC network, it begins producing the first transactions for the pathlets between the edge network nodes. Depending on the BC's consensus procedure, they are subsequently broadcast as blocks to the network or the corresponding BC nodes. Once a network variation affecting QoS, such as a bandwidth adjustment on a link, impacts the state of a pathlet, the controller produces a new transaction indicating the pathlet's variation. Controllers use the most up-to-date transaction for pathlets with the same IDs by checking the transaction IDs while finding an E2E route for service. The logic behind this procedure is that the most up-to-date transaction reflects the recent state of the respective pathlet concerning QoS parameters in the network. As in any BC application, a block has two parts in SoRBlock: block header and block body. The block header includes Block ID, Previous Block Hash, Merkle Root Hash, Primary-ID, and Timestamp data fields. The block body keeps pathlet transactions that domain controllers use to compute inter-domain E2E paths for service requests.

The inter-domain level routing is conducted after particular requested service-related messages are exchanged among domains. When a user/client sends a QoS-based inter-domain service request to a (source) domain controller through the S_Req message, the controller begins searching for an E2E *inter-domain level* route using its BC ledger, considering the QoS metrics and priority specified in the message. The *inter-domain level* E2E route is composed of pathlets connecting an edge device of its network (i.e., source-domain) to an edge device of the destination-domain through an overlay network, which is abstracted by using the BC's pathlet transactions. The path consisting of the thick blue pathlets, R1-R4-R5-R7-R10-R12-R13, is an example *inter-domain level* E2E path in Figure 3. *Reject* reply is sent back to the user if the source-domain controller cannot locate an *inter-domain level* E2E route that meets the service request requirements indicated in the S_Req message created by the BA module. The user/client is notified of this by the S_Res message. Each domain controller with a pathlet on the *inter-domain level* E2E path (domain controllers 2, 3, and 4 in Figure 3) is queried by the origin-domain controller to arrange the specified QoS values after getting back the P_Req messages generated by the BA module. S_Res message with an *Accept* answer is sent to the user/client by the source-domain controller, which states that the service request may be met and that the network will commence if all relevant domain controllers give *Accept* replies to the source-domain controller. A *Reject* response in P_Res messages from any domain controller across an E2E route causes the source-domain controller to search for a new intra-domain level E2E path with the same attributes and criteria.

B. SOURCE ROUTING-BASED INTRA-DOMAIN LEVEL ROUTING

There are three primary strategies identified and exploited for SR [6], [14], [15]. The most basic approach to constructing SR is to use the Label Sequence and Pointer solution. The series of (switch

port) labels is encoded in packet headers, and the reference to the following label is encoded in a distinct header field. The source/destination MAC address and IP(v6) address are good candidates for preserving labels (without additional transmission costs). The Label Sequence with TTL method utilizes TTL rather than a separate entry for the pointer to the following label (opposite the previous approach). Finally, the Switch IDs technique assumes unique identifier switch IDs and defines the route as a series of switch IDs. This necessitates a fixed matching table in each network device containing the IDs of surrounding devices. Because a switch can identify its ID in the chain, there is no requirement for a pointer. These implementations reserve their intrinsic advantages and disadvantages.

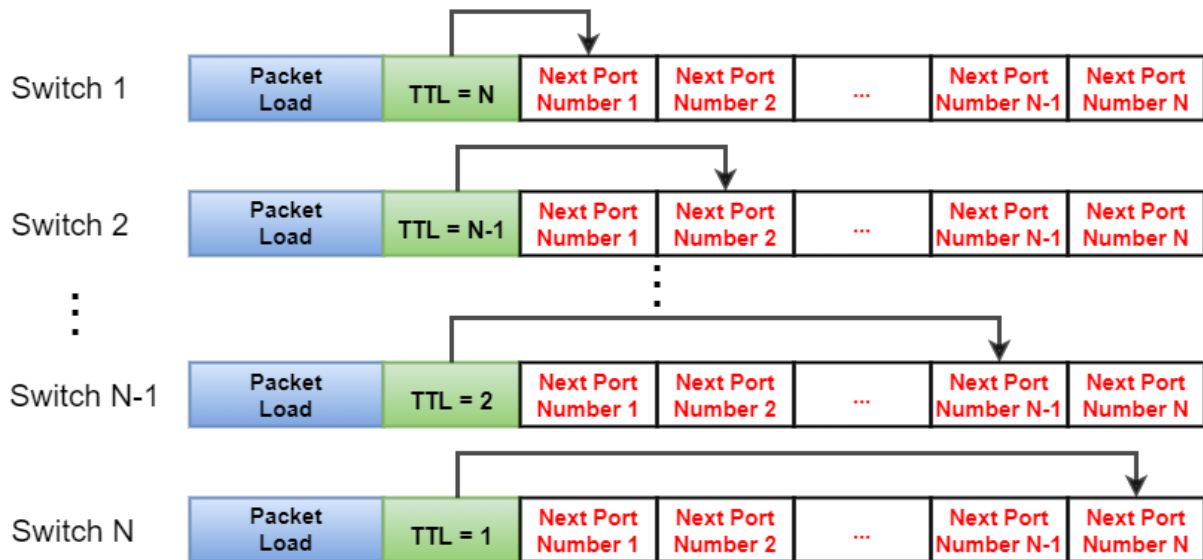


Figure 4. Packet header ports and TTL values in PIDTTL-based SR implementation.

This study employs the *PIDTTL* implementation due to efficient header space usage. The source and/or destination MAC addresses are used to encode the corresponding list of data plane device output ports. MAC address fields, in particular, are filled with a list of output ports that each node along the route will use to direct each packet. The TTL field is also utilized as a reference to the following port number in the MAC address. Figure 4 shows the *Next Port Number* (i.e., node output ports) and *TTL* (Time-to-Live) values of packet headers when packets arrive at network nodes in *PIDTTL*-based SR implementation.

- **Time-To-Live (TTL):** It is an eight-bit header showing how many hops the packet has left. The target node must know that it is the final hop to handle the payload in SR. As a result, the *TTL* was created with this purpose in mind, and its value is set at the origin node and then dropped by one with each successive hop.
- **Next Port Number:** It is a four-bit field that contains the packet's subsequent output port on a node over the computed intra-domain path. The node reads the corresponding port number using the current value in the *TTL* field of the packet header.

After *Accept* responses in *P_Res* messages, SR-based *intra-domain level* routing is conducted by domain controllers. These controllers add a flow rule in flow tables of only respective ingress border nodes of their domains for the service request packets. The relevant flow entry modifies each packet header to contain port numbers and TTL value that the packet traverse through inside the domain for the SR, as explained in subsection IV-B. In the example of Figure 3, after controller 2 sends a *P_Res* message to the source domain (i.e., domain 1) controller, the domain 2 controller inserts a flow entry in the flow table of R5 for the packets of the requested service to traverse through the domain 2.

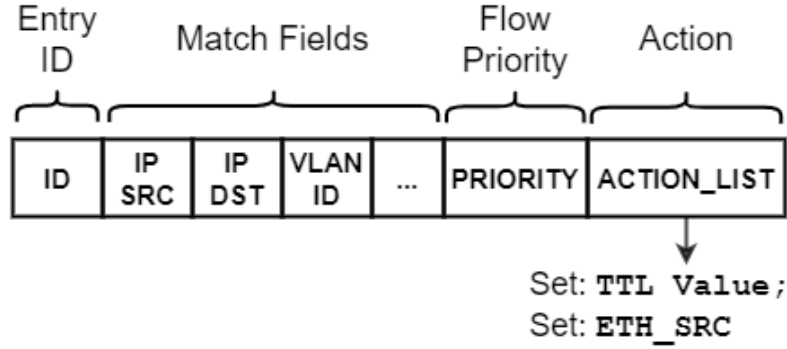


Figure 5. Flow entry data structure inserted in flow tables of the ingress network nodes of domains over the E2E path.

Figure 5 represents the data structure of flow entries added in the flow tables of the ingress network nodes of domains over the E2E path. The flow entry added in R5 by domain controller 2 modifies the header of each packet matching the flow entry to include an initial TTL value matching the hop count and port ID sequence as 4 and (1, 2, 3, 3), respectively, in the case of Figure 3. The TTL value is decremented as usual by each node that the packet traverse through inside the domain points to the subsequent port number encoded in the MAC address. This process is applied in each domain over the E2E inter-domain level routing path computed by the source domain controller. When the packets pass to the next domain over the E2E path, the ingress node of the domain that the packets traverse through modifies the headers of the packets accordingly by means of the corresponding flow entry inserted by the relevant domain controller. For example, the flow entry added in R10 by controller 3 modifies each packet header to include the initial TTL value and port sequence as 2 and (2, 4), respectively, when the packets come from R7 to R10 in the case of Figure 3.

VI. EXPERIMENTAL RESULTS

The performance of *SoRBlock* is tested by analyzing its *Path Setup Time (PST)* and *Controller Messages Processed (CMP)* parameters to those of the hierarchy-based routing approach, *Hierarchical Routing Approach (HRA)*, presented in our previous research [9].

In the experiments, Mininet simulator and Ryu controller were employed to create and model SDN networking devices and measure the results for the respective parameters listed in Table 2 during the experiments. MATLAB software was used to carry out numerical computations. A custom BC network built in Java has been used with different counts of network elements (i.e., data plane nodes and controllers) and two different transaction sizes (original pathlet transactions number as *SoRBlock_Org* and 500K transactions as *SoRBlock_500K*).

Table 2. List of parameters and notations used in the equations.

SYMBOL	DEFINITION
${}^k_fS = \{f_s^j \mid f_s^j \text{ is a switch, } f_s^j \in fS\}$	List of data plane nodes connected to k -th controller on the E2E path for flow f
${}_fC = \{f_c^k \mid f_c^k \text{ is a controller, } f_c^k \in fC\}$	List of controllers on the E2E route for flow f
$T(x)_y^{proc}$	Duration to process a message (x) at a network device (y)
$T(x)_y^{z}$	Duration to propagate a message (x) from a network device (y) to a network device (z)
$T(path_L)_y^{comp}$	Duration to find an intra-domain route at controller (y)
$T(path_{E2EBC})_y^{comp}$	Duration to find an E2E route for the service demand

	using BC at controller (y)
$T(path_{E2E})_{comp}^{BR}$	Time to find an E2E route for the service demand at BR
f^p	1 st packet of flow f
ρ	<i>packet_in</i> message from a switch to a domain controller
θ	<i>flow_mod</i> message from a domain controller to a switch
m	Various messages sent among domain controllers and BR
\vec{f}^h	Source-host
\vec{f}^s	Source-switch
\vec{f}^c	Source-domain controller
\vec{f}^N	Source-domain
$\leftarrow f^N$	Destination-domain
BR	A (super) controller called "Broker"
B^i	List of edge network nodes in i -th domain

Table 3 tabulates the parameters and their corresponding values used in the simulations. $|S|$ and $|C|$ represents the total number of nodes and controllers used in the simulations, respectively. Their values vary from 25 to 100 nodes and 5 to 10 controllers depending on the topologies, as shown in the figures. The edge nodes within a topology vary between 2 and 4 nodes.

Table 3. Parameters and values used in the simulations

PARAMETER	VALUE
$ S $	25 – 100
$ C $	5 – 10
$T(x)_{proc}^y$	0.1ms – 1ms
$T(x)_{prop}^{y \rightarrow z}$	8ms – 45ms
$T(path_L)_{comp}^y$	1ms – 3ms
$T(path_{E2E_{BC}})_{comp}^y$	6ms – 15ms
$T(path_{E2E})_{comp}^{BR}$	6ms – 15ms
$ B^i $	2– 4
Link Bandwidth	100 Gbps
Request bandwidth	1 Mbps
RAM	12 GB
CPU	Intel(R) Core(TM) i7-5500U CPU @ 2.40GHz 2.40 GHz
OS	Ubuntu 14.04 in Oracle VirtualBox, Windows 11 Pro (Host)
Runs	20
Connectivity Degree	0.5
BC Transaction Size	Original and 500K

The experiments have considered inter-ISP service requests (i.e., the origin and target nodes of a service request are in different domains) with bandwidth resources (1 Mbps). Sufficient bandwidth (100 Gbps) in links is supplied to prevent service denial because of resource shortage to evaluate the real impact of these three options. Also, the Erdos-Renyi model [26] is used to haphazardly create networks with 0.5 connectivity degrees for infrastructure nodes and domain controllers. Additionally, each experiment was performed twenty times to surpass 95% statistical significance using the same and distinct service demands situations in each run. Lastly, all trials were conducted on an Intel Core i7-5500 machine with 12GB RAM running Ubuntu 14.04 in Oracle VirtualBox.

A. PATH SETUP TIME

The *Path Setup Time (PST)* is the time required to deploy the appropriate flow rule records that enable SR by altering the header information in the flow tables of domain entrance nodes along the E2E path. Thus, several stages contribute to the *PST* measure. It is typically characterized by (i) networking/topology-related latency, such as the RTT between the controller and the infrastructure nodes and the time required for controller-to-controller message/packet transmission, and (ii) node/controller-related latency, such as node and/or controller packet/message process time and controller route calculation time. If either of these latencies is excessive, the associated path setup latency increases, resulting in a lengthier flow rule installation, removal, or modification duration in nodes' flow tables. Subsequently, it may lead to congestion at both the control and data layer levels and a lengthy network recovery time. Thus, *PST* is a crucial parameter for evaluating the efficiency of routing architectures in SDN networks, as it contributes to the overall network scalability. Table 2 tabulates the parameters and notations used in *PST* and *CMP* metrics of *SoRBlock* and *HRA* frameworks.

$$\begin{aligned}
PST_{SoRBlock} = & T(S_Req)_{proc}^{f^h \rightarrow} + T(S_Req)_{prop}^{f^h \rightarrow f^s} + T(S_Req)_{proc}^{f^s} + T(S_Req)_{prop}^{f^s \rightarrow f^c} \\
& + T(S_Req)_{proc}^{f^c} + T(path_{E2EBC})_{comp}^{f^c} \\
& + \max_{\forall f^c \in f^c} \left\{ T(P_Req)_{prop}^{f^c \rightarrow f^c} + T(P_Req)_{proc}^{f^c} + T(P_Res)_{proc}^{f^c} \right. \\
& \left. + T(P_Res)_{prop}^{f^c \rightarrow f^c} + \max_{\forall f^s j \in f^s} \left\{ T(\theta)_{prop}^{f^c \rightarrow f^s j} \right\} + T(P_Res)_{proc}^{f^c} \right\} \\
& + T(S_Res)_{proc}^{f^c} + T(S_Res)_{prop}^{f^c \rightarrow f^s} + T(S_Res)_{proc}^{f^s} + T(S_Res)_{prop}^{f^s \rightarrow f^h} \\
& + T(S_Res)_{proc}^{f^h}
\end{aligned} \tag{1}$$

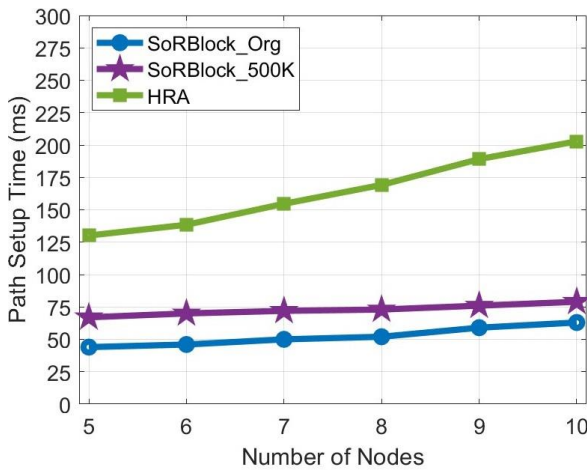
Equation (1) presents the *PST* formula of a flow for a service request in the proposed *SoRBlock* framework. It primarily includes: (i) process and propagation duration of *S_Req* and *S_Res* messages at/among \rightarrow , \rightarrow , \rightarrow (ii) computation duration for \rightarrow to find an available E2E route for the service demand using BC, and (iii) max of processing and propagation duration of *P_Req*, *P_Res*, and *flow_mod* messages at/among the controllers and data plane nodes on the E2E route.

$$\begin{aligned}
PST_{HRA} = & T(fp)_{proc}^{f^h \rightarrow} + T(fp)_{prop}^{f^h \rightarrow f^s} + T(fp)_{proc}^{f^s} + T(\rho)_{proc}^{f^s} + T(\rho)_{prop}^{f^s \rightarrow f^c} + T(\rho)_{proc}^{f^c} \\
& + T(m)_{prop}^{f^c \rightarrow BR} \max \left\{ \left(T(m)_{prop}^{BR \rightarrow f^c} + T(path_L)_{comp}^{f^c} \right. \right. \\
& \left. \left. + T(m)_{prop}^{f^c \rightarrow BR} \right), \left(T(m)_{prop}^{BR \rightarrow f^c} + T(path_L)_{comp}^{f^c} + T(m)_{prop}^{f^c \rightarrow BR} \right) \right\} \\
& + T(path_{E2E})_{comp}^{BR} \\
& + \max_{\forall f^c \in f^c} \left\{ T(m)_{prop}^{BR \rightarrow f^c} + T(path_L)_{comp}^{f^c} + T(m)_{prop}^{f^c \rightarrow BR} \right. \\
& \left. + \max_{\forall f^s j \in f^s} \left\{ T(\theta)_{prop}^{f^c \rightarrow f^s j} \right\} + T(m)_{prop}^{BR} \right\}
\end{aligned} \tag{2}$$

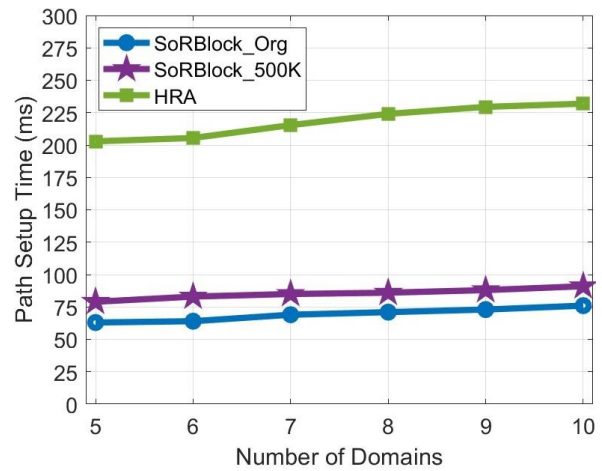
Equation (2) gives the *PST* formula of a flow for a service request in the *HRA* framework. It contains: (i) process and propagation duration for the 1st packet of flow *f* and respective *packet_in* message at/among \rightarrow , \rightarrow , \rightarrow (ii) max of (a) propagation duration of intra-domain route demand messages from *BR* to \rightarrow + intra-domain route calculation duration at \rightarrow and (b) the same operations for \leftarrow , \leftarrow , \leftarrow

(iii) calculation duration to find an available E2E route for the service demand at BR , and (iv) max of processing and propagation duration of route demand messages and $flow_mod$ messages at/among BR , controllers, and data plane nodes on the E2E route.

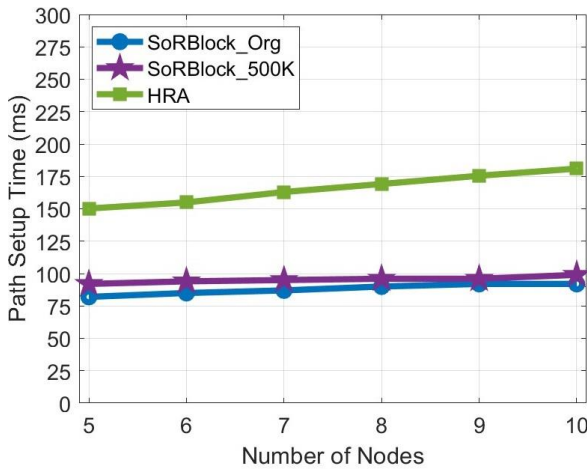
Figure 6a and Figure 6c show the total path setup times in $SoRBlock$ with the original ($SoRBlock_Org$) and 500K ($SoRBlock_500K$) transactions sizes and the HRA scheme while changing the count of infrastructure nodes in domains. Intra-domain nodes are randomly connected, while inter-domain connections mimic NSFNET topology. While the same (i.e., exact origin and target) service requests were used for all runs in Figure 6a, different service requests (i.e., different origin and target) were used in Figure 6c. As shown in Figure 6a, the presented SR architecture surpasses the HRA method regarding the augmentation ratio in total PST , owing to the HRA approach's increased node-controller and controller-controller latencies in both Figure 6a and Figure 6c. That is because the proposed model utilizes available transactions to identify the E2E route with fewer control messages than the HRA method and restricts the deployment of flow rules to the domains' entrance nodes.



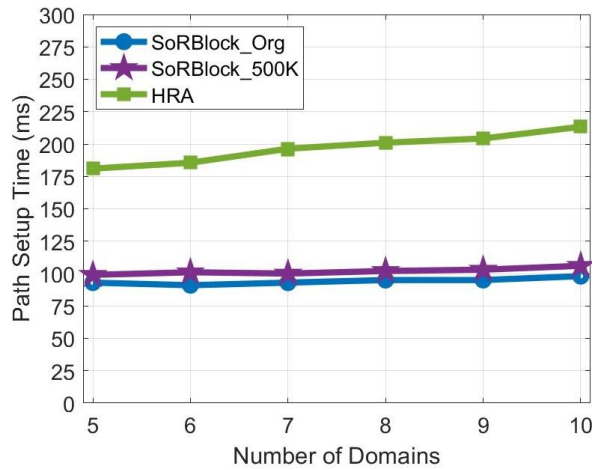
(a) Random connectivity in intra-domains - NSFNET in inter-domains - Same requests.



(b) Random connectivity in inter-domains - USNET in intra-domains - Same requests.



(c) Random connectivity in intra-domains - NSFNET in inter-domains - Different requests.



(d) Random connectivity in inter-domains - USNET in intra-domains - Different requests.

Figure 6. PST performances of the $SoRBlock$ and HRA frameworks.

Additionally, Figure 6b and Figure 6d illustrate the overall path setup duration in the $SoRBlock$ using the original and 500K transaction sizes in the BC and HRA strategies, respectively, while altering the number of domains. Intra-domain nodes are linked in a manner similar to that of the USNET, while inter-domain connections are formed at random. In Figure 6b, the same (i.e., exact origin and target)

service requests for each iteration are used, while in Figure 6d, unique service requests (i.e., distinct origin and target) are employed. The overall path setup time grows as the number of domains in the findings rises for all *SoRBlock_Org* and *SoRBlock_500K* arrangements and *HRA*. This occurs as a consequence of the increased number of domains, which results in a massive load of pathlets and hence transactions arriving from each domain, resulting in increased path computation times and latency. In Figure 6d, SR-based schemes surpass the *HRA* method about twice as much as the *HRA* strategy in *Path Setup Time*, whereas SR-based schemes easily quadruple the *HRA* performance in Figure 6b. On the other hand, Figure 6d further validates the superior performance of the *SoRBlock* scheme while calculating E2E paths from the current transactions. That is because the *SoRBlock*'s routing approach is quicker than the *HRA* scheme.

B. CONTROLLER MESSAGES PROCESSED

As the network increases in size relative to the nodes (e.g., end-points, data plane devices, controllers, etc.), the controllers may need to deal with increased flow demands, and the associated messages exchanged and processed between network nodes and the others in order to establish a QoS-based E2E path across multiple domains. However, due to the restricted computing resources available to the controllers, such as the CPU and RAM, these message exchange and processing tasks might result in the controllers being a bottleneck. The controllers must minimize the number of messages exchanged and processed to establish an E2E route for service request packets. Thus, *Controller Messages Processed (CMP)* is another key indicator for assessing the performance of routing schemes in SDN networks, as it contributes to the overall network's scalability. The *CMP* measure indicates the number of messages processed to establish an E2E route for packets of a service request at/by corresponding decision-maker controllers, i.e., controllers on the E2E route and Broker (if available), in this research.

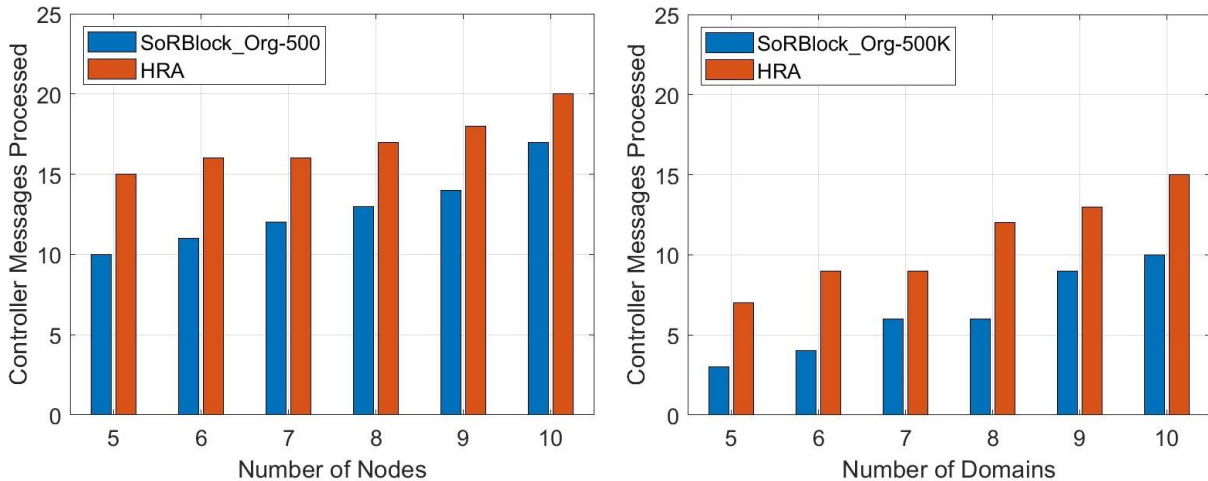
$$CMP_{SoRBlock} = 2x|_fC| + \sum_{\forall_{f^kC} \in _fC} |^k_S| \quad (3)$$

Equation (3) shows the counts of *CMP* to arrange an E2E route for a flow of service demand in the *SoRBlock* framework. It primarily includes: (i) an *S_Req* message from \rightarrow_{f^h} to \rightarrow_{f^c} , (ii) *P_Req* messages from \rightarrow_{f^c} to the other controllers on the E2E route computed for the service demand, (iii) *P_Res* messages from the controllers on the E2E route computed for the service demand to the \rightarrow_{f^c} in return for the *P_Req* messages, (iv) an *S_Res* message from \rightarrow_{f^c} to \rightarrow_{f^h} , and (v) *flow_mod* messages from the controllers to the data plane nodes in their domains on the E2E route.

$$CMP_{HRA} = 4 + |B^{f\vec{N}}| + |B^{f\overleftarrow{N}}| + 2x|_fC| + \sum_{\forall_{f^kC} \in _fC} |^k_S| \quad (4)$$

Likewise, Equation (4) presents the number of *CMP* to install an E2E route for a flow of service demand in the *HRA* framework. It basically contains: (i) a *packet_in* message from \rightarrow_{f^s} to \rightarrow_{f^c} , (ii) an E2E route demand message from \rightarrow_{f^c} to the *BR*, (iii) two computing demand messages from *BR* to the \rightarrow_{f^c} and destination-controller (for intra-domain route announcements among every edge device and source/destination node pairs), (iv) messages including pathlet announcements for every edge device and source/destination node pairs from \rightarrow_{f^c} and \leftarrow_{f^c} to *BR*, (v) messages (including corresponding edge device pairs in every domain) from the *BR* to the controllers on the E2E route, (vi) approval messages (for the demanded pathlets in every domain) from the controllers on the E2E route to *BR*, and (vii) *flow_mod* messages from the controllers on the E2E route to the data plane nodes in their domains on the E2E route.

Figure 7 shows the controller messages processed in the proposed framework with the original (*SoRBlock_Org*) and 500K (*SoRBlock_500K*) transaction sizes and *HRA* scheme while changing the count of infrastructure nodes in each domain. Intra-domain nodes are randomly connected, while inter-domain connections mimic NSFNET topology in Figure 7a. Intra-domain nodes mimic USNET topology, while inter-domain connections are randomly connected under different service requests (i.e., distinct origin and targets) in Figure 7b.



(a) Random connectivity in intra-domains - NSFNET in inter-domains. (b) Random connectivity in inter-domains - USNET in intra-domains.

Figure 7. CMP in the *SoRBlock* and *HRA* frameworks.

Figure 7a and Figure 7b present that the proposed SR-based framework has an improved performance than the *HRA* scheme regarding various numbers of domains and nodes. Particularly, the *HRA* deals with nearly 50% more controller messages than the proposed framework when the number of domains varies in Figure 7b. This is because of the count of border nodes in domains. Interestingly, the number of controller messages processed in the *SoRBlock* scheme approaches that in the *HRA* framework with respect to ratio. At the same time, the count of nodes rises in domains, as illustrated in Figure 7a, because more nodes are utilized on the E2E path. Furthermore, the number of controller messages is higher in Figure 7a due to the random service request model used and the growing count of nodes on the E2E paths as the intra-domain node number increases.

VII. CONCLUSION

This study has presented an E2E traffic management framework (*SoRBlock*) in SDNs, where inter-domain level routing exploits BC technology and intra-domain level routing leverages the SR approach. The experimental results have illustrated that the proposed *SoRBlock* architecture outperforms the traditional hierarchical routing scheme (*HRA*) by reducing path setup time and controller messages processed in SDN networks. The simulation findings demonstrate that by reducing path setup time (PST) and the quantity of controller messages, the proposed SR-based *SoRBlock* architecture outperforms the conventional hierarchical routing strategy, *HRA*, in SDN networks. The proposed *SoRBlock* architecture presents ([45ms - 65ms]) almost three times less total PST than the *HRA* method ([130ms - 200ms]), even though the same (i.e., exact origin and target) service requests were used for all runs. This is because the *HRA* approach has higher node-controller and controller-controller latencies. On the other hand, when different service requests (i.e., different origin and target) were employed, *SoRBlock* displayed PST that was two times lower ([75ms - 90ms]) than *HRA* ([150ms - 175ms]). When the number of domains changes, the *HRA* processes approximately 50% more controller messages than the *SoRBlock* ([3 - 10]), although the ratio of CMP

in the *SoRBlock* scheme ([10 - 17]) approaches that in the *HRA* framework ([15 - 20]) as the number of nodes increases in domains.

This study is in its infancy stage and needs improvements and research from various aspects because it demonstrates a new potential application for BC and a new research avenue. In future work, it is planned to work on the scalability and security performances of *SoRBlock* by analyzing and evaluating metrics such as transaction/block throughput and delay as well as possible attacks in the BC in addition to improving *PST* and *CMP* metrics performances.

ACKNOWLEDGMENT: This work is supported by the Scientific & Technological Research Council of Türkiye (TUBITAK) under Grant No. 120E448.

VIII. REFERENCES

- [1] D. Kreutz, F. M. V. Ramos, P. Esteves Verissimo, C. Esteve Rothenberg, S. Azodolmolky, and S. Uhlig, “Software-Defined Networking: A Comprehensive Survey,” *Proceedings of the IEEE*, vol. 103, no. 1, pp. 14–76, Jan. 2015.
- [2] M. Karakus and A. Durrezi, “Quality of Service (QoS) in Software Defined Networking (SDN): A survey,” *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 80, pp. 200–218, 2017.
- [3] A. Ghiasian, “Impact of TCAM Size on Power Efficiency in a Network of OpenFlow Switches,” *IET Networks*, vol. 9, no. 6, pp. 367–371, Nov. 2020.
- [4] M. Karakus and A. Durrezi, “A Survey: Control Plane Scalability Issues and Approaches in Software-Defined Networking (SDN),” *Computer Networks*, vol. 112, pp. 279–293, 2017.
- [5] P. L. Ventre *et al.*, “Segment Routing: A Comprehensive Survey of Research Activities, Standardization Efforts, and Implementation Results,” *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 23, no. 1, pp. 182–221, 2021.
- [6] A. Abujoda, H. R. Kouchaksaraei, and P. Papadimitriou, “SDN-based Source Routing for Scalable Service Chaining in Datacenters,” in *Wired/Wireless Internet Communications: 14th IFIP WG 6.2 International Conference (WWIC 2016)*, Thessaloniki, Greece, 2016, pp. 66–77.
- [7] A. Hari, T. V Lakshman, and G. Wilfong, “Path Switching: Reduced-State Flow Handling in SDN using Path Information,” in *Proceedings of the 11th ACM Conference on Emerging Networking Experiments and Technologies*, Heidelberg, Germany, 2015, pp. 1–7.
- [8] M. Karakus and E. Guler, “RoutingChain: A Proof-of-Concept Model for a Blockchain-Enabled QoS-Based Inter-AS Routing in SDN,” in *2020 IEEE International Black Sea Conference on Communications and Networking (BlackSeaCom)*, Odessa, Ukraine, 2020, pp. 1-6.
- [9] M. Karakus and A. Durrezi, “A Scalable Inter-AS QoS Routing Architecture in Software Defined Network (SDN),” in *Proceedings - International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA 2015)*, Gwangju, Korea (South), 2015, pp. 148–154.
- [10] M. Soliman, B. Nandy, I. Lambadaris, and P. Ashwood-Smith, “Exploring Source Routed Forwarding in SDN-based WANs,” in *2014 IEEE International Conference on Communications (ICC)*, Sydney, Australia, 2014, pp. 3070–3075.

- [11] Y. Zhang *et al.*, “StEERING: A Software-Defined Networking for Inline Service Chaining,” in *2013 21st IEEE International Conference on Network Protocols (ICNP)*, Goettingen, Germany, 2013, pp. 1–10.
- [12] R. M. Ramos, M. Martinello, and C. Esteve Rothenberg, “SlickFlow: Resilient Source Routing in Data Center Networks Unlocked by OpenFlow,” in *38th Annual IEEE Conference on Local Computer Networks*, Sydney, NSW, Australia, 2013, pp. 606–613.
- [13] C. Guo *et al.*, “Secondnet: A Data Center Network Virtualization Architecture with Bandwidth Guarantees,” in *Proceedings of the 6th International Conference*, Philadelphia, Pennsylvania, USA, 2010, pp. 1–12.
- [14] S. A. Jyothi, M. Dong, and P. B. Godfrey, “Towards a Flexible Data Center Fabric with Source Routing,” in *Proceedings of the 1st ACM SIGCOMM Symposium on Software Defined Networking Research (SOSR ’15)*. Santa Clara, CA, USA, 2015, pp. 1-8.
- [15] K. Papadopoulos and P. Papadimitriou, “Leveraging on Source Routing for Scalability and Robustness in Datacenters,” in *2019 IEEE 2nd 5G World Forum (5GWF)*, Dresden, Germany, 2019, pp. 148–153.
- [16] *The Dynamic Source Routing Protocol (DSR) for Mobile Ad Hoc Networks for IPv4*, IETF RFC 4728, 2007.
- [17] *Segment Routing with IS-IS Routing Protocol*, Draft-previdi-filsfils-isis-segment-routing-02, IETF (Work in Progress), 2013.
- [18] R. S. Guimarães *et al.*, “M-PolKA: Multipath Polynomial Key-Based Source Routing for Reliable Communications,” *IEEE Transactions on Network and Service Management*, vol. 19, no. 3, pp. 2639–2651, 2022.
- [19] T. Sugiura, K. Takahashi, K. Ichikawa, and H. Iida, “Acar: An Application-Aware Network Routing System using SRv6,” in *2022 IEEE 19th Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC)*, Las Vegas, NV, USA, 2022, pp. 751–752.
- [20] S. Komajwar and T. Korkmaz, “SPRM: Source Path Routing Model and Link Failure Handling in Software-Defined Networks,” *IEEE Transactions on Network and Service Management*, vol. 18, no. 3, pp. 2873–2887, 2021.
- [21] G. N. Kumar, K. Katsalis, P. Papadimitriou, P. Pop, and G. Carle, “Failure Handling for Time-Sensitive Networks using SDN and Source Routing,” in *2021 IEEE 7th International Conference on Network Softwarization (NetSoft)*, Tokyo, Japan, 2021, pp. 226–234.
- [22] J. Xia, P. Cui, Z. Li, and J. Lan, “SRCV: A Source Routing based Consistency Verification Mechanism in SDN,” in *2021 3rd International Conference on Advances in Computer Technology, Information Science and Communication (CTISC)*, Shanghai, China, 2021, pp. 77–81.
- [23] Q. Dong, J. Li, Y. Ma, and S. Han, “A Path Allocation Method Based on Source Routing in SDN Traffic Engineering,” in *2019 IEEE International Conference on Smart Cloud (SmartCloud)*, Tokyo, Japan, 2019, pp. 163–168.
- [24] P. Lin *et al.*, “A West-East Bridge based SDN Inter-Domain Testbed,” *Communications Magazine, IEEE*, vol. 53, no. 2, pp. 190–197, Feb. 2015.

- [25] N. McKeown *et al.*, “OpenFlow: Enabling Innovation in Campus Networks,” *SIGCOMM Comput. Commun. Rev.*, vol. 38, no. 2, pp. 69–74, Mar. 2008.
- [26] A. Erdős P. and Rényi, “On the Strength of Connectedness of a Random Graph,” *Acta Mathematica Academiae Scientiarum Hungarica*, vol. 12, no. 1, pp. 261–267, 1964.



Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

Removal of Reactive Red 141 and Disperse Red 13 Dyes from Aqueous Solutions Using Different Coagulants: An Optimization and Comparison Study

 Ahmed Albahnasawi ^{a,*}

^a Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Islamic University, Gaza, PALESTINE

* Corresponding author's e-mail address: ahmedalbahnasawi@gmail.com

DOI: 10.29130/dubited.1183818

ABSTRACT

This study investigated the performance of different coagulants for the removal of different dye types from synthetic dye solutions. The ability to use each of the following: aluminium sulphate ($Al_2(SO_4)_3$), aluminium chloride ($AlCl_3$), and ferric chloride ($FeCl_3$) as chemical coagulants were examined for removing reactive red 141 (RR 141) dye and disperse red 13 (DR 13) from dye solution. Coagulation studies determined the optimum pH, mixing time, coagulant dosages, and initial dye concentrations. The maximum efficiency for removing RR 141 was 65.7% by aluminium chloride at the operation condition of pH 8, mixing time 10 min, and dye concentration of 100 mg/L. In contrast, under the same conditions, ferric chloride could remove more than 98% of DR 13. Since the disperse dye type has better colour removal, the maximum volume of sludge was 0.3 kg/m³ which was produced when $FeCl_3$ was used as a coagulant. The results demonstrated that coagulation is a promising technology for dye removal, especially for dispersed dyes as it has some characteristics such as colloidal dispersion and very low water solubility.

Keywords: Textile wastewater, Chemical coagulation, Reactive dye, Disperse dye.

Farklı Koagülanlar Kullanılarak Sulu Çözeltilerden Reaktif Kırmızı 141 ve Dispers Red 13 Boyalarının Giderimi: Bir Optimizasyon ve Karşılaştırma Çalışması

ÖZ

Bu çalışmada, farklı boya türlerinin sentetik boya çözeltilerinden gideriminde çeşitli koagülanların performansı araştırılmıştır. Boyarmadde olarak Reaktif kırmızı 141 (RR 141) ve dispers kırmızı 13 (DR 13) seçilmiş, koagülan olarak da alüminyum sülfat, alüminyum klorür ve demir klorür kullanılmıştır. Boya gideriminde pH, karıştırma süresi, koagülan dozajı ve başlangıç boya konsantrasyonlarının etkisi incelenmiştir. RR141 boyasının maksimum giderim (%65.7) koşulları pH 8, 10 dakika karıştırma süresi ve 100 mg/l başlangıç boya konsantrasyonu altında alüminyum klorür ile elde edilirken, demir klorür ise aynı deney şartları altında DR 13 boyasını 98% oranında gidermiştir. Dispers boya tipinde daha iyi renk giderimi elde edildiğinden, olduğundan, demir klorür kullanıldığında açığa çıkan çamur miktarı da fazla olmuştur (~0.3 kg/m³). Elde edilen sonuçlar, koagülasyonun, kolloidal dispersiyon ve çok düşük suda

çözünürlük gibi bazı özelliklere sahip olması nedeniyle, özellikle dispers boyalar için boya giderimi için umut verici bir teknoloji olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Tekstil atıksuları, Kimyasal koagülasyon, Reaktif boya, Dispers boya.

I. INTRODUCTION

Water usage varies according to different sectors of the textile industry, for example, coloring process is the sector that consumes water with more than 100 L/kg of processed fabric. In addition, the composition of the wastewater in connection to seasonality, which can greatly vary from one industry to another [1]. In order to produce textiles, a high concentration of various organic dyes, additives, and salts is needed. This results in wastewater that is typically warm and has high turbidity, chemical oxygen demand, suspended solids, pH ranging from 2 to 12, and suspended solids [2], [3]. The discharge of textile wastewaters alters the dynamics of the aquatic ecosystem, reduces light penetration, and has a detrimental aesthetic impact on water supplies [4], [5]. Dyes and some by-products such as aromatic amines can be mutagenic and carcinogenic [6], [7]. Dye in wastewater is harmful, even in small amounts, as its release into aquatic habitats can have negative aesthetic and health consequences on living things [8].

Numerous methods for treating textile wastewater, including electrochemical [8]–[10], biological [11]–[13], adsorption [14]–[16], coagulation [17], [18], and advanced oxidation processes [19]–[21], have been reported in the literature. Biological remedies take a long time, especially for bacteria to adapt, and need reactors with a high volume. In addition, the organisms are sensitive to pH, temperature, and oxygen, especially in aerobic environments and when exposed to harmful substances. In addition, some colours are also not biodegradable [17]. Moreover, the adsorption process is constrained by the adsorbent's capacity and needs a prefiltration step to remove suspended solids (SSs). Regenerating the adsorbent is also a difficult problem. Although the AOPs can remove the majority of pollutants, their high cost, numerous operating challenges, and complexity as technology may prevent their widespread use [22].

Because of its high efficiency and low cost, small equipment space and less sludge production, the coagulation-flocculation method is frequently employed in the treatment of textile wastewater [23]. The coagulation process involves adding chemicals to wastewater to change the physical properties of the dissolved and suspended solids and stimulate their removal through sedimentation [24]. By adding substances referred to as coagulants, colloidal particles are destabilized throughout the coagulation process. Double-layer compression is first encouraged by an increase in ionic strength, and subsequently, the particle surface is neutralized by the adsorption of counter anions [25]. The direct addition of a coagulant and modification of solution pH are characteristics of the coagulation process. The majority of the colloids have negative charges and are stable in water solutions [26]. To stabilize the water solution, some cations are needed to interact with colloids and neutralize their charges. The more efficient and often utilized coagulants in water purification are hydrolyzing metal salts [27]. The choice of a coagulant is crucial for the removal of contaminants during the coagulation/flocculation process. Coagulants can be divided into a wide variety of inorganic and organic types. Iron and aluminium salts, for example, were frequently used in the treatment of textile effluent as inorganic coagulants [28]. The present study aimed at evaluating and comparing the efficiency of three chemical coagulants (AlCl_3 , FeCl_3 and $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) for different dye solution. A coagulation process was conducted under different experimental conditions to assess the treatability of textile wastewater by the coagulation method. In this study, the influence of pH, coagulant type and concentration, dye concentration and type on the coagulant capacity of removing colour and absorbance has been evaluated.

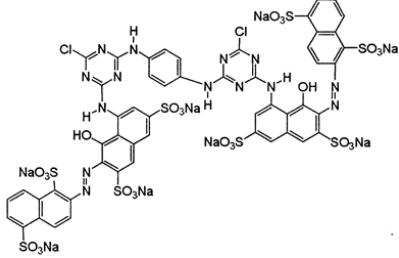
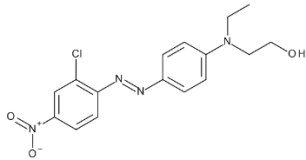
II. MATERIAL AND METHODS

Within the scope of the experimental study, the pre-treatment efficiencies of reactive red 141 (RR141) and disperse red 13 (DR13) dyes, which are used in textile factories, will be investigated with the chemical coagulation process with various configurations. The effect of parameters such as pH, mixing time, and coagulant dosage on chemical coagulation treatment efficiency will be investigated, and the removal efficiency will be monitored at different dye concentrations under optimum conditions. For this purpose, the effect of the chemical coagulation process on the pre-treatment of dyestuffs in textile waters will be figured out by conducting laboratory-scale experiments. In addition, chemical coagulation, and purification comparisons of reactive red and disperse red dye types will be observed. Sludge formation is important for the coagulation process because disposal requires extra costs. Therefore, sludge formation will be measured for each coagulant after the experiments.

A. MATERIALS

All chemicals, including H₂SO₄ (Sigma-Aldrich), NaOH (Sigma-Aldrich), Al₂(SO₄)₃ (Sigma-Aldrich), AlCl₃(Sigma-Aldrich), FeCl₃ (Sigma-Aldrich), Reactive 141 (Dystar), Disperse Red 13 (Dystar) were used as received. Doubly deionized water (Millipore Milli-Q system, resistivity ≥18.2 MΩ cm) was used for the preparation of all solutions. The cholesterics of reactive 141 and disperse are shows in Table 1.

Table 1. Dyes properties.

Dye name	Reactive Red 141	Disperse Red 13
Molecular formula	$C_{52}H_{26}Cl_2N_{14}Na_8O_{26}S_8$	$C_{16}H_{17}ClN_4O_3$
Molecular structure		
CAS	61931-52-0	3180-81-2
Molecular wight (g/mol)	1774.15	348.78
Melting point	121-123 °C	122-129 °C
Wavelength absorbance (λ_{max})	544 nm	524 nm

B. DYE ANALYSIS

The dyes used in this study was RR141 and DR 13. The absorbance was measured with spectrophotometer (UV spectrophotometer light wave, Hach DR5000) at maximum absorption wavelengths, Reactive red 141, λ_{max} = 544 nm, and Disperse red 13, λ_{max} = 524 nm (see Figure 1). The samples were filtered through 0.2 μm membranes while measuring absorbance. The efficiency of dye removal was expressed as the percentage ratio of decolorized dye concentration to that of initial one.

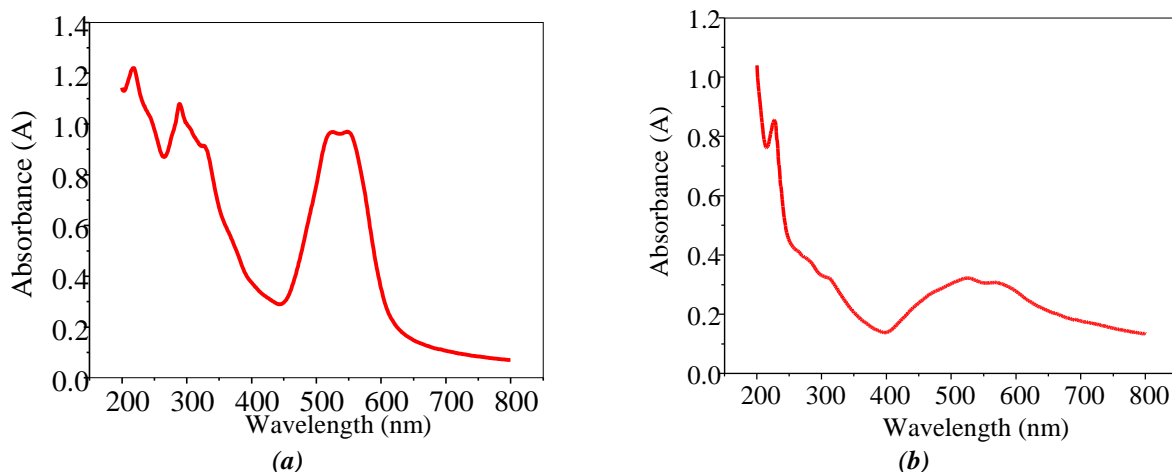


Figure 1. UV–visible spectra and standard curve of the (a) Reactive Red 141 (b) Disperse Red 13.

C. COAGULATION STUDIES

Coagulation studies were performed in a conventional model of jar-test apparatus, equipped with four 100 mL beakers. The calculated quantity of coagulant $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, AlCl_3 , FeCl_3 , were added to the synthetic dye solution, and the pH was adjusted to the required value using H_2SO_4 , and NaOH . The mixture was stirred at the rate and during the time according to experiment. After mixing, the samples filtered to measure the quantity of sludge formed. The investigated parameter was pH, mixing time, coagulant dosage, dye construction and type are described below.

D. pH

pH significantly affects the coagulation process as the charge of coagulant and dissolved ions as well as solubility is high pH dependent. To investigate the pH influence on the treatment of dye solution by coagulants, the pH, in range of 4-8, was used while the other parameters was fixed (RR 141 concentration 100 mg/L, mixing time 10 min, and investigated coagulants dosage ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, AlCl_3 , FeCl_3) 200 mg/L). The pH was adjusted using 0.1 N H_2SO_4 and 1 N NaOH solutions.

E. MIXING TIME

Since the equilibrium between floc formation and breakage is reached at a constant shear applied during a “characteristic time,” the time of mixing affects the destabilization of colloid and the downstream aggregation of particles. To study the influence of mixing time on the removal of dye form dye solution, mixing time of (5, 10, 15, 20, 25) min where selected. The other parameters were fixed as fellow: RR 141 concentration 100 mg/L, coagulant dosage ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, AlCl_3 , FeCl_3) of 200 mg/L, the optimum pH was set because of optimum value reached in the previous section ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3=8$, $\text{AlCl}_3=8$. $\text{FeCl}_3=5$).

F. COAGULANT DOSAGE

The optimum coagulant dose for treating wastewater by coagulation is often chosen based on how well different coagulant dosages work at optimum pH level [29]. As a result, the coagulation processes at different coagulants doses were also examined at optimum pH. Coagulants dosages of (200, 400, 600, 800, 1000) mg/L at optimum pH of ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3=8$, $\text{AlCl}_3=8$. $\text{FeCl}_3=5$), and mixing time of ($\text{AlCl}_3=10$ min, $\text{FeCl}_3=10$ min was determined as $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3=20$ min) were investigated. The dye concentration (RR141 was fixed at 100 mg/L).

G. INITIAL DYE CONCENTRATION

The effect of initial dye concentration was investigated under optimum pH, mixing time and coagulant dosage. RR 14 concentration of (100, 200, 300, 400, 500) mg/L at optimal pH conditions ($\text{AlCl}_3=8$, $\text{FeCl}_3=5$, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3=8$), mixing time conditions ($\text{AlCl}_3=10\text{min}$, $\text{FeCl}_3=10\text{ min}$, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3=20\text{ min}$), and coagulant dosage conditions (200 mg/L) were studied.

H. DYE TYPE

The effect of dye type (Reactive and Disperse) was investigated at the same optimum conditions (pH, mixing time, coagulant dosage, and type) determined in above procedure. The investigated parameters are shows in Table 2.

Table 2. Investigated parameter under optimum conditions for RR141 and DR13.

	Coagulant		
	AlCl_3	FeCl_3	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$
pH	8	5	8
Time (min)	10	10	20
Coagulant Dosage (mg/L)	200	200	200
Dye dosage (mg/L)	100	100	100

I. DYE REMOVAL

Initially, the original dye solution was prepared with a concentration of 1000 mg/L of Reactive Blue 19 dye, and standard solutions were made from this solution, at concentrations of 0, 10, 25, 50 and 100 mg/L. Using a spectrophotometer, the calibration curve was prepared at $\lambda_{\text{max}} = 544\text{ nm}$ for RR141, $\lambda_{\text{max}} = 524\text{ nm}$ for DR13. Using the equation obtained from the calibration curve (Figure 2), the unknown dye concentration was determined where the dye removal efficiency was found using eq. (1).

$$\text{Dye removal} = \frac{C_0 - C}{C_0} * 100 \quad (1)$$

Where C_0 and C are the initial dye concentration and dye concentration of dye after treatment.

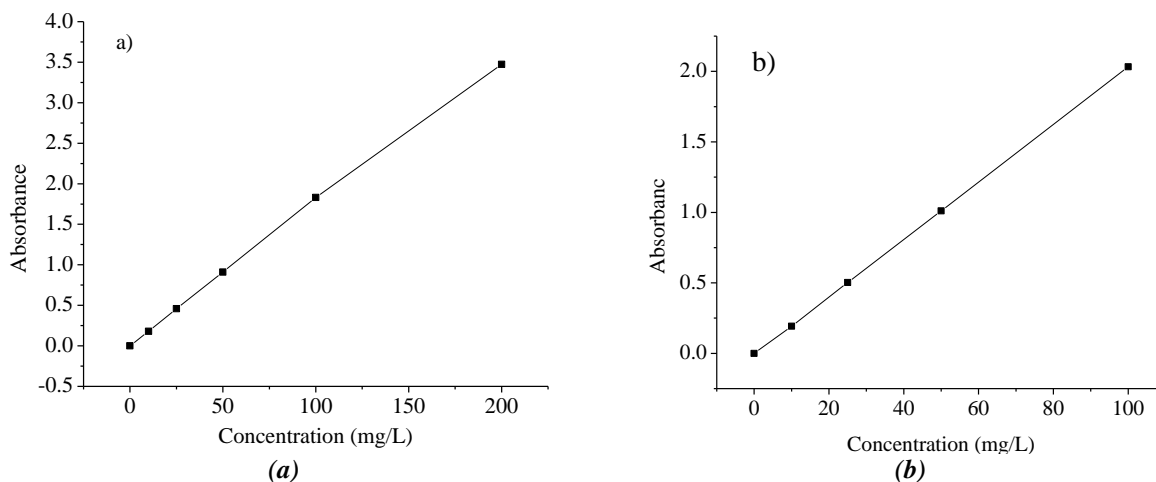


Figure 2. Calibration curve for (a) RR141, (b) DR 13.

III.RESULTS AND DISCUSSION

A. EFFECT OF THE INITIAL PH ON THE PERFORMANCE OF THE COAGULANTS

To study the effect of initial pH on the treatment of synthetic dye solution, five initial pH were tested (4,5,6,7,8) the other parameters were kept fixed as follow: RR 141 concentration was 100 mg/L and the mixing speed and time were 60 rpm and 10 min, and coagulant ($Al_2(SO_4)_3$, $AlCl_3$, $FeCl_3$) dosage was 200 mg/L. Figure 3 present the effect of pH on dye RR141 removal using three different coagulants ($Al_2(SO_4)_3$, $AlCl_3$, $FeCl_3$). According to Figure 3, the best dye RR141 removal efficiency for the investigated coagulants $Al_2(SO_4)_3$, $AlCl_3$, and $FeCl_3$ was 51.41%, 65.68%, and 65.75% at pH values of 8, 5, and 8, respectively. Similar results was obtained by Hussein & Jasim (2019) where the optimum pH for aluminum salts ($Al_2(SO_4)_3$, $AlCl_3$) where ferric chloride showed high dye removal efficiency at pH 5. As it is clear with ferric chloride that the best value of pH for RR141 was five which might be due to strong precipitation at acidic pH. As the precipitation increased, solution will more clearly give very low value of percentage removal. However, the percentage removal of RR141 with alum was maximum at basic condition. This means that when applying ferric chloride as coagulant favourable pH is acidic [31]. However, for alum the favourable pH is basic [32], [33].

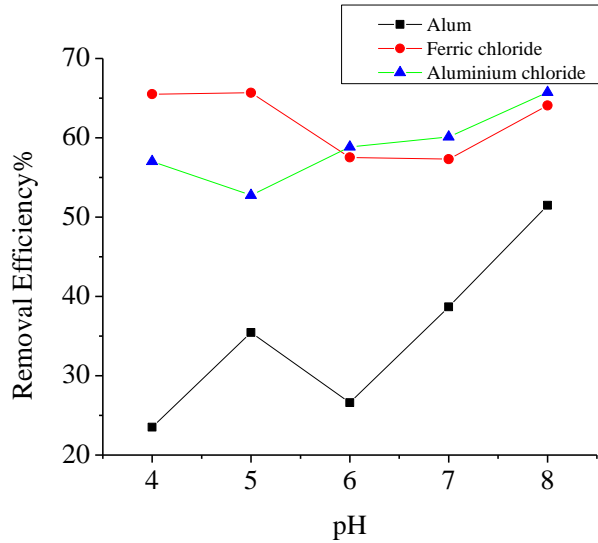


Figure 3. Effect of pH on dye RR141 removal using three coagulants ($Al_2(SO_4)_3$, $AlCl_3$, $FeCl_3$).

B. EFFECT OF MIXING TIME

After obtaining the optimum pH for the investigated coagulants, the optimum time for RR141 removal was evaluated at five different mixing time (5,10,15,20,25) min at pH ($Al_2(SO_4)_3$ = 8, $AlCl_3$ =8, $FeCl_3$ =5), RR 141 concentration 100 mg/L, and coagulant dosage ($Al_2(SO_4)_3$, $AlCl_3$, $FeCl_3$) of 200 mg/L. Figure 4 shows the effect of mixing time on RR141 removal. The results obtained show that the best time for RR141 removal using Alum was 20 min mixing time as the removal efficiency reached 56.89%. Regarding aluminium chloride and ferric chloride, the highest RR141 removal efficiency was obtained at 10 mixing time where the removal efficiency was 65.74% and 65.68%, respectively. The Figures 4 shows similar pattern for all investigated coagulants, the removal efficiency increased gradually until reached the highest dye removal point. Increasing mixing time after these points diversely affect the dye removal. Further mixing time disrupt the produced flocs resulting on destabilization of the colloid and the downstream aggregation of particles [34].

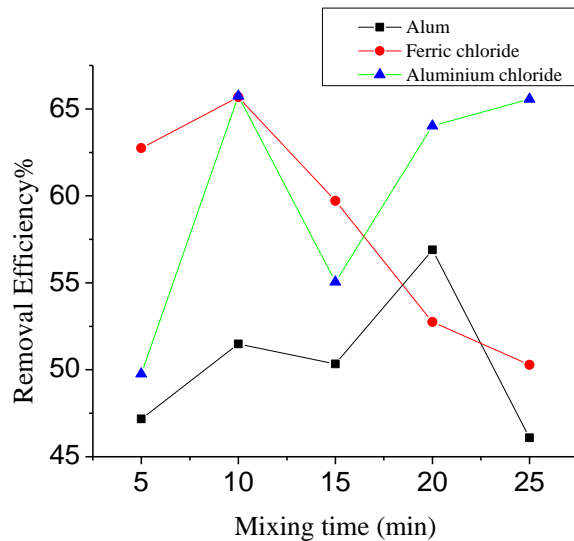


Figure 4. Effect of mixing time on RR141 removal using three coagulants ($Al_2(SO_4)_3$, $AlCl_3$, $FeCl_3$).

C. EFFECT OF THE COAGULANT CONCENTRATION

After determining the optimum pH and mixing time, the optimum coagulant dosage was tested using five dosages concentration (200,400,600,800,1000) mg/L, at optimal pH of ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3=8$, $\text{AlCl}_3=8$, $\text{FeCl}_3=5$), and mixing time of ($\text{AlCl}_3=10$ min, $\text{FeCl}_3=10$ min was determined as $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3=20$ min) were investigated in this section. The dye concentration (RR141) was fixed at 100 mg/L. According to Figure 5, the optimum dosage for all investigated was 200 mg/L which resulted in removal efficiency of 56.89%, 65.68%, and 65.74 for ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, FeCl_3 , and AlCl_3 , respectively. After reaching to optimum coagulant dosage, increasing of coagulants dosage resulted in decreasing in RR141 removal efficiency decreased. This decrease is due to destabilization with the increase of positive ions resulting from excess coagulants[29].

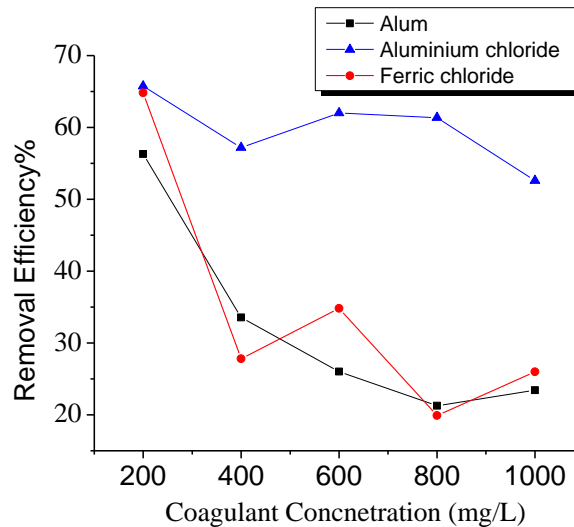


Figure 5. Effect of coagulant concentration on RR141 removal using three coagulants ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, AlCl_3 , FeCl_3).

D. EFFECT OF THE DYE CONCENTRATION

The effect of dye solution on the performance of coagulants for dye removal was tested by different concentrations (100, 200,300,400,500) mg/L at pH conditions of pH ($\text{AlCl}_3=8$, $\text{FeCl}_3=5$, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3=8$), mixing time ($\text{AlCl}_3=10$ min, $\text{FeCl}_3=10$ min, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3=20$ min), and coagulant dosage (200 mg/L). As shows by Figure 6, the removal efficiency of RR141 was decreased as initial dye concentration increased. The dye removal efficiency decreased from 56.89% to 26.31% when RR141 concentration increased from 100 mg/L to 500 mg/L using $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ as coagulant. In terms of FeCl_3 , the removal efficiency dropped by two-fold to reach 27.11% when the RR141 concentration was 500 mg/L. Regarding to AlCl_3 , when RR141 concentration increased five times (100 to 500 mg/L), the removal efficiency dropped by 20% to reach around 40%. Aluminium chloride was found more effective than alum and ferric chloride when the RR141 was increased. The similar trend was observed by [35]. This decrease because of the accumulation of dye on the surface of investigated coagulants resulting in electrostatic repulsion between dye molecule of the same charge.

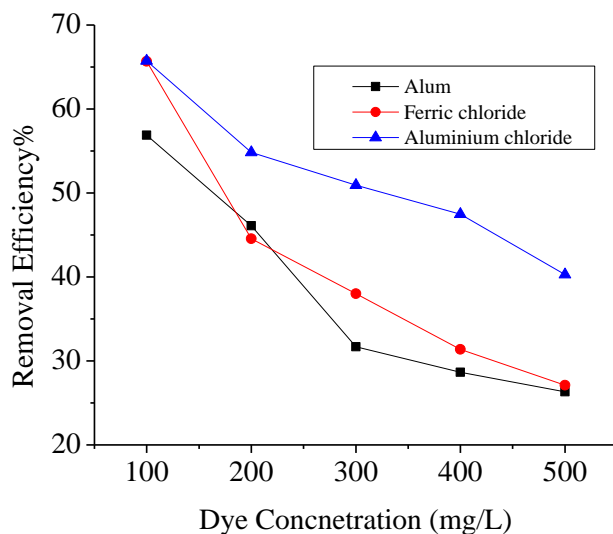


Figure 6. Effect of RR141 concentration on performance of coagulants.

E. EFFECT OF DYE TYPE

To investigate the effect of dye type on the performance of coagulant for dye removal, the same optimum conditions achieved for RR141 in the previous section, was applied for DR 13. Figure 7 presents the comparison between RR141, and DR 13 removal efficiencies using coagulants. The results showed that disperse dyes are highly removed by coagulation process. Ferric chloride could remove more than 98% of DR13 while at same conditions the removal efficiency of RR 131 was 65.68%. As disperse dyes have some characteristics such as colloidal dispersion and very low water solubility, the removal of such dyes by coagulation is easier than reactive dyes which has high water solubility[36].

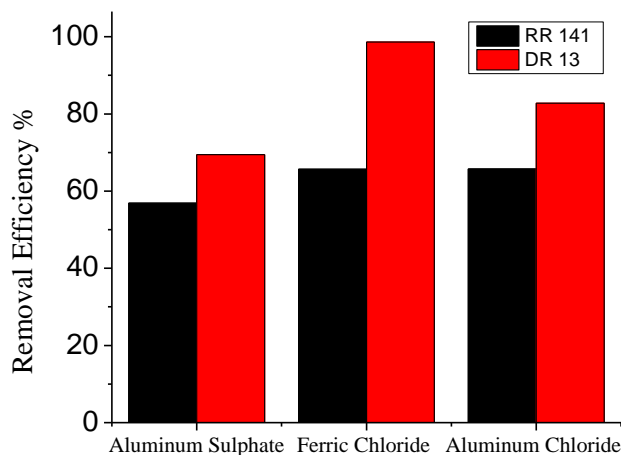


Figure 7. Comparison between RR141 and DR 13 removal by coagulants.

F. SLUDGE PRODUCTION RESULTS

Generally, depending on the dye type and concentration, coagulant concentration, and operating conditions, certain amount of sludge is producing during the coagulation treatment [37], where a direct relation between sludge production and removal efficiency take place. In this study, As the dye was the only pollutant, the amount of produced sludge was equal to the sum of the amount of dye removed from the prepared dye solution and the amount of coagulant thrown into the solution. As shows in Table 3, the maximum volume of produced sludge was calculated as mg produced from treated one liter. Alum produced less sludge than ferric chloride and aluminium chloride. As the the highest removal efficiency of DR13 was obtained using FeCl_3 , the maximum sludge volume was produced (298.64 mg from one treated liter).

Table 3. The Amount of Sludge Formed by investigated coagulants.

	AlCl_3	FeCl_3	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$
RR141 Sludge (mg for treated L)	265.74	265.68	256.89
DR 13 Sludge (kg for treated L)	282.76	298.64	269.43

IV.CONCLUSION

The present study compared the efficiency of $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, AlCl_3 , and FeCl_3 as chemical coagulants in dye removal from different dye solutions. It was verified that pH, mixing time, coagulant dosage, and dye concentration affect the removal efficiency. Each coagulant has different optimum pH as follows; Alum, ferric chloride, and aluminum chloride at 8,5, and 8, respectively, which means that dye removal by coagulants is highly pH dependent. The performance of ferric chloride was higher than other coagulants in terms of RR 141 and DR 13 which reached 65.68% and 98,64%, respectively. Both, an increase in initial dye concentration and a further increase of coagulant dosage (above optimum dosage) resulted in a decrease in removal efficiency. The volume of sludge produced because of the coagulant used follows the sequence as alum less than aluminum chloride and aluminum chloride less than ferric chloride. The results showed that coagulation is a promising technology for dye removal especially for disperse dyes as it has some characteristics such as colloidal dispersion and very low water solubility.

ACKNOWLEDGEMENTS: The author would like to thank Eng. Ahmet Selçuk GÖVER for helping conductt the experiments.

V.REFERENCES

- [1] S. Vajnhandl and J. V. Valh, “The status of water reuse in European textile sector,” *J. Environ. Manage.*, vol. 141, pp. 29–35, Aug. 2014.
- [2] B. Merzouk, B. Gourich, K. Madani, C. Vial, and A. Sekki, “Removal of a disperse red dye from synthetic wastewater by chemical coagulation and continuous electrocoagulation. A comparative study,” *Desalination*, vol. 272, no. 1–3, pp. 246–253, May 2011.
- [3] K. L. Yeap, T. T. Teng, B. T. Poh, N. Morad, and K. E. Lee, “Preparation and characterization of coagulation/flocculation behavior of a novel inorganic–organic hybrid polymer for reactive and disperse dyes removal,” *Chem. Eng. J.*, vol. 243, pp. 305–314, May 2014.

- [4] D. Pathania, A. Sharma, and Z. M. Siddiqi, "Removal of congo red dye from aqueous system using Phoenix dactylifera seeds," *J. Mol. Liq.*, vol. 219, pp. 359–367, Jul. 2016.
- [5] B. Kakoi, J. W. Kaluli, P. Ndiba, and G. Thiong'o, "Optimization of Maerua Decumbent bio-coagulant in paint industry wastewater treatment with response surface methodology," *J. Clean. Prod.*, vol. 164, pp. 1124–1134, Oct. 2017.
- [6] A. Albahnasawi, E. Yüksel, M. Eyvaz, E. Gürbulak, E. Polat, and S. Arslan, "Performances of anoxic-aerobic membrane bioreactors for the treatment of real textile wastewater," *Glob. Nest J.*, vol. 22, no. 1, 2020.
- [7] V. Katheresan, J. Kasedo, and S. Y. Lau, "Efficiency of various recent wastewater dye removal methods: A review," *J. Environ. Chem. Eng.*, vol. 6, no. 4, pp. 4676–4697, 2018.
- [8] X. Florenza, A. M. S. Solano, F. Centellas, C. A. Martínez-Huitile, E. Brillas, and S. Garcia-Segura, "Degradation of the azo dye Acid Red 1 by anodic oxidation and indirect electrochemical processes based on Fenton's reaction chemistry. Relationship between decolorization, mineralization and products," *Electrochim. Acta*, vol. 142, pp. 276–288, Oct. 2014.
- [9] U. Morales, C. J. Escudero, M. J. Rivero, I. Ortiz, J. M. Rocha, and J. M. Peralta-Hernández, "Coupling of the electrochemical oxidation (EO-BDD)/photocatalysis (TiO₂-Fe-N) processes for degradation of acid blue BR dye," *J. Electroanal. Chem.*, vol. 808, no. November 2017, pp. 180–188, 2018.
- [10] M. Santhanam, R. Selvaraj, V. Veerasubbian, and M. Sundaram, "Bacterial degradation of electrochemically oxidized textile effluent: Performance of oxic, anoxic and hybrid oxic-anoxic consortium," *Chem. Eng. J.*, vol. 355, no. August 2018, pp. 186–195, 2019.
- [11] A. Albahnasawi, E. Yüksel, E. Gürbulak, and F. Duyum, "Fate of aromatic amines through decolorization of real textile wastewater under anoxic-aerobic membrane bioreactor," *J. Environ. Chem. Eng.*, vol. 8, no. 5, p. 104226, 2020.
- [12] J. Korenak, J. Ploder, J. Trček, C. Hélix-Nielsen, and I. Petrinic, "Decolourisations and biodegradations of model azo dye solutions using a sequence batch reactor, followed by ultrafiltration," *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, vol. 15, no. 3, pp. 483–492, 2018.
- [13] A. Albahnasawi *et al.*, "Performance of aerobic sequential batch reactor in the treatment of textile wastewaters," *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, pp. 1–10, Feb. 2022.
- [14] S. Khamparia and D. K. Jaspal, "Adsorption in combination with ozonation for the treatment of textile waste water: a critical review," *Front. Environ. Sci. Eng.*, vol. 11, no. 1, pp. 1–18, 2017.
- [15] Z. Maderova, E. Baldikova, K. Pospiskova, I. Safarik, and M. Safarikova, "Removal of dyes by adsorption on magnetically modified activated sludge," *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, vol. 13, no. 7, pp. 1653–1664, 2016.
- [16] M. Choudhary, R. Kumar, and S. Neogi, "Activated biochar derived from *Opuntia ficus-indica* for the efficient adsorption of malachite green dye, Cu⁺² and Ni⁺² from water," *J. Hazard. Mater.*, vol. 392, no. February, p. 122441, 2020.

- [17] J. Dotto, M. R. Fagundes-Klen, M. T. Veit, S. M. Palácio, and R. Bergamasco, "Performance of different coagulants in the coagulation/flocculation process of textile wastewater," *J. Clean. Prod.*, vol. 208, pp. 656–665, 2019.
- [18] X. Huang *et al.*, "Effects of compound bioflocculant on coagulation performance and floc properties for dye removal," *Bioresour. Technol.*, vol. 165, pp. 116–121, Aug. 2014.
- [19] A. M. T. Mata, A. Ligneul, N. D. Lourenço, and H. M. Pinheiro, "Advanced oxidation for aromatic amine mineralization after aerobic granular sludge treatment of an azo dye containing wastewater," *Desalin. Water Treat.*, vol. 91, pp. 168–174, 2017.
- [20] H. Zazou *et al.*, "Treatment of textile industry wastewater by electrocoagulation coupled with electrochemical advanced oxidation process," *J. Water Process Eng.*, vol. 28, no. December 2018, pp. 214–221, 2019.
- [21] S. Ma, K. Kim, S. Chun, S. Y. Moon, and Y. Hong, "Plasma-assisted advanced oxidation process by a multi-hole dielectric barrier discharge in water and its application to wastewater treatment," *Chemosphere*, vol. 243, p. 125377, 2020.
- [22] A. Gasmi *et al.*, "Comparative Study of Chemical Coagulation and Electrocoagulation for the Treatment of Real Textile Wastewater: Optimization and Operating Cost Estimation," *ACS Omega*, 2022.
- [23] X. Huang *et al.*, "Effects of compound bioflocculant on coagulation performance and floc properties for dye removal," *Bioresour. Technol.*, vol. 165, no. C, pp. 116–121, Aug. 2014.
- [24] M. B. Bahrodin, N. S. Zaidi, N. Hussein, M. Sillanpää, D. D. Prasetyo, and A. Syafiuddin, "Recent Advances on Coagulation-Based Treatment of Wastewater: Transition from Chemical to Natural Coagulant," *Curr. Pollut. Reports*, vol. 7, no. 3, pp. 379–391, 2021.
- [25] C. A. Igwegbe and O. D. Onukwuli, "Removal of Total Dissolved Solids (TDS) from Aquaculture Wastewater by Coagulation-flocculation Process using *Sesamum indicum* extract: Effect of Operating Parameters and Coagulation-Flocculation kinetics," *Pharm. Chem. J.*, vol. 6, no. 4, pp. 32–45, 2019.
- [26] M. I. Ejimofor, I. G. Ezemagu, and M. C. Menkiti, "Physiochemical, Instrumental and thermal characterization of the post coagulation sludge from paint industrial wastewater treatment," *South African J. Chem. Eng.*, vol. 37, no. May, pp. 150–160, 2021.
- [27] P. Ghorbannezhad, A. Bay, M. Yolmeh, R. Yadollahi, and J. Y. Moghadam, "Optimization of coagulation–flocculation process for medium density fiberboard (MDF) wastewater through response surface methodology," *Desalin. Water Treat.*, vol. 57, no. 56, pp. 26916–26931, 2016.
- [28] F. R. Furlan, L. G. de Melo da Silva, A. F. Morgado, A. A. U. de Souza, and S. M. A. Guelli Ulson de Souza, "Removal of reactive dyes from aqueous solutions using combined coagulation/flocculation and adsorption on activated carbon," *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 54, no. 5, pp. 283–290, Mar. 2010.
- [29] N. Wei, Z. Zhang, D. Liu, Y. Wu, J. Wang, and Q. Wang, "Coagulation behavior of polyaluminum chloride: Effects of pH and coagulant dosage," *Chinese J. Chem. Eng.*, vol. 23, no. 6, pp. 1041–1046, Jun. 2015.
- [30] T. K. Hussein and N. A. Jasim, "Removal of Reactive Green 12 Dye and COD from Simulated Wastewater Using Different Coagulants," *Assoc. Arab Univ. J. Eng. Sci.*, vol. 26, no. 2, pp. 6–11, 2019.


- [31] M. Irfan, T. Butt, N. Imtiaz, N. Abbas, R. A. Khan, and A. Shafique, "The removal of COD, TSS and colour of black liquor by coagulation–flocculation process at optimized pH, settling and dosing rate," *Arab. J. Chem.*, vol. 10, pp. S2307–S2318, May 2017.
- [32] S. K. A. Solmaz, A. Birgül, G. E. Üstün, and T. Yonar, "Colour and COD removal from textile effluent by coagulation and advanced oxidation processes," *Color. Technol.*, vol. 122, no. 2, pp. 102–109, Apr. 2006.
- [33] S. Ihaddaden, D. Aberkane, A. Boukerroui, and D. Robert, "Removal of methylene blue (basic dye) by coagulation-flocculation with biomaterials (bentonite and *Opuntia ficus indica*)," *J. Water Process Eng.*, vol. 49, p. 102952, Oct. 2022.
- [34] A. Ibrahim and A. Z. Yaser, "Colour removal from biologically treated landfill leachate with tannin-based coagulant," *J. Environ. Chem. Eng.*, vol. 7, no. 6, p. 103483, Dec. 2019.
- [35] M. H. Zonoozi, M. R. Alavi Moghaddam, and M. Arami, "Removal of Acid Red 398 dye from aqueous solutions by coagulation/flocculation process," *Environ. Eng. Manag. J.*, vol. 7, no. 6, pp. 695–699, 2008.
- [36] A. Anouzla, Y. Abrouki, S. Souabi, M. Safi, and H. Rhibal, "Colour and COD removal of disperse dye solution by a novel coagulant: Application of statistical design for the optimization and regression analysis," *J. Hazard. Mater.*, vol. 166, no. 2–3, pp. 1302–1306, Jul. 2009.
- [37] H. Najafi and H. R. Movahed, "Improvement of COD and TOC reactive dyes in textile wastewater by coagulation chemical material," *African J. Biotechnol.*, vol. 8, no. 13, pp. 3053–3059, Oct. 2010.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Enfeksiyöz Bronşite Karşı Sprey Aşılama Saha ve Kuluçkahane Uygulamalarının Karşılaştırılması

 Kayhan ÖZKAN^{a,*}

^a CEVA Hayvan Sağlığı A.Ş., Kanatlı Birimi, İstanbul, TÜRKİYE

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

DOI: 10.29130/dubited.1167064

Öz

Bu çalışmada ticari broyler hayvanlara enfeksiyöz bronşit aşısının sprey yöntem ile kuluçkahane ve sahadaki uygulamasının ardından elde edilen aşı alım verileri kıyaslanmıştır. Her iki uygulama sprey metot kullanılarak yapılmıştır. Çalışmada 10.200 ve 10.400 adet giriş kapasitesine sahip 2 adet broyler sürüsünün birine kuluçkahane, 1 günlük yaşında, diğerine ise 12 günlük yaşta sprey enfeksiyöz bronşit (IB) aşısı uygulanmıştır. Aşılama takip eden 4. gün içerisinde her iki uygulamanın yapıldığı sürülerden trake sürüntüleri alınarak RT-PCR analizi yapılmıştır. Kuluçkahane sprey uygulaması ardından çiftliğe gönderilen civcivlerden 5.gün ve saha sprey aşısı uygulaması yapılan sürüden ise 17. gün trakeal sürüntü örnekleri alınmıştır. Sürüntü örneklerinden RT-PCR analizi yapılmıştır. Her iki grubun aşı virüsü varlığı one sample t testi ile kıyaslanmıştır. Elde edilen bulgulara göre kuluçkahane 1. gün uygulanan sprey uygulaması sonrasında elde edilen aşı alım değerleri, geleneksel saha aşılmasına göre istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p<0.05$). Saha aşısı uygulamaları birçok değişkeni içinde barındırmaktadır ve hayvanların aşı alım değerlerini optimum düzeyde tutmak sınırlı başarıya sahiptir. Bu çalışmada kuluçkahane üniform yapıda konumlandırılmış hayvanların uygun doz ve teknik ile aşılama neticesinde saha aşısı uygulamalarına göre daha yüksek aşı alım oranlarına sahip olduğu saptandı.

Anahtar kelimeler: Sprey aşısı, Kuluçkahane aşılama, Enfeksiyöz bronşit, Broiler aşılama yöntemi

Comparison of Field and Hatchery Practices in Spray Vaccination Against Infectious Bronchitis

ABSTRACT

In this study, vaccine intake data obtained after the administration of infectious bronchitis vaccine to commercial broiler animals by spray method in hatchery and in the field were compared. Both applications were made using the spray method. In the study, spray infectious bronchitis (IB) vaccine was administered to one of the 2 broiler flocks with an entry capacity of 10,200 and 10,400 at the age of 1 day, and the other at the age of 12 days. Tracheal swabs were taken from the flocks in which both treatments were applied, and RT-PCR analysis was performed on the 4th day following vaccination. Tracheal swab samples were taken on the 5th day from the chicks sent to the farm after the incubation spray application and on the 17th day from the field sprayed herd. RT-PCR analysis was performed from swab samples. The presence of vaccine virus of both groups was compared with one sample t test. According to the findings obtained, the vaccine uptake values obtained after the spray application applied on the 1st day of incubation were statistically significant compared to the traditional field vaccination ($p<0.05$). Keeping the vaccine intake values of animals at an optimum level has limited success, as vaccine applications in the field contain many variables. In this study, it was determined that animals positioned in a uniform structure in the

hatchery were vaccinated with the appropriate dose and technique, and had higher vaccine take rates compared to field vaccinations.

Keywords: Spray vaccine, Broiler vaccination, Infectious bronchitis, Broiler vaccination method

I. GİRİŞ

Kanatlı koronavirüsü, kuşları enfekte eden gama korona virüs cinsinden bir virüs türüdür; 2018'den beri kuşları enfekte eden tüm bu gama koronavirüsler tek tür olarak sınıflandırılmıştır [1]. Daha önce bulaşıcı bronşit virüsü (IBV) olarak bilinen kanatlı korona virüs türü, tavukları enfekte eden tek korona virüstür [2],[3]. Solunum yollarını, bağırsakları, böbrekleri ve üreme sistemini etkileyen oldukça bulaşıcı bir hastalık olan kanatlı enfeksiyöz bronşitine neden olur [4], [5]. Bulaşıcı bronşit virüsü hem et üreten hem de yumurta üreten tavukların performansını etkiler ve kanatlı endüstrisinde önemli ekonomik kayıplardan sorumludur [6],[7]. Kanatlı korona virüs türü, etlik piliç haricinde hindilerde gastrointestinal hastalığa neden olmaktadır [8],[9].

Ticari broylerlerin enfeksiyöz bronşit hastalığına karşı bağışık durumda kalması için aşılması gerekmektedir [10],[11],[12]. Amerika Birleşik Devletleri'nde 1970 yılında IBV tespitine yönelik serolojik testler kullanıldı. Enfeksiyöz bronşit virüsünün ilk olarak izolasyonu sağlanan serotipi yine bu bölgede yer alan Massachusetts (MASS) suşudur. 2005 yılına gelindiğinde ise 82 farklı IBV varyantının tespiti sağlanmıştır. Türkiye'de tespit edilen serotiplendirme çalışmalarında ise varyant suşları gözlenmiştir. Enfeksiyöz bronşite karşı kanatlıların aşılmasını yetiştirilme tipine bağlı olarak farklılık göstermektedir. Broylerler kısa yaşam süreleri göz önünde bulundurulduğunda kuluçkada 1 veya 3 serotipten oluşan aşilar ile aşilılarak erken bağışıklığın tetiklenmesi amaçlanmaktadır. 45 günlük ve daha üzerindeki yaşlarda bakımı planlanan hayvanların ise sahada 10-15. günler arasında tekrar aşilılarak antikor yanıtının artırılması hedeflenmektedir. Enfeksiyona karşı aşılama başarısında en etkili kontrol ise hastalığa yol açan etkeni tiplendirme ile mümkündür. Ancak aşilar birkaç türde suş içermesine rağmen sahada onlarca varyant suş mevcuttur. Bundan dolayı birden farklı serotip içeren aşilar kullanılarak korumanın kapsayıcılığı artırılmaktadır. Aşılama sonrasında ise korumanın derecesinin belirlenmesinde virüs izolasyonu ve siliostaz testi gibi değerlendirmeler yapılarak bağışıklama stratejileri değerlendirilmektedir. Korumanın mikroskopik kanıtlarına dayanarak yapılan incelemelere ilave olarak elde edilen bu bulgular aşiların üretim safhalarını da farklılaştırabilir. Bu gözlemler spesifik patojenden yoksun (SPF) hayvanlarda yapıldığında saha koşullarında üretilen hayvanlardan farklı antikor yanıtı oluşabilir. Yumurtacı sürülerde ise yumurtlamaya geçtikten sonraki süreçlerde inaktif aşilar ile bağışıklık yanıtı oluşturulmaktadır. Aşılama programına ilave olarak biyogüvenlik ve hijyen standartlarının yükseltilmesi hastalık ile mücadele önemlidir. Enfeksiyöz bronşit virüsü sıklıkla gen yapısındaki mutasyonlardan dolayı suş çeşitliliği oluşturmaktadır [13]. Virüsün S1 gen dizi yapısı incelenerek oluşturulan filogenetik ağaç ile IBV genotipi tanımlanmıştır. Ayrıca kanatlı korona virüs 36 soydan oluşmaktadır [14], [15]. Dünya genelinde ticari kümes hayvanlarına uygulanan aşılama stratejileri bu suşların ilgili bölgelerdeki varlığı ile ilişkilidir. Homolog aşılama ile sahadaki olası bir suşa karşı bağışıklık oluşturulurken, heterolog koruma konseptine göre birden fazla suşa karşı koruma elde edilmektedir. Enfeksiyöz bronşit virüsü filogenetik ağacı incelendiğinde varyant ve Mass suşlarının kombine uygulanması sonucunda sahadaki potansiyel viral suşlara karşı koruma yanıtı şekillenmektedir [16], [17], [18].

Sürülere yapılan aşiların koruma düzeyi ilgili aşiların uygulama yolu ve sahada bulunan serotiplerle doğrudan ilişkilidir. Broyler sürüler için günümüzde en hızlı ve etkin aşı uygulama seçeneği kitlesel uygulamalardır [19]. Enfeksiyöz bronşit aşiları için ise sprey olarak uygulanan aşilar mümkün olduğunca hayvanları bir araya toplayarak optimize edilmektedir [20]. Yapılan çalışmalar erken aşılama ile indüklenen humoral bağışıklığın anneden türetilmiş antikorlar ile etkileşime girdiğini göstermektedir [21],[22]. Aşı uygulamaları kuluçkahanede olursa civciv kasasında, sahada ise kümes bölmelerinin henüz açılmadığı 2. haftanın içerisinde hayvanları bir araya yakınlıştırarak gerçekleştirilmektedir. Kanatlı yetiştiriciliğinde spesifik olarak içme suyuyla veya sprey yöntemle uygulanan canlı atenuë

aşıların kullanımı yaygındır [23]. Buna karşın etlik piliçlerin civcivlerine Gumboro veya Newcastle gibi hastalıklar ile mücadele amacıyla kuluçkahanede deri altı uygulaması da yapılmaktadır [24]. Hastalıklara karşı optimum koruma oluşturmak için aşının tüm hayvanlara homojen olarak ulaştırılması önemlidir. Sahada sprey aşı uygulanan sürülerin aşı damlacıklarından kaçması veya altlığa düşen aşı damlacıkları nedeniyle bağışıklık yanıtı gelişmeyebilir [25]. Saha sprey aşısı hazırlanması sırasında canlı virüs aktivitesini durduracağı için klorsuz su kullanılmalıdır [26]. Aşılacak tavukların yaşları idari şartlara göre değişebilir ancak 1.000 doz için en az 250ml su kullanımı önerilmektedir [27]. Aşı süspansiyonu, doğru sayıdaki tavuklara damla boyu 137-153µm olan kalın damlacıklı spreyleme ile 30-40 cm uzaklıktan uygulanmalıdır [28], [29]. Aşı uygulamasının optimum şartlarda uygulandığı durumlarda uygulamadan sonra hayvanların burun ve gaga organlarından giren canlı ateneu virüs trakede replike olmaya başlamaktadır [30]. Aşılardan 3-5 gün sonra trakede bulunan aşı virüsü bağışıklığı indükleyen mekanizmaları harekete geçirerek hücresel bağışıklık oluşmasına katkı sağlamaktadır [31],[32]. Bu aralık günlerinde alınan örnekleme çalışmalarında optimum doğruluk ile virüs tespiti sağlanmaktadır [33],[34]. Çalışmalarda virüsün trakedeki replikasyonu sırasında trakeal sürüntü ile alınan örneklerde aşı virüsünün saptandığı rapor edilmiştir. Zayıflatılmış canlı 793B grubundaki aşıları virülens özellikleri bakımından değerlendirildiğinde filogenetik soy ağacında birbirleri ile benzer uzaklıklardadır [35]. Aşılardan 7 gün ve sonrasındaki yaşlardan sonra alınan trake sürüntülerinde ise vücudun savunma sisteminin aşı virüsünü bertaraf etmesi nedeniyle ilgili organlarda virüse ait genetik materyal görülmemektedir [36], [37]. Bu bakımdan aşıların hedef organ vasıtası ile hayvanlarda oluşturacağı potansiyel bağışıklık yanıtını gözlemleyebilmek için yine aşıların giriş yolu olan trakelerinde moleküler testler ile analizler yapılabilir. Bu çalışmada IB hastalığına karşı bağışıklık yanıtı oluşturmak amacıyla uygulanan aşıların kuluçkahanede ve sahadaki aşılama yöntemlerini kıyaslayarak aşı virüsünün hayvanlardaki varlığı araştırıldı.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

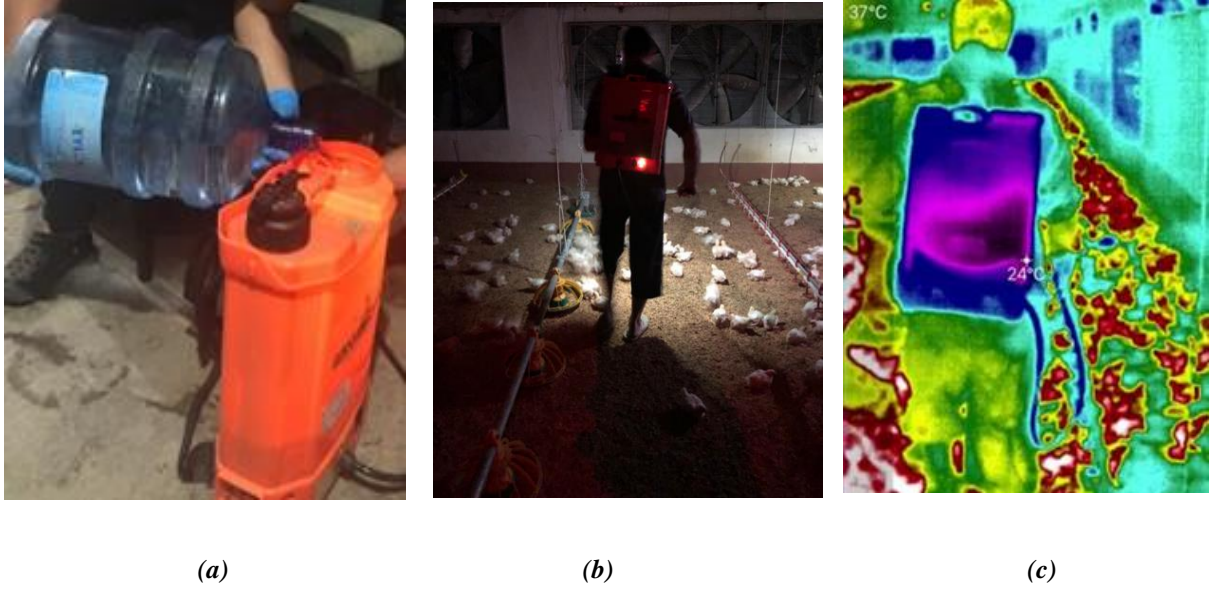
A. HAYVANLAR VE ÖRNEKLEME PROTOKOLÜ

Çalışma, 10.200 adet Ross 208 ırkı ile kuluçkahanede, diğer 10.400 adeti ise sahadada sprey IB aşısı ile aşılanmış civcivden oluşan iki grup üzerinde yürütülmüştür. Civcivler 1. Günlük yaşta kuluçkahanede aşılandıktan sonra broyler çiftliğine 10.200 adet gönderildi ve 5. gün sürü içerisinde rastgele seçimi yapılmış 30 adet hayvandan trake sürüntüsü ile örnekledi. Aynı kuluçkahaneden IB aşısı uygulanmadan gönderilen diğer 10.400 adetlik sürüye ise 12. gün kümete IB aşısı uygulandı. Uygulamadan sonraki 5. gün (17 günlük yaşta) sürü içerisindeki 30 adet hayvandan trake sürüntü örnekleri alındı. Her iki gruba da varyant 793B IBV ve H120 Mass suşu içeren iki canlı zayıflatılmış IBV aşısı uygulandı. Mass ve 793B aşılarının kombinasyonu ikili aşılama protokollerinden biri olduğu için seçilmiştir ve çeşitli varyantlara karşı bağışıklık sağlamaktadır [38], [39], [40].

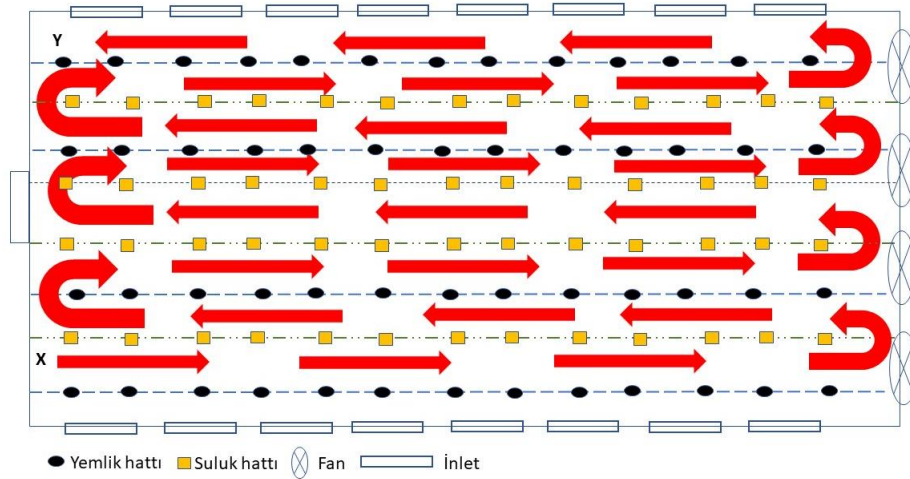
B. AŞILAMA

Kuluçkahanede 10.200 adet hayvan 90 adetlik civciv kasaları içerisinde sprey makinesi içerisinden geçirilerek aşılandı.

10.400 adetlik sürüye aşı uygulamasını sahada pulvizatör ile yapmak amacıyla aşı hazırlandı. 1.000 adet broyler başına 0.5lt spray aşı düşecek şekilde aşı suyu spray makinasına dolduruldu (Şekil 1.A). Aşı uygulaması sırasında hayvanların hareketlerinin kısıtlanması amacıyla ışıklar kapatıldı, spray damlacıklarının düzensiz dağılımını engellemek için fanlar ve soba motorları durduruldu (Şekil 1.B). Termal kamera ile çevre sıcaklığı gözlemlendi (Şekil 1.C). 70 metre uzunluk, 10 metre genişliğindeki kümes Şekil 2’de gösterildiği gibi yürüyüş hattı nizamında X noktasından başlayarak spray otomatik makinesi ile aşı suyunun 30-40 cm yükseklikten püskürtülmesi ile Y noktasına kadar aşılandı.



Şekil 1. (a) Aşının uygulanacağı pulvizatör ile aşı suyunun hazırlığı, (b) Kümes ışıkları ve fan motorlarının kapatılarak aşılanmanın yapılması, (c) Termal kamera ile çevre sıcaklığının takibinin yapılması.



Şekil 2. Spray aşılanma yapılan kümesin uygulama hattı (kırmızı ok yolu yönünde).

Şekil 2.’de kümes sağ iç girişinde aşılanmanın X noktasından başlayarak Y noktasına kadar ilerlemesinin temsili görüntüsü gösterilmiştir. Kümes sağ iç duvarı ve giriş kısmından başlanan aşılanma uygulaması sırasında spray makinesinin nozıl kısmı hayvanların 30-40 cm baş yüksekliğinden püskürtülerek ilerlenmiştir.

C. TRAKE SIVAP ÖRNEKLEME

Her iki grupta yer alan (10.200 ve 10.400 adet kapasiteli sürüler) 30'ar hayvandan mikrobrush sıvap kullanılarak numune alındı. Sıvaplar alındıktan sonra sıvap uçları kesilerek mikrotüplere alınarak kapatıldı ve soğuk zincir altında ekstraksiyona kadar -40°C'de saklandı.

C.1. Gerçek Zamanlı RT-PCR

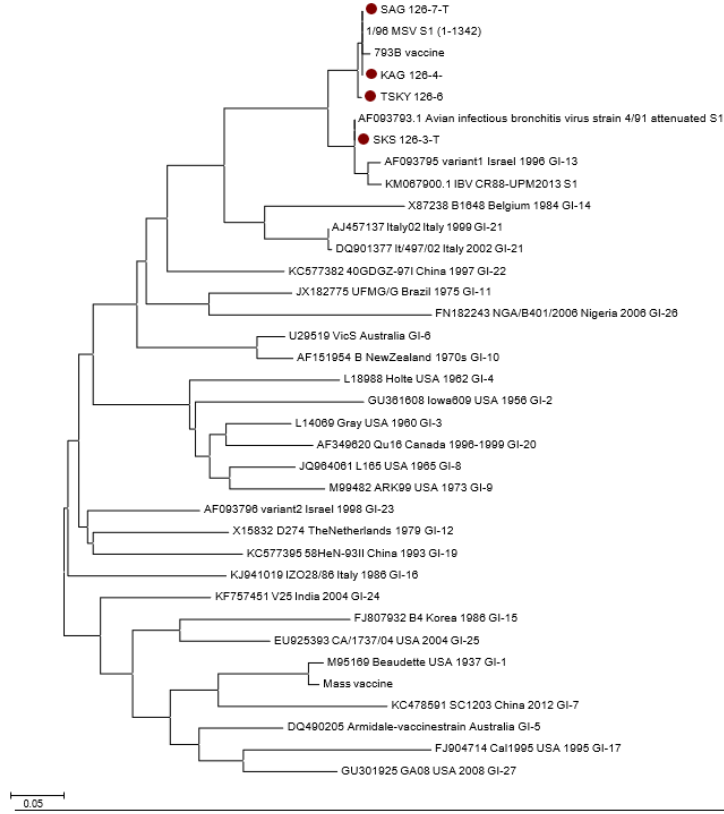
Her bir swab, 1,5 mL PBS içinde ayrı ayrı ayrıştırıldı ve viral RNA, yüksek saf RNA izolasyon kiti ile ekstrakte edildi. Önceden doğrulanmış gerçek zamanlı kantitatif RT-PCR (qRT-PCR) testi [30], 793B benzeri suşlar için titreleri değerlendirmek için kullanıldı. Test için standart eğriler, seri seyreltmelerin test edilmesiyle hazırlandı. Primerler ve proplar, hizalanmış referans dizilerinin değişken bölgeleri üzerinde tasarlanmıştır. İlgili titre aşısı virüsü olarak kayıt edilirken bu titrelerinin doğru bir şekilde ölçülmesine izin vermektedir. Testler Bio-Rad Thermal Cyclers Aleti (Bio Rad ,California, USA) üzerinde Taq DNA Polymerase enzimi barındıran Invitrogen One-Step qRT-PCR Kiti (Waltham, MA, ABD) kullanılarak yapıldı. Pozitif kontroller olarak (1/96 suşu) ve H120 suşu aşısının titre edilmiş dilüsyonları kullanıldı [41].

C.2. İstatistiksel Analiz

KAG ile SAG CT değerlerinin normal dağılımları Skewness ve Kurtosis testleri ile belirlendi. KAG ve SAG'dan alınan trake sürüntü örneklerinde yapılan RT-PCR analiz sonuçlarındaki CT değerleri one samples t-test ile karşılaştırılarak anlamlılık düzeyleri saptandı. $P < 0,05$ değeri istatistiksel olarak anlamlı değerlendirildi. Veriler Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) ver. 22.0 paket program ile analiz edildi (IBMCorp., Chicago, IL, USA).

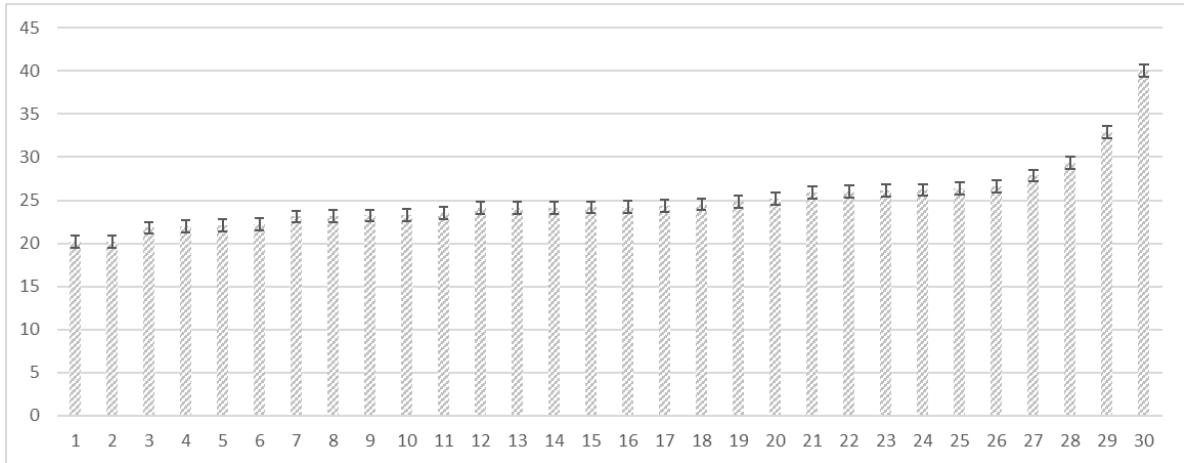
III. BULGULAR

Kuluçkahanede ve sahada aşılanan her iki sürünün hayvanlarından alınan 30'ar örnek RT-PCR analizi sonunda çevirim eşiği (CT) değerleri elde edilmiştir. 30 ve altındaki değerler pozitif, 30 üzerindeki değerler negatif kabul edildi. CT değeri IB virüsünün genetik materyalinin temin edilen numunelerdeki miktarını ifade eden çevirim eşiğidir. Virüs yükü ile CT değeri birbiri ile ters orantılıdır. Kanatlı hayvanların viral hastalıklarında 30 ve üzerindeki CT değerleri marazi maddenin viral yükünün zayıf veya negatif olduğunu ifade etmektedir [42]. Enfeksiyöz bronşit virüsünün S1 geni 705-1097 bp aralığında bulunan sekanslarına ait bulgular SAG ve KAG gruplarında yer alan virüslerin aşuya ait olduklarını göstermektedir (Şekil 3).

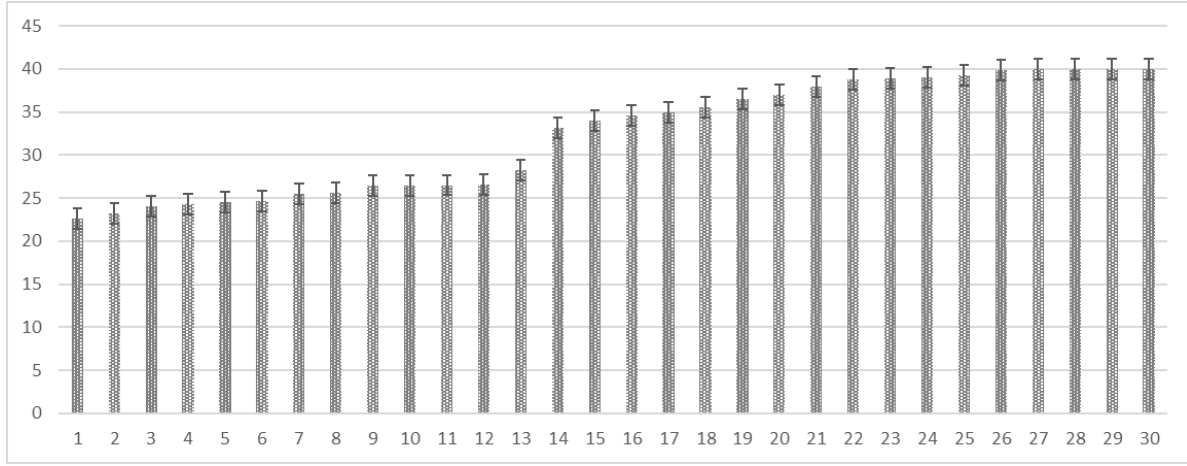


Şekil 3. SAG ve KAG gruplarının yer aldığı IBV S1 geni 705-1097 bp aralığı sekansları.

Şekil 4'de kuluçkadaki aşı uygulama sonrasında sürüden alınan trake sürüntü örneklerindeki virüs yüküne bağlı olarak değişen miktarlardaki CT değerleri gösterilmiştir.

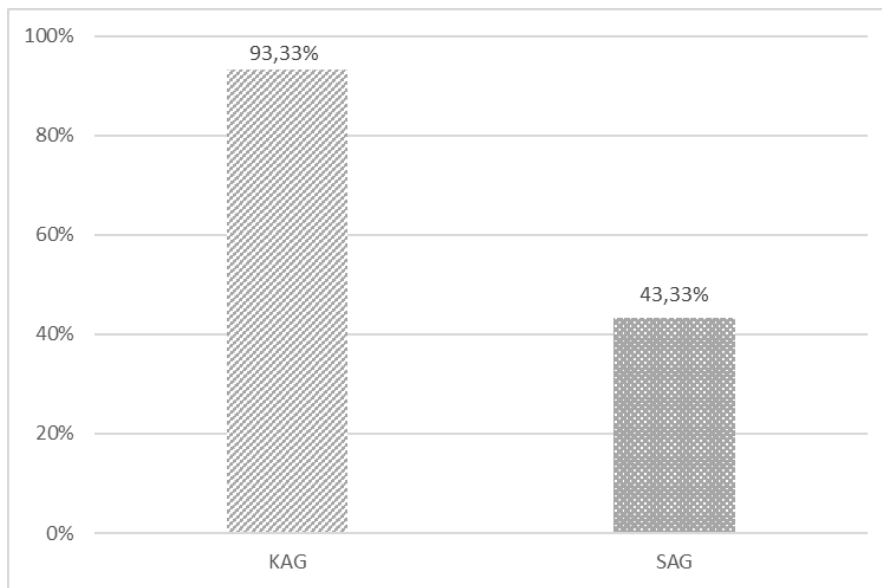


Şekil 4. KAG (30 örnek) grubu trake sürüntüleri bireylerin RT-PCR çevirim eşiği (CT) değerleri.



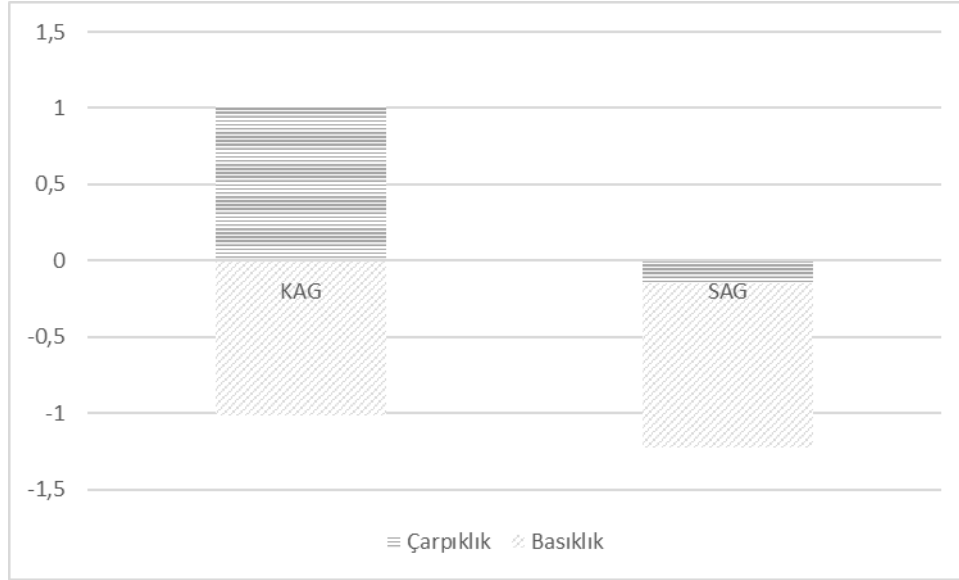
Şekil 5. SAG (30 örnek) grubu trake sürüntüleri bireylerin RT-PCR çevirim eşiği (CT) değerleri.

Aşılama sonrasında beklenen virüs yoğunluğu veya çevirim eşiği 30 ve altında beklenmektedir. Şekil 5 IBV'ye karşı sürüye sahada uygulanan aşılamadan sonra alınan trake sürüntü örneklerindeki CT değerlerini ifade etmektedir. Tespit edilen viral genomun sekans analizi aşı virüsünün filogenetik ağaçta 793B ile komşu olduğu tespit edilmiştir [43]. Kuluçkahane aşılama grubunda (KAG) yer alan hayvanların sürüntü numunelerinde %93,3'ü 793B suşu için pozitif tespit edildi. Kümes sahasında aşılama grubunun (SAG) trake sürüntü numunelerinin %43,3'ü 793B suşu için pozitif tespit edildi (Şekil 6). KAG örneklerinin CT verileri normallik test sonuçlarına göre çarpıklık 1,01 ve basıklık -1,012, kümede aşılama grubunun numunelerinde CT verilerinin normallik test sonuçları ise çarpıklık -0,149 ve basıklık -1,073 olarak saptandı (Şekil 7). Elde edilen bulgulara göre veriler normal dağılım göstermektedir [44]. CT 30 ve altındaki değerlerin pozitif, üzerindeki değerlerin ise negatiftir. Buna göre yapılan one sample t-test sonuçları 30 değerine göre sabitlenen kuluçkahane aşılama grubunun CT değerlerinin istatistiksel olarak anlamlı olduğu saptanmıştır ($P < 0,05$), (Tablo 1), [45]. Buna karşılık SAG CT değerlerinin ise belirlenen 30 değerine göre istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($P > 0,05$). Kuluçka aşılama sonrası çiftliğe gönderilen sürüde 3 gün sonrasında başlayarak 5. günün sonunda azalan günlük takibi ile alınan kayıtlarda aksırık semptomları gözlemlenmiştir. Aşı virüsünün replikasyonuna bağlı olarak gelişen bu reaksiyonun zamanla kaybolduğu tespit edilmiştir.



Şekil 6. KAG (30 örnek) ve SAG (30 örnek) grubu trake sürüntüleri RT-PCR pozitiflik yüzdesi.

Şekil 7.'de kuluçkahane aşılama grubu ve saha aşılama grubunda yer alan hayvanlardan alınan trake sürüntü örneklerinin RT-PCR CT pozitiflik yüzdesi ifade edilmiştir. Kuluçka aşılama grubunda saha aşılama grubuna göre 2 katın üzerinde aşı alımı tespit edilmiştir.



Şekil 7. KAG ve SAG grubu trake sürüntüleri RT-PCR CT Çarpıklık ve basıklık değerleri.

Şekil 7.'de kuluçkahane aşılama grubu ve saha aşılama grubunda yer alan hayvanlardan alınan trake sürüntü örneklerinin RT-PCR CT değerlerine ilişkin çarpıklık ve basıklık değerleri ifade edilmiştir.

Tablo 1. KAG ve SAG grubu trake sürüntü örneklerinin RT-PCR CT değerleri istatistiksel farkı.

One-Sample Test						
Test Value = 30						
	t	df	Sig.(2 tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
KAG	-7,087	29	0,000	-4,94500	-6,3721	-3,5179
SAG	1,900	29	0,067	2,27333	-0,1736	4,7203

Tablo 1.'de KAG ve SAG grubu hayvanlarından alınan trake sürüntü numunelerinin RT-PCR CT değerleri için One Sample t-test ile karşılaştırılması gösterilmiştir. Trake sürüntülerindeki virüs genetik materyaline ait tespiti içeren RT-PCR test pozitiflik üst baremini ifade eden değer $CT < 30$ olarak belirlenmiştir. Analiz sonuçlarına göre KAG trake sürüntü örnekleri SAG sürüntü örneklerine göre aşı alımı yönünden istatistiksel olarak anlamlıdır ($P < 0,05$).

IV. TARTIŞMA

Aşı uygulama kalitesi broylerlerde hastalıklar ile mücadelede en önemli etkenlerdir. Çiftliklerde biyogüvenlik tedbirlerinin optimum düzeyde tutulması bulaşma kaynaklarının azalmasına neden olmaktadır [46]. IB hastalığında bölgenin risk altında olduğu durumlarda aşılamanın önemi artar. Bu çalışma kuluçkahane değişkenliklerin daha iyi kontrol edilebildiğini, saha uygulamalarının ise aşı alım değerlerini etkilediğini ortaya koymaktadır. Kuluçkahane uygulamaları ise kitlesel aşılama sonucunda üniform bağışıklık oluşmasında önem arz etmektedir. Broiler civcivleri kasalara koyularak sprey aşı makinelerine iletilmektedir. Alanında uzman bireyler burada kitlesel sprey uygulaması kısa süre içerisinde en az stres riski oluşturacak şekilde uygulanmaktadır [47]. Buna karşılık saha aşılama çalışmalarında aşı hazırlığı ve uygulama safhasında gelişen hatalar aşı damlacıklarının homojen dağılımının önüne geçmektedir. 2. haftanın içerisinde uygulanan aşı için kümes bölmeleri açılmadan mümkün olduğunca en dar alanda uygulama gerçekleştirilmelidir. Aksi durumda sprey damlacıkları hayvanlar yerine altlığa düşmektedir. Bu nedenle aşı alımlarında azalma gelişmektedir. Sprey uygulaması veya aerosol, canlı atenüe aşıları etlik piliç sürülerine, genellikle sürülerin barındırıldığı ilk iki hafta içinde uygulamak için kullanılan yaygın bir yöntemdir [48]. Bu öncelikle solunum yollarında çoğalan aşıların verilmesi için ideal bir tekniktir [49]. Başarılı bir saha aşılması uygun aşı kullanımı ve stresinin en aza indirilmesi ile mümkün olmaktadır. Modern broiler üretimi açısından değerlendirildiğinde inovo uygulamaları ile günümüzde artık aşıların embriyolu yumurtaya uygulanacağı gibi aşılarında daha teknolojik şartlarda hayvanlara ulaştırılması kaçınılmazdır [50].

Saha aşılama çalışmalarında gerçekleştirilen olası hatalar aşının hayvanlar ile buluşmasını engellemektedir. Personel yürüyüş hızının uygun olmaması, kümes alanının geniş olması, kümes ısıısının yüksek olması gibi faktörler sprey damlacıklarının hayvanlardaki etkinliğini azaltmaktadır. Dolayısıyla uygulama sırasında damlacıkların hayvanların göz ve burun boşluklarına isabet etmesi durumunda düzenli bir aşılama gerçekleştirilmektedir. İkili IB aşılarının heterolog koruma örneği göstererek saha suşlarına karşı bağışıklık oluşturduğu yayınlarda rapor edilmiştir [10],[51],[52].

Bu çalışma saha sprey aşılama çalışmalarında elde edilen koruma düzeyinin aşı alımına bağlı olduğunu ortaya koymaktadır. Bu ilişki ise uygulama kalitesinin düzeyi ile doğru orantılıdır. Ancak kuluçkahane aşı uygulamalarında bu durumun ortaya çıkmaması gelecekte oluşacak üretim maliyetini azaltabilir. Kuluçkahane aşılama grubunda aşı alım değerlerinin saha aşılama grubuna göre anlamlı kaydedilmesi kitlesel aşılamanın üniform yapısının önemini artırmaktadır. Yapılan çalışmalar kuluçkahane de uygulanan aşıların hayvanlarda oluşturduğu bağışıklık yanıtının daha yüksek olduğu göstermektedir. Saha sprey aşılarının büyük çoğunluğunun hayvanlara ulaştırılmadan altlığa dökülmesi ekonomik kayıpları beraberinde getirmektedir. Ayrıca aşı alımındaki azalmaya bağlı olarak olası saha virüsü bulaşmalarında savunma sistemi gelişmeyen hayvanlar etkilenebilir.

V. SONUÇ VE ÖNERİLER

793B ve Mass kombinasyonu heterojen bir koruma spektrumunu hedef aldığı için en yaygın olarak uygulanan IBV aşılama protokollerinden birini temsil etmektedir. Ancak bu uygulama tercihi virüsün daha az dolaşımında olduğu ve bölgesel hastalık risklerinin daha az olduğu kesimlerde farklı bir koruma stratejisini gerektirebilir [53]. Çalışmada yer alan bölge IB risklerinin uzun dönemler boyunca yüksek seyrettiği alanlarda bulunmaktadır. Deneysel koşullarda yürütülen çalışmalar saha şartlarındaki değişkenleri tam anlamıyla taşımamaktadır. Bu nedenle saha koşullarında gerçekleştirilen uygulamaların optimum doğruluğu işletmelerde çalışan personellerin özverisine bağlıdır [54]. Buna karşın kitlesel aşılama çalışmalarında aşı makineleri ile doğru dozlarda hayvanlara ulaştırılabileceği en iyi ortam kuluçka birimleridir. Saha aşılama çalışmalarında aşıların çiftliğe nakillerinden başlayarak aşı uygulama anına kadar geçen süredeki soğuk zincirin korunması zor olabilir. Ayrıca aşı uygulama öncesinde kümesin dış ortama bağlı olarak uygun sıcaklığa getirilmesi yaz mevsimindeki bir diğer zorluk olarak sayılabilir. Sıcaklığın düşürülemediği durumlarda uygulamanın hızına bağlı olarak bekleyen hayvanlarda

potansiyel stres yüklenmesi ileriki günlerdeki yaşında sürünün gelişiminde olumsuz etki oluşturabilir. Bu bağlamda kuluçkada belirlenen sabit ısının kasalardaki hayvanları etkilemeden uygulamadan hemen sonra çiftliklere gönderilmesi bu olumsuz durumdan kaçınmayı sağlayacaktır [55]. Ayrıca SAG uygulamalarında sprey makine ekipmanının nozul damlacık boyutu yürüyüş hızına ve kümes ısısına bağlı olarak değişken sürelerde hayvanların üzerine düşmesi ile bazı hayvanların aşıya erişimini güçleştirebilir. Sürünün bulunduğu alanın uzunluğu önceden hesaplanarak dakikadaki sıvı atım hacmi hesaplanmalıdır ve uygulama öncesi simülasyonları yapılmalıdır. Hayvanların uygulama öncesinde yeterince birbirlerine yaklaştırılması püskürtülen aşıya ulaşmayı artıracak gibi tam aksi durumda aşı damlacıkları altlığa geçecektir. İki personelin uygulamayı yaptığı durumlarda senkron yürüyüş hızı ayarlanmalıdır ve aynı zamanda başlanılan noktada uygulama bitirilmelidir. Aşı uygulamasının sahada geliştirdiği birçok değişkenin kuluçkada daha kontrol edilebilir hale getirildiği bu çalışma ile ortaya koyulmuştur. Kuluçka aşılama grubunda yer alan hayvanlar optimum şartlar sağlanarak aşı alımları neticelendirilmiştir. Düzenlenen koşullar altında hayvan refahına uygun bir zemin oluşturulmuş ve potansiyel stresin oluşturacağı yan etkiler elimine edilmiştir. Bu çalışma potansiyel saha IBV virüsüne karşı bağışıklık oluşturulan hayvanların hangi koşullarda aşılama gerektiğine dair anlamlı sonuçlar elde etmemize imkan tanımıştır. Gelecek çalışmalar yumurtaya uygulanan aşılama hem saha hem de kuluçkahane uygulamalarına göre farklarını ortaya koyarak elde edilecek bilgiler literatüre ışık tutabilir.

VI. KAYNAKLAR

- [1] J. J. S. de Wit and J. K. A. Cook, "Spotlight on avian coronaviruses," *Avian Pathol*, vol. 49, no. 4, pp. 313-316, 2020.
- [2] M.A. Rohaim, R.F. El Naggar, M. M. Hamoud, A. I. Bazid, A. M. Gamal, S. E. Laban, M. A. Abdel-Sabour, S.A.E. Nasr, M.M. Zaki, M.Z. Shabbir, O.K. Zahran and M. Munir, "Emergence and genetic analysis of variant pathogenic 4/91 (serotype 793/B) infectious bronchitis virus in Egypt during 2019," *Virus Genes*, vol. 55, no.5, pp. 720-725, 2019.
- [3] I. Moharam, H. Sultan, K. Hassan, M. Ibrahim, S. Shany, A. A. Shehata, M. Abo-EIKhair, F. Pfaff, D. Höper, M. El Kady, M. Beer, T. Harder, H. Hafez and C. Grund, "Emerging infectious bronchitis virus (IBV) in Egypt: Evidence for an evolutionary advantage of a new S1 variant with a unique gene 3ab constellation," *Infect Genet Evol*, pp. 104433, 2020.
- [4] J. Ignjatović and S. Sapats, "Avian infectious bronchitis virüs," *Rev Sci Tech*, vol.19, no. 2, pp. 493-508, 2000.
- [5] I. I. Hasan, S. T. Rasheed, N. A. Jasim and M. K. Shakor, "Pathological effect of infectious bronchitis disease virus on broiler chicken trachea and kidney tissues," *Vet World*, vol.13, no.10, pp. 2203-2208, 2020.
- [6] A. Mueller Slay, M. Franca, M. Jackwood and B. Jordan, "Infection with IBV DMV/1639 at a young age leads to increased incidence of cystic oviduct formation associated with false layer syndrome," *Viruses*, vol.14, no. 5), pp. 852, 2022.
- [7] L. P. Colvero, L.Y. Villarreal, C. A. Torres and P. E. Brañdo, "Assessing the economic burden of avian infectious bronchitis on poultry farms in Brazil," *Rev Sci Tech*, vol. 34, no. 3, pp. 993-9, 2015.
- [8] J. S. Guy, "Turkey coronavirus is more closely related to avian infectious bronchitis virus than to mammalian coronaviruses: a review," *Avian Pathol*, vol. 29, no. 3, pp. 207-12, 2000.
- [9] C. C. Loa, T. L. LinL, C. C. Wu, T. A. Bryan, T. A. Hooper and D. L. Schrader, "Differential detection of turkey coronavirus, infectious bronchitis virus, and bovine coronavirus by a multiplex polymerase chain reaction," *J Virol Methods*, vol. 131, no. 1, pp. 86-91, 2006.

- [10] F. Awad, S. Hutton, A. Forrester, M. Baylis and K. Ganapathy, “Heterologous live infectious bronchitis virus vaccination in day-old commercial broiler chicks: clinical signs, ciliary health, immune responses and protection against variant infectious bronchitis viruses,” *Avian Pathol*, vol. 45, no. 2, pp. 169-77, 2016.
- [11] J. J. De Wit, W. A. Swart and T. H. Fabri, “Efficacy of infectious bronchitis virus vaccinations in the field: association between the alpha-IBV IgM response, protection and vaccine application parameters,” *Avian Pathol*, vol. 39, no. 2, pp. 123-31, 2010.
- [12] M. G. Matthijs, J. H. van Eck, J. J. de Wit, A. Bouma and J. A. Stegeman, “Effect of IBV-H120 vaccination in broilers on colibacillosis susceptibility after infection with a virulent Massachusetts-type IBV strain,” *Avian Dis*, vol. 49, no. 4, pp. 540-5, 2005.
- [13] M.W. Jackwood, “Review of infectious bronchitis virus around the world,” *Avian Dis*, vol. 56, no. 4, pp. 634-41, 2012.
- [14] L. Y. Villarreal, P.E. Brandão, J. L. Chacón, A. B. Saldenberg, M. S. Assayag, R. C. Jones and A. J. Ferreira, “Molecular characterization of infectious bronchitis virus strains isolated from the enteric contents of Brazilian laying hens and broilers,” *Avian Dis*, Dec; vol. 51, no. 4, pp. 974-8, 2007.
- [15] J. Miłek and K. Blicharz-Domańska, “Coronaviruses in avian species - review with focus on epidemiology and diagnosis in wild birds,” *J Vet Res*, vol. 62, no. 3, pp. 249-255, 2018.
- [16] M. Smialek, B. Tykalowski, D. Dziewulska, T. Stenzel and A. Koncicki, “Immunological aspects of the efficiency of protectotype vaccination strategy against chicken infectious bronchitis,” *BMC Vet Res*, vol. 13, no. 1, pp. 44, 2017.
- [17] L. Kutle, L. Ljuma Skupnjak, A. Vrdoljak, D. Janković, G. J. Boelm, F. Kelemen, O. Zorman Rojs and J. Millemann, “Efficacy of infectious bronchitis GI-13 (793B) vaccine candidate tested according to the current European union requirements and for cross-protection against heterologous QX-like challenge,” *Viral Immunol*, vol. 33, no. 8, pp. 555-564, 2020.
- [18] M. Legnardi, G. Franzo, K. C. Koutoulis, M. Wiśniewski, E. Catelli, C. M. Tucciarone and M. Cecchinato, “Vaccine or field strains: the jigsaw pattern of infectious bronchitis virus molecular epidemiology in Poland,” *Poult Sci*, vol. 98, no. 12, pp. 6388-6392, 2019.
- [19] M. Śmiałek, J. Kowalczyk and J. Koncicki, “A Influence of vaccination of broiler chickens against *Escherichia coli* with live attenuated vaccine on general properties of *E. coli* population, IBV vaccination efficiency, and production parameters-a field experiment,” *Poult Sci*, no. 11, pp. 5452-5460, 2020.
- [20] M. Legnardi, H. Baranyay, C. Simon, J. Molnár, T. Bijlsma, M. Cecchinato, A. Gáspárdy, A. Bersényi, C. M. Tucciarone, G. Franzo and L. Kőrösi, “Infectious bronchitis hatchery vaccination: comparison between traditional spray administration and a newly developed gel delivery system in field conditions,” *Vet Sci*, vol. 8, no. 8, pp. 145, 2021.
- [21] S. S. Chandrasekar, B. Kingstad-Bakke, C.W. Wu, M. Suresh and A. M. Talaat, “A Novel mucosal adjuvant system for immunization against avian coronavirus causing infectious bronchitis,” *J Virol*, vol. 94, no. 19, pp. e01016-20, 2020.
- [22] S. P. Mondal and S. A. Naqi, “Maternal antibody to infectious bronchitis virus: its role in protection against infection and development of active immunity to vaccine,” *Vet Immunol Immunopathol*, vol. 79, no.2, pp. 31-40, 2001.

- [23] C. F. Crouch CF, S. J. Andrews, R. G. Ward and M. J. Francis, "Protective efficacy of a live attenuated anti-coccidial vaccine administered to 1-day-old chickens," *Avian Pathol*, vol. 32, no. 3, pp. 297-304, 2003.
- [24] M. E. Sedeik, N. A. El-Shall, A. M. Awad, M. E. Abd El-Hack, A. N. Alowaimier and A. A. Swelum, "Comparative Evaluation of HVT-IBD Vector, Immune complex, and Live IBD vaccines against vvIBDV in commercial broiler chickens with high maternally derived antibodies," *Animals (Basel)*, Vol. 9, no. 3, pp. 72, 2019.
- [25] M. S. A. Bhuiyan, Z. Amin, A. M. S. A. Bakar, S. Saallah, N. H. M. Yusuf, S. M. Shaarani and S. Siddiquee, "Factor influences for diagnosis and vaccination of avian infectious bronchitis virus (Gammacoronavirus) in chickens," *Vet Sci*, vol. 8, no. 3, pp. 47, 2021.
- [26] R. F. Gentry and M.O. Braune, "Prevention of virus inactivation during drinking water vaccination of poultry," *Poult Sci*, vol. 51, no. 4, pp. 1450-6, 1972.
- [27] T. H. Lim, H. N. Youn, S. S. Yuk, J. H. Kwon, W. T. Hong, G. B. Gwon, J. A. Lee, J. B. Lee, S. W. Lee and C. S. Song, "Successful cross-protective efficacy induced by heat-adapted live attenuated nephropathogenic infectious bronchitis virus derived from a natural recombinant strain," *Vaccine*, vol. 33, no. 51, pp. 7370-7374, 2015.
- [28] Y. Zhang, S. Huang, Y. Zeng, C. Xue and Y. Cao, "Rapid development and evaluation of a live-attenuated QX-like infectious bronchitis virus vaccine," *Vaccine*, vol. 36, no. 29, pp. 4245-4254, 2018.
- [29] M. Al-Rasheed, C. Ball and K. Ganapathy, "Route of infectious bronchitis virus vaccination determines the type and magnitude of immune responses in table egg laying hens," *Vet Res*, vol. 52, no. 1, pp.139, 2021.
- [30] F. Bande, S. S. Arshad, A. R. Omar, M. H. Bejo, M. S. Abubakar and Y. Abba, "Pathogenesis and diagnostic approaches of avian infectious bronchitis," *Adv Virol*, pp. 4621659, 2016.
- [31] F. Saiada, F. Eldemery, R. A. Zegpi, S. L. Gulley, A. Mishra, V. L. V. Santen and H. Toro, "Early vaccination of chickens induces suboptimal immunity against infectious bronchitis virus," *Avian Dis*, vol. 63, no. 1, pp. 38-47, 2019.
- [32] R. Chhabra, A. Forrester, S. Lemiere, F. Awad, J. Chantrey and K. Ganapathy, "Mucosal, cellular, and humoral immune responses induced by different live infectious bronchitis virus vaccination regimes and protection conferred against infectious bronchitis virus Q1 strain," *Clin Vaccine Immunol*, vol. 22, no. 9, pp. 1050-9, 2015.
- [33] T. Al-Jallad, M. Kassouha, M. Salhab, A. Alomar, M. Al-Masalma and F. Abdelaziz, "Molecular characterization of isolated infectious bronchitis viruses from affected vaccinated broiler flocks in Syria," *BMC Vet Res*, vol. 16, no. 1, pp. 449, 2020.
- [34] S. A. Callison, D. A. Hilt, T.O. Boynton, B.F. Sample, R. Robison, D.E. Swayne and M.W. Jackwood, "Development and evaluation of a real-time Taqman RT-PCR assay for the detection of infectious bronchitis virus from infected chickens," *J Virol Methods*, vol.138, no. 2, pp. 60-5, 2006.
- [35] S. A. Callison, D.A. Hilt, T.O. Boynton, B.F. Sample, R. Robison, D. E. Swayne and M. W. Jackwood, "Development and evaluation of a real-time Taqman RT-PCR assay for the detection of infectious bronchitis virus from infected chickens," *J Virol Methods*, vol.138, no. 2, pp. 60-5, 2006.

- [36] R. Meir, O. Maharat, Y. Farnushi and L. Simanov, "Development of a real-time TaqMan RT-PCR assay for the detection of infectious bronchitis virus in chickens, and comparison of RT-PCR and virus isolation," *J Virol Methods*, vol.163, no. 2, pp.190-4, 2010.
- [37] H. J. Roh, D.A. Hilt and M.W. Jackwood, "Detection of infectious bronchitis virus with the use of real-time quantitative reverse transcriptase-PCR and correlation with virus detection in embryonated eggs," *Avian Dis*, vol. 58, no. 3, pp. 398-403, 2014.
- [38] M.W. Jackwood, R. Clark, S. Cheng and B. J. Jordan, "Protection following simultaneous vaccination with three or four different attenuated live vaccine types against infectious bronchitis virus," *Avian Pathol*, vol. 49, no. 4, pp.335-341, 2020.
- [39] F. Awad, S. Hutton, A. Forrester and M. Baylis, K. Ganapathy, "Heterologous live infectious bronchitis virus vaccination in day-old commercial broiler chicks: clinical signs, ciliary health, immune responses and protection against variant infectious bronchitis viruses," *Avian Pathol*, vol. 45, no. 2, pp. 169-77, 2016.
- [40] B. al-Tarcha and S. A. Sadoon, "Cross-protection studies with vaccine strain H-120 of infectious bronchitis virus using ciliary activity," *Acta Vet Hung*, vol. 39, no. 2, pp. 95-101, 1991.
- [41] M. Jahantigh, S. Salari and M. Hedayati, "Detection of infectious bronchitis virus serotypes by reverse transcription polymerase chain reaction in broiler chickens," *Springerplus*, vol. 2, no.1, pp. 36, 2013.
- [42] Z. H. Bhuiyan, M. Z. Ali, M. M. Moula, M. Giasuddin, Z. U. M. Khan, "Prevalence and molecular characterization of infectious bronchitis virus isolated from chicken in Bangladesh," *Vet World*, vol,12, no. 6, pp. 909-915, 2019.
- [43] G. Franzo, C. J. Naylor, C. Lupini, M. Drigo, E. Catelli, V. Listorti, P. Pesente, D. Giovanardi, E. Morandini and M. Cecchinato, "Continued use of IBV 793B vaccine needs reassessment after its withdrawal led to the genotype's disappearance," *Vaccine*, vol. 32, no. 50, pp. 6765-7, 2014.
- [44] B. G. Tabachnick and S. F. Linda, *Using Multivariate Statistics*, Nobel Akademik Yayıncılık, 2015.
- [45] J. Gelb Jr, B. S. Ladman, M. J. Licata, M. H. Shapiro and L. R. Campion, "Evaluating viral interference between infectious bronchitis virus and Newcastle disease virus vaccine strains using quantitative reverse transcription-polymerase chain reaction," *Avian Dis*, vol.51, no. 4, pp. 924-34, 2007.
- [46] H. Ghobadian Diali, H. Hosseini, M.H. Fallah Mehrabadi and R. Yahyaraeyat, "Ghalyanchilangeroudi A Evaluation of viral load and transcriptome changes in tracheal tissue of two hybrids of commercial broiler chickens infected with avian infectious bronchitis virus: a comparative study," *Arch Virol*, vol.167, no.2, pp. 377-391, 2022.
- [47] R. Ravikumar, J. Chan and M. Prabakaran, "Vaccines against Major Poultry Viral Diseases: Strategies to Improve the Breadth and Protective Efficacy," *Viruses*, vol.14, no.6, pp.1195, 2022.
- [48] S. M. Ray, U. Ashash and S. Muthukumar, "A field study on the evaluation of day-of-hatch and in grow-out application of live infectious bursal disease virus vaccine in broiler chickens," *Poult Sci*, vol.100, no.8, pp.101252, 2021.
- [49] P. Villegas , "Viral diseases of the respiratory system," *Poult Sci*, vol.77, no.8, pp.1143-5, 1998.

- [50] T. Okura, H. Otomo, S. Suzuki, Y. Ono, A. Taneno and E. Oishi, “Efficacy of a novel in ovo-attenuated live vaccine and recombinant vaccine against a very virulent infectious bursal disease virus in chickens,” *J Vet Med Sci*, vol.83, no.11, pp.1686-1693, 2021.
- [51] M.W. Jackwood, D.A. Hilt, A.W. McCall, C.N. Polizzi, E.T. McKinley and S.M. Williams, “Infectious bronchitis virus field vaccination coverage and persistence of Arkansas-type viruses in commercial broilers,” *Avian Dis*, vol.53, no.2, pp.175-83, 2009.
- [52] H. Toro, V. L. van Santen, A. M. Ghetas and K. S. Joiner, “Cross-Protection by Infectious Bronchitis Viruses Under Controlled Experimental Conditions,” *Avian Dis.*, vol.59, no.4, pp.532-6, 2015.
- [53] Ö.Kardoğan, “Coronavirus and Infectious Bronchitis vaccines in chickens,” *Etlik Vet Mikrobiyol Derg*, vol.33, no.1, pp. 110-117, 2022.
- [54] M.Akan, M.İzgür, B.Sarayyüpoğlu, “Tavuklarda infeksiyöz bronşitisin polimeraz zincir reaksiyonu (PZR) ve floresan antikor tekniği (FAT) ile teşhisi,” *Ankara Ünv Vet Fak Derg*, Vol.54, no:1, 47-54, 2007.
- [55] N. Timurkaan, H.Öngör, H.Kalender, B.Karabulut, F. Çöven, A. Çevik, H. Eröksüz and B. Çetinkaya, “Pathological and molecular findings of visceral gout caused by Israel variant 2 (IS/1494/06) genotype of infectious bronchitis virus in chickens, ” *Ankara Ünv Vet Fak Derg*, vol.70 no:2,43-57, 2023.



Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

Starter Selection for Diesel Engines

 Şenol GÜLGÖNÜL^{a,*},  Nedim SÖZBİR^b,  Osman DUR^c

^a *Electrical and Electronics, Faculty of Engineering, Ostim Technical University, Ankara, TÜRKİYE*

^b *Rector, Duzce University, Düzce, TÜRKİYE*

^c *İleri Teknolojiler Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, TÜRKİYE*

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

DOI: 10.29130/dubited.1210015

ABSTRACT

Starter selection is a critical decision in diesel engine design. The starter performance curves are generally accepted in the industry, with current on the horizontal axis and power, volts, speed and starter torque on the vertical axis. In this way, it is not possible to compare the starter performance curves with the engine friction force curve. In this study, a method has been developed for the selection of suitable starter for diesel engines. With the developed method, the starter performance curve is converted and the engine friction curve is shown on the same graph. With this method, it can be easily understood whether the starter is suitable for a diesel engine. In addition, possible problems that may be encountered during cold start-up can be foreseen. The developed method uses actual performance measurements given by the starter manufacturer. On the engine side, if there is an existing engine, engine friction test results are used. If the engine is in the design phase, the friction force results obtained by simulation are used.

Keywords: *Diesel engine, Engine friction, Starter, Cranking*

Dizel Motorlarda Marş Motoru Seçimi

ÖZ

Marş motoru seçimi, dizel motor tasarımında kritik bir karardır. Marş motoru performans eğrileri endüstride genel kabul gören şekli ile yatay ekseninde akım, dikey ekseninde ise güç, volt, hız ve marş motoru torku olacak şekildedir. Bu şekilde marş motoru performans eğrilerinin motor sürtünme kuvveti eğrisi ile karşılaştırılması mümkün olmamaktadır. Bu çalışmada, dizel motorlar için uygun marş motoru seçimine yönelik bir yöntem geliştirilmiştir. Geliştirilen yöntem ile marş motoru performans eğrisi dönüştürülerek, motor sürtünme eğrisi aynı grafik üzerinde gösterilmektedir. Bu yöntem ile marş motorunun dizel motora uygun olup olmadığı kolaylıkla anlaşılabilir. Ayrıca soğuk çalıştırma sırasında karşılaşılabilecek olası problemler öngörülebilir. Geliştirilen yöntem, marş motoru üreticisi tarafından verilen gerçek performans ölçümlerini kullanır. Motor tarafında ise mevcut bir motor varsa motor sürtünme testi sonuçları kullanılır. Eğer motor tasarım aşamasında ise simülasyon ile elde edilen sürtünme kuvveti sonuçları kullanılır.

Anahtar Kelimeler: *Dizel motor, Motor sürtünme kuvveti, Marş motoru, Krank*

I. INTRODUCTION

Starter selection is mission critical in diesel engine design. The starter needs to bring the engine to cranking speed (typically 250 rpm) at which injection will begin, both in normal weather conditions and in cold weather. Besides, certain cranking speeds must be reached in order to establish the minimum rail pressure (typically 500 bar) at which injection can begin. A ready-made starter is generally used in diesel engine design. Therefore, the characteristics of the starter are known from the performance curves. In order to select the starter suitable for the developed diesel engine, the engine friction curve and the starter performance curves should be compared. In the diesel engine design phase, this comparison can only be made with simulation.

Stribeck curve defines engine friction in three regions: boundary, mixed and hydrodynamic [1]. Testing of friction is an important part of each combustion engine's development program and there are several measurement methods [2]. In addition to measurements, simulation methods that give similar results have also been developed [3]. Engine friction significantly increases in cold start and reduces cranking speed [4].

Starter manufacturers give information about the product's performance curve and displacement volume (litre) range of suitable engines. But this is a wide range and the design cannot be built on it. For example, Iskra 24V AZG model starter is given as suitable for 7 to 17 litre displacement [5]. For this reason, analyses based on measurement results can be effectively used to select the appropriate starter in engine design [6]. In the guides on practical starter selection, it is recommended to test the selected starter with the engine [7].

In another study, Saber commercial simulation software was used for diesel engine and starter simulation, and simulation and test results were compared [8]. While the engine cranking speed reached an average value of 250 rpm at +22°C in the study, it remained at 150 rpm at -19°C operation. Similarly, in our study, the engine may be stuck at lower speeds in cold start. In a similar study, while the engine cranking speed reaches an average of 200 rpm at +20°C, it remains at 90 rpm at -18°C [9].

The starter performance curves are given as current on the x-axis and power, rpm, torque and voltage values on the y-axis in accordance with ISO 8856. The friction curve of the engine is measured as torque on the y-axis and engine rpm on the x-axis. This makes it difficult to compare whether the relevant starter is suitable for the engine. In this study, a method that combines the starter performance and the engine friction curves is proposed. With this method, it can be easily understood whether the starter is sufficient for a diesel engine. The usability of the proposed method is shown with the simulation results.

II. MODEL DEVELOPMENT

A. CONVERSION OF STARTER PERFORMANCE CURVE

Generally accepted style of starter performance curve is given with current on x-axis. Starter power (kW), starter rpm, voltage (V) and torque (Nm) values are shown on y-axis. An example performance curve for Iskra AZG 24V model starter is shown in Figure 1 (a) [5].

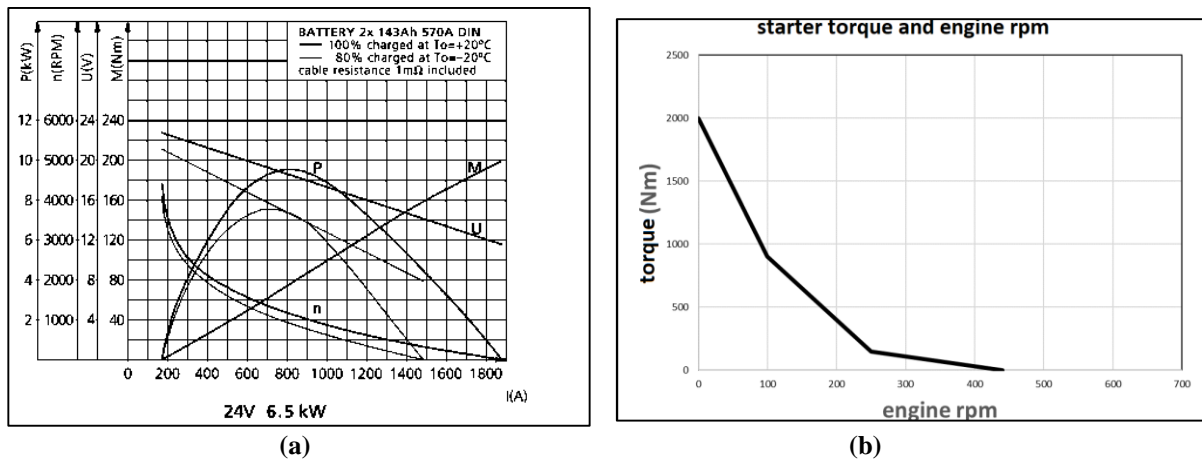


Figure 1. (a) Starter curve (Courtesy of Iskra Avtoelektrika) (b) Converted starter curve

Since engine friction curves are given as engine rpm in x-axis, this type of starter curves are not suitable to easily compare starter torque to engine friction. We converted starter performance curve to the torque applied to the engine on Y-axis and engine rpm on X-axis by multiplying starter to flywheel gear ratio as shown in Figure 1 (b). The engine rpm-starter torque curve was created by combining the starter rpm-current data with the starter current-torque data. Starter rpm-current and starter current-torque curves transferred into Simulink matrices. Multiplication of rpm-current and current-torque matrices yields rpm-torque curve as shown in Figure 4. Number of teeth in starter pinion is typically 10,11,12. Flywheel ring gear generally has 113, 120, 124 teeth. This yields around 1/10 gear ration. The gear ratio (typically 10) of the starter pinion to the flywheel must also be taken into account. The starter torque is multiplied by the gear ratio to get the torque applied to the engine. Similarly, the starter rpm is divided to gear ratio to get engine rpm. All these operations are shown on the Simulink model in Figure 4.

Stribeck curve (Figure 2.) explains engine friction in three regions: boundary, mixed and hydrodynamic [1]. In the first region engine is in stall and starter starts to rotate. As soon as the flywheel starts to rotate, the oil pump mechanically connected to the flywheel starts pumping oil and friction is reduced. As the engine starts to rotate, the friction force increases proportionally with the engine rpm. Stribeck curve allows us to represent friction curve of the engine in a piecewise linear model. Engine friction is usually measured above idle speed and is linearly proportional to engine speed at speeds above idle speed [10]. This part corresponds to the hydrodynamic friction region of the Stribeck curve. Friction at low speeds is simulated piecewise linearly to the Stribeck curve. The engine friction curve used in the study was formed theoretically in this way.

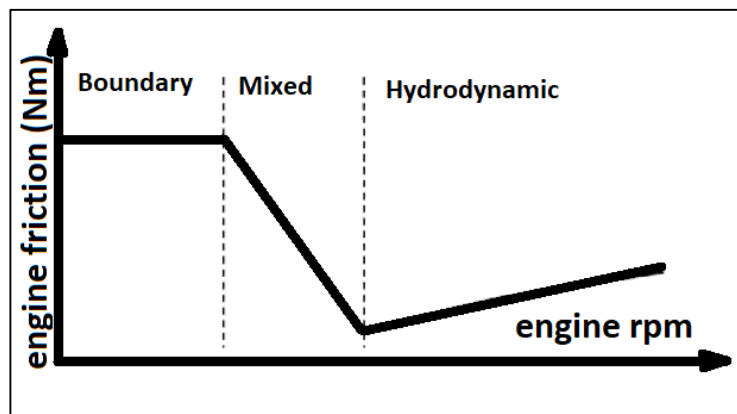


Figure 2. Stribeck Engine Friction Curve

Now we can show the starter torque curve and the engine friction curve on the same graph (Figure 3). This allows us to better compare and analyse possible problems. The starter torque curve is above the engine friction curve in the normal operating conditions and curves intersect above 250 rpm. Typical minimum cranking rpm where injection starts is 250 rpm in diesel engines.

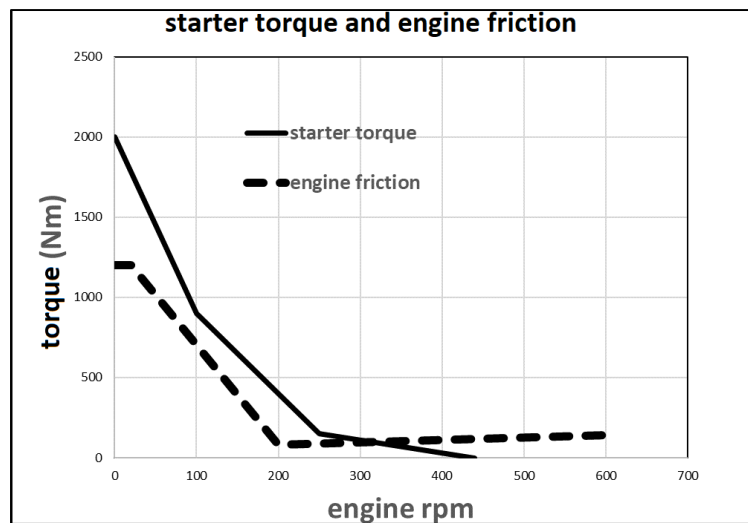


Figure 3. Starter torque and engine friction curves

B. ENGINE CRANKING MODEL

Net torque applied to the engine is starter torque (T) multiplied with gear ratio (k) reduced by friction of the engine. This can be expressed as

$$k \times T - F = I \times \frac{dw}{dt} \quad (1)$$

where w is angular velocity and I is the inertia of the engine. The engine rotation (rpm) can be deduced by taking the integral of angular velocity and converting angular velocity to rpm

$$rpm = \frac{60}{2\pi} \times \int \frac{(k \times T - F)}{I} \times dt \quad (2)$$

Equations (1), (2) and curve conversion has been modelled in Simulink (Figure 4.). Since we are using real numerical measurement data of starter torque and engine friction, the problem must be solved numerically. We used Iskra 24V AZG starter performance parameters. The engine used in simulation is a theoretical 6-cylinder diesel engine with 2.5 kgm² inertia.

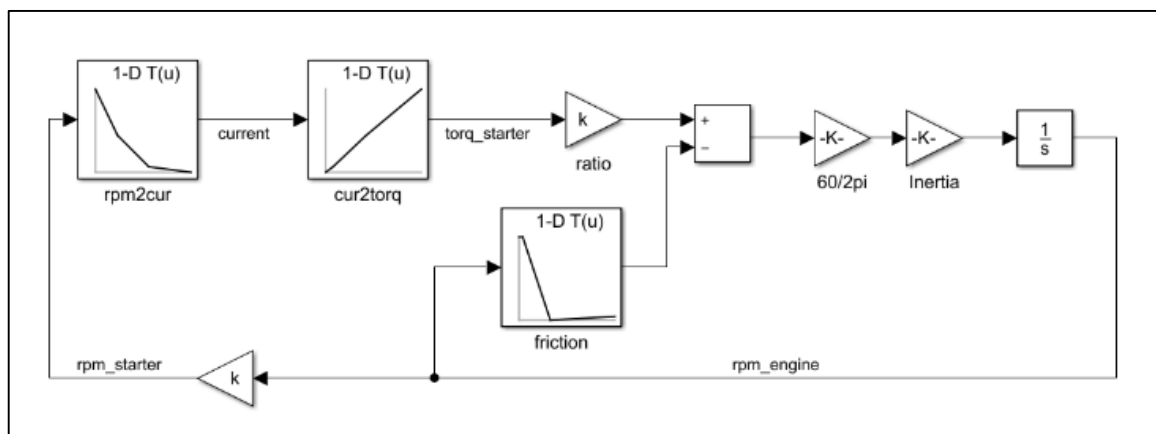


Figure 4. Diesel engine cranking model

In normal conditions where starter torque is above the engine friction as shown on Figure 3 starter can rotate the flywheel above minimum cranking speed (typically 250 rpm). Simulink output in Figure 5 shows that starter brings the engine rpm up to 316 rpm which is the intersection point of torque and friction curves.

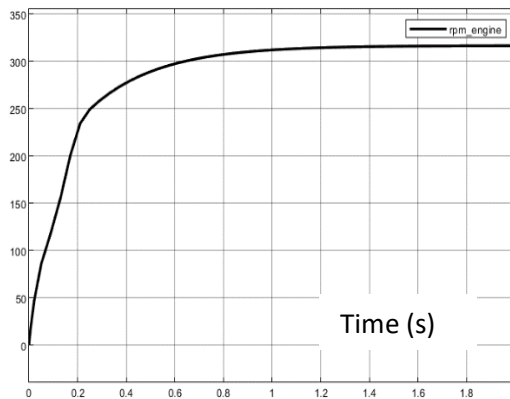


Figure 5. Diesel engine cranking rpm in normal behaviour

There may be various cranking problem scenarios especially faced at cold cranking. In the first scenario starter cannot overcome the stall friction of the engine and cannot turn the flywheel at all. In this case starter will be locked at stall condition and will draw high current. This high current can burn the starter and shall not be allowed above a few seconds.

In the second possible scenario, the starter cannot reach the cranking speed and the engine is stuck at low rpm. This may happen if starter torque and engine friction curves intersect at low rpm as shown at Figure 6 (a). In the simulated example, engine speed is stuck at 91 rpm as shown on Figure 6 (b) and cannot reach minimum cranking speed (typically 250 rpm). Thus, injection will not start.

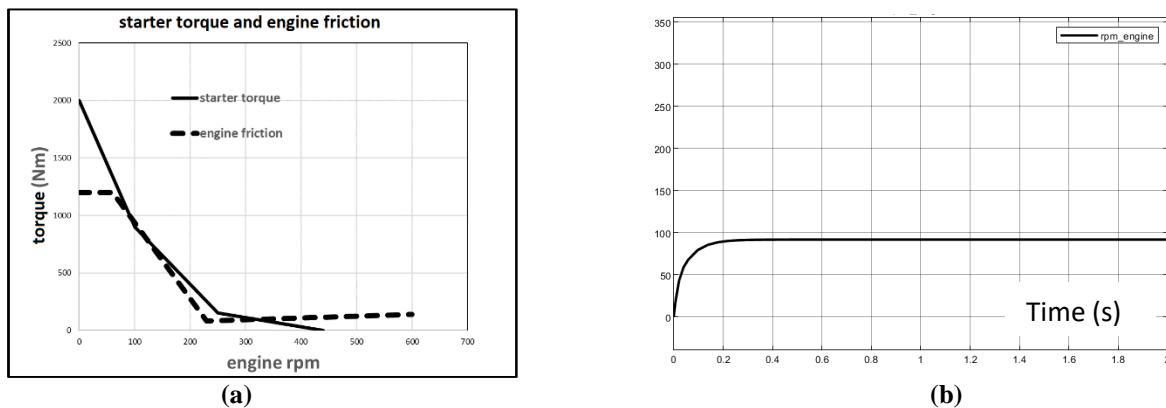


Figure 6. (a) Starter torque intersects at lower rpm (b) Engine speed is stuck at lower rpm

The cranking engine speed curve in normal weather conditions can warn us about possible problems that we may encounter in cold weather conditions. In this case, starter torque curve is still above engine friction but gets closer at low rpm as seen on Figure 7 (a). This causes a noticeable curvature in engine cranking curve on Figure 7 (b). While this engine is starting normally in mild temperature conditions, will probably stick around 100 rpm and will not start in cold weather.

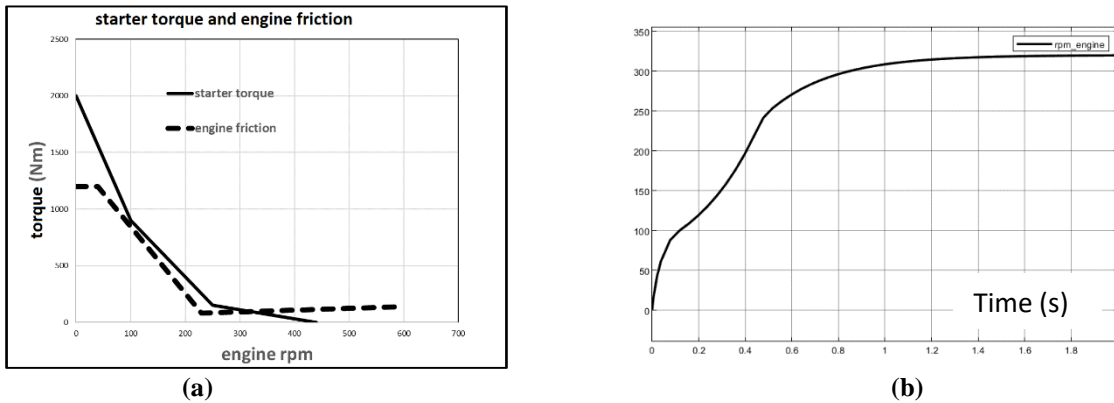


Figure 7. (a) Starter torque is close to the engine friction at low rpm (b) Resulting engine speed curvature

IV. CONCLUSIONS

Choosing a ready-made starter for a diesel engine under design is an important decision. The starter performance curves given according to the ISO 8856 standard are not suitable for direct comparison with the engine friction curve. With the proposed method in this study, the starter performance curves are made comparable to the friction force-rpm curves of the engine. By using the Simulink program, it can be simulated to which rpm the selected starter can rotate the engine. In this way, it can be easily concluded whether the selected starter is suitable for the engine whose design is in progress. The proposed method has been tested with the model developed on Simulink for different scenarios, including stall, low rpm stuck and cold cranking risks and it has been shown to be usable for design decision.

The study also reveals the need for engine friction simulation or test results prior to starter selection. Although real measurement results are used for the starter, the accuracy of the developed method depends on the accuracy of the engine simulation data, since simulation results are used for the engine friction curve. It is planned to compare the developed method with test measurement results in future studies.

V. REFERENCES

- [1] Delprete C, Razavykia A. "Piston ring–liner lubrication and tribological performance evaluation: A review". *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*, 2018.
- [2] Hopfner, W., Lösch, S., Satschen, S., Winklhofer, E. "Friction test procedures in engine Development". *Proceedings of the Conference: 5. Tribologie und Effizienztagung*, Győr, Hungary, 2018.
- [3] Lee, S., Kang, J. & Park, S. "Measurement and modeling of crank train friction in light-duty diesel engines". *J Mech Sci Technol*, vol. 34, pp. 889–903, 2020
- [3] Allmaier, H., Knauder, C., Sanders, D. et al. "Combination of Measurement and Simulation to Analyse Engine Friction". *MTZ Worldw*, vol. 77, pp. 66–71, 2016





- [4] Johansson, Emma M. V. and Sofia Wagnborg. "Analysis of Engine Cold Start Simulation in GT-Power." M.S. thesis, Department of Applied Mechanics Division of Combustion, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden, 2014.
- [5] Iskra Avtoelektrika. (2022, November 25). *Starter Motors*. [Online]. Available: http://www.iskra-agv.cz/us/pdf/starter_motors.pdf(URL)
- [6] Patil, Atul B., and Nitin S. Ranade. "Computer Simulation of an I.C. Engine During Cranking by a Starter Motor." *SAE Transactions* vol. 102: 911–17. 1993
- [7] Vsarath Chandran. (2015, October 16) *Starter motor selection and vehicle system considerations*. [Online]. Available:<https://autoelectricalsystems.wordpress.com/2015/10/19/starter-motor-selection-and-vehicle-system-considerations/>
- [8] Azzouaz, George. "Modeling And Simulation Of An Automotive Diesel Engine Cranking System" M.S. thesis, Department of Energy and Environment, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden, 2005.
- [9]. Mellblom, F. 'Start modelling for heavy trucks', Ph.D. dissertation, Department of Electrical Engineering, Linköping University, Linköping, Sweden, 2004.
- [10] Knauder, Christoph & Allmaier, Hannes & Sander, David & Sams, Theodor. "Investigations of the Friction Losses of Different Engine Concepts, Part 1: A Combined Approach for Applying Subassembly-Resolved Friction Loss Analysis on a Modern Passenger-Car Diesel Engine" *Lubricants*, vol. 7, no. 5, p. 39, Apr. 2019.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Radyal Fanlarda Karma Kanat Yapısının Numerik Olarak İncelenmesi

 Halil KARTAL^{a,*},  Burak KURŞUN^b,  Korhan ÖKTEN^b  Levent UĞUR^b,

^a Ar-Ge Merkezi, Silverline Endüstri A.Ş., Amasya, TÜRKİYE

^b Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Amasya Üniversitesi, Amasya, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: levent.ugur@amasya.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1094817

Öz

Bu çalışmada, geriye dönük bir pervane yapısını karma kanat yapısına dönüştürerek debi-rotor, dönüş hızı ilişkisinin değişimi incelenmiştir. Ayrıca bu çalışmada pervane geometrisinin bir kısım ölçüleri sabitlenerek, geriye kalan kritik ölçüler üzerinde parametrik çalışma gerçekleştirilmiştir. Bunun için deneysel veriler ile benzer sonuçların elde edildiği, literatür çalışmaları ile benzer olan analiz metodolojisi kullanılmıştır. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) analizlerinde, mesh yapısı ve hava giriş ve çıkış hacimleri gibi geometrik özellikler sabit tutularak, analiz sonuçlarına etkiyen ana faktörün kanat geometrisi olması sağlanmıştır. HAD analizlerinde öncelikli olarak farklı mesh yapılarındaki analiz sonuçları karşılaştırılarak analiz sonuçlarının mesh yapısından bağımsız olması sağlanmıştır, sonrasında analiz sonuçları ile deney sonuçları karşılaştırılarak analiz sonuçları doğrulanmıştır. Yapılan çalışmada geriye dönük kanat yapısının ve karma kanat yapısının debi, basınç, tork, verim değerleri karşılaştırılmış sonrasında karma kanat geometrisini ilk geometriden ayıran iki kritik ölçünün debi, basınç, tork ve verim üzerine spesifik etkileri bu çalışma içerisinde paylaşılmıştır. İncelenen literatür çalışmalarından bilindiği üzere geriye dönük kanat yapıları yüksek verimlilik elde etmek amacı ile tasarlanmaktadır, ileri dönük kanat tiplerine kıyasla yüksek debilere yüksek devir hızlarında ulaşabilmektedir. Bu çalışmada elde edilen bulgular göstermektedir ki; karma kanat tipi sayesinde devir hızını değiştirmeden daha yüksek bir debi elde edilebilmesi mümkün olabilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Geriye Eğik Radyal Kanat, İleri Dönük Radyal Kanat, Karma Tip Radyal Kanat, Hesaplanabilir Akışkanlar Dinamiği (HAD), Radyal Kanat Performans

Numerical Investigation of Mixed Blade Structure in Radial Fans

ABSTRACT

In this study, it is investigated how the Flow-Rotor Rotation Speed relationship changes by converting a backward propeller structure to a mixed blade structure. In addition, in this study, some dimensions of the propeller geometry were fixed and a parametric study was carried out on the remaining critical dimensions. For this purpose, the analysis methodology, which is similar to the literature studies, was used, in which similar results were obtained with the experimental data. In Computational Fluid Dynamics (CFD) analyses, geometric properties such as mesh structure and air inlet and outlet volumes were kept constant, so that the main factor affecting the analysis results was blade geometry. In CFD analyses, first of all, the analysis results in different mesh structures were compared to ensure that the analysis results were independent from the digital network structure, then the analysis results were verified by comparing the analysis results with the test results. In the study, the flow rate, pressure, torque, efficiency values of the backward blade structure and the mixed blade structure were compared, and then the specific effects of the two critical dimensions that distinguish the mixed blade geometry from the first geometry on flow, pressure, torque and efficiency were shared in this study. As it is known from the literature studies examined, backward blade structures are designed to achieve high efficiency, they can reach high flow rates at

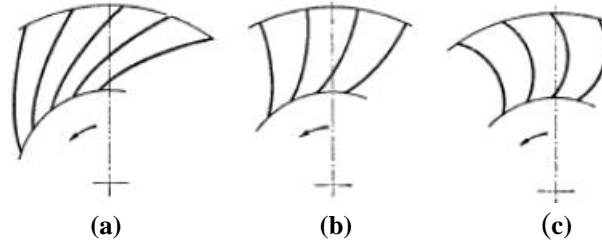
high rotational speeds compared to forward facing blade types. The findings obtained in this study show that; Thanks to the mixed blade type, it is possible to obtain a higher flow rate without changing the rotation speed.

Keywords: Backward Curved Radial Blade, Forward-Facing Radial Blade, Mixed Type Radial Blade, Computable Fluid Dynamics (CFD), Radial Blade Performance

I. GİRİŞ

Fanlar, motordan aldıkları elektrik enerjisini akışkan hareketine çeviren turbo makinelerdir. Çoğunlukla havanın veya hava içerisindeki partiküllerin istenilen debi ve basınçta bir ortamdan başka bir ortama aktarılması amacı ile endüstriyel uygulamalarda kullanılmaktadır.

Akışkanın, fana giriş ve çıkış yönüne göre radyal ve aksel olarak iki tip altında incelenebilirler. Aksel fanlarda akışkan, giriş yönü ile aynı yönde fanı terk ederken radyal fanlarda, akışkanın giriş yönü ile çıkış yönü arasında 90° açı farkı bulunmaktadır [1]. Radyal fanlar kanat çıkış açısına göre ileri dönük, geriye dönük ve düz kanatlı radyal fanlar olarak isimlendirilmektedirler. Şekil 1’de radyal fanları göstermektedir.



Şekil 1. Radyal fanlar, (a) Geriye dönük kanat, (b) Radyal kanat, (c) İleri eğimli kanat

İleri dönük radyal fanlar aynı debiyi, daha küçük çaplarda daha düşük hızlar ile basabilmeleri, düşük devir hızının sağlaması ve düşük ses düzeyi ile bilinmektedirler, bilinen en önemli dezavantajı ise %50-60 düzeylerindeki verim değerleridir [2]. Yüksek enerji veriminin gerekmediği havalandırma sistemleri, ısı üreten ekipmanların soğutulması ve otomotiv sektöründe ileri dönük radyal fanlar sıklıkla tercih edilmektedir. Geriye dönük radyal fanlar ise yüksek verim gerektiren endüstriyel uygulamalarda tercih edilmektedir. Bu tip fanlar, kanat yapıları sebebi ile ileri dönük radyal fanlara kıyasla daha düşük torklarda çalışabilmektedirler. Yüksek debi ihtiyacını karşılayabilmek için ise daha büyük çaplara ve daha yüksek devir hızlarına ihtiyaç duyarlar. Ancak yüksek debi ihtiyacı duyulan tasarımlarda yüksek ses düzeyi dezavantaj olarak ortaya çıkmaktadır [3].

Adachi ve ark. [4] tarafından yapılan çalışmada iç çapı $D1=130\text{mm}$, dış çapı $D2=160\text{mm}$ olan ileri dönük 36 kanat sayısına sahip bir radyal fanın giriş ve çıkış açılarının fan performansı üzerine etkileri incelenmiş ve ideal bir giriş çıkış açısı kombinasyonu belirlenmiştir. Fan performansının ölçümünde orifice plaka yöntemi kullanılmış, orifice üzerinde oluşan basınç farkı için elektrik motorunun çekmiş olduğu güç 800 ile 3100 Rpm aralığında değişen devirlerde ölçülmüştür. Dokuz farklı kanat geometrisi üzerinde yapılan performans ölçüm çalışması sonucunda ideal giriş açısının $75\sim 90^\circ$ aralığında çıktığı, 160° üzerindeki çıkış açılarında mutlak hızın radyal bileşenin küçüldüğü bu noktadan sonra debi kaybı yaşandığı belirtilmiştir. Bu nedenle ideal çıkış açısı $150\sim 160^\circ$ olarak seçilmesi önerilmiştir. Diğer bir çalışmada Lin ve ark. [5] dizüstü bilgisayarlarda kullanılan ileri dönük radyal fanlarda laboratuvar ve analiz çıktılarının eşleştirilmesi ve farklı çalışma aralıklarında fan performans eğrilerinin çıkarılması konusunda bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Radyal fanın performans ölçümleri için Air Movement and Control Association (AMCA) standardında tarif edilen ölçüm yöntemleri kullanılmıştır. Yapılan deneysel sonuçlar göstermektedir ki verimlik ölçümünde $1\sim 3\%$, performans ölçümünde ise $3\sim 6\%$

kesinlikte ölçüm yapılabilir. Had analiz yöntemlerinde basınç-hız algoritmasında “SIMPLE” method, basınç hesaplamasında ise “PISO” algoritması seçilmiştir. Türbülans metodu ise k-epsilon kullanılmıştır. Ayrıca ilgili çalışmada mesh yapısından bağımsızlık kontrolünde 1.18-1.2 M üzerindeki eleman sayılarında sonuçların değişmediği, ideal eleman sayısının ~1.2M olduğu aktarılmıştır. Gerçekleştirilen HAD analizleri ile deneysel ölçümler arasında %3-5 fark bulunduğu ilgili çalışmada aktarılmıştır. Fan devir hızı 1650 rpm seçilmiş ve farklı hacimsel debilere karşılık statik basınç ve verim eğrileri çıkarılmıştır.

Jung ve ark. [6] tarafından yapılan çalışmada ise radyal fanlarda akış ayrılmaları bölgesel olarak incelenmiş ve kanat genişliği ve boğaz yapısının çıkış debisi ve hidrostatik verim üzerine etkileri araştırılmıştır. Geometri üç boyutlu olarak modellenmiş, akışın sıkıştırılamaz olduğu varsayılmış ve Had analizleri zamana bağı (unsteady) olarak çözülmüştür. Had analizlerinde Ansys Fluent yazılımı kullanılmıştır. Fluent Had analizi kurgusunda türbülans modeli k-epsilon tercih edilmiş, basınç-hız algoritması “SIMPLE” seçilmiştir. Giriş koşulu sabit debi, çıkış koşulu ise statik basınç olarak belirlenmiştir. Fan performans verilerinin deneysel sonuçlara daha yakın olarak elde edilebildiği düşünülerek analiz zamana bağı olarak çalıştırılmış ve dönen hacim ile sabit hacim arasındaki akış geçişleri “sliding mesh” yöntemi ile hesaplanmıştır. İncelemede Kanat genişliğinin pervane çapına olan oranı kullanılarak değerin boyutsuz olması tercih edilmiş. b kanat genişliği, d₂ ise pervane çapı olmak koşulu ile b / d₂ oranı üzerinde parametrik çalışma gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmada kanat genişliğinin artması düşük debilerde verimi düşürürken, yüksek debilerde arttırdığı görülmüştür. Boğaz yapısı üzerinde yapılan incelemede ise pervane çapının küçültülmesi boğaz bölgesinde akış ayrılmasına neden olduğu, bu durumun ise verim kaybına neden olduğu ilgili çalışma çıktısı olarak sunulmuştur.

Son ve ark. [7] tarafından yapılan çalışmada, radyal fan salyangoz hava giriş kanalının yarıçapı ve hava giriş çeperinin, tepe yarıçapı değerinin debi ve ses üzerine olan etkileri incelenmiştir. Ansys Fluent yazılımı kullanılan çalışmada üç boyutlu ve sıkıştırılamaz akış tipi tercih edilmiştir. r/R (giriş bölgesi tepe yarıçapının pervane yarıçapına oranı) ve D/R (hava giriş alanı çapının pervane çapına oranı) giriş parametreleri olarak belirlenmiştir. Yapılan parametrik çalışmalarda elde edilen bulgulardan birkaçı şöyledir; hava giriş alanı çapı debi ve verimde önemli bir etkiye sahiptir, çok küçük veya çok büyük seçilmesi istenmeyen çalkantı bölgeleri yaratmakta ve bu çalkantılar verimi düşürmektedir. Önerilen D/R oranı %86’dır. r/R oranında ise ideal değerin %9 olduğu belirtilmiştir.

Cioccio [8] Had analizleri ile deneysel verilerin karşılaştırılması üzerine bir çalışma gerçekleştirilerek Had analizlerinin akış karakteristiğini anlamada önemli bir araç olduğu savunmuştur. Çalışmada Ansys Fluent isimli ticari yazılım kullanılmış, türbülans modeli Fluent’in güncel versiyonlarında en başarılı türbülans metodu olarak önerdiği k-omega SST modeli seçilmiştir. SST modelinin, duvar bölgelerinde k-epsilon modeli ile, duvardan uzak bölgelerde ise k-omega modeli ile hesaplama yapan karma bir model olduğu ve bu yönü ile en verimli türbülans modeli olduğu yine bu çalışmada aktarılan bilgiler arasındadır. Pervane geometrisi ise 10 adet geriye eğik ve uzunluğu 71,141mm olan kanatlardan oluşmaktadır. Diğer çalışmalar ile benzer olarak hız basınç algoritması SIMPLE, momentum, türbülans kinetik enerji gibi ayrıklaştırma seçimlerinde ise “First Order Upwind” yöntemi tercih edilmiştir. Yapılan Had analizleri ile deneysel sonuçların uygun düzeyde örtüştüğü ve analizin kurgusunun doğru ve gerçekçi olduğu savunulmuştur. Ayrıca yapılan Had analizlerinde kanat geçişlerindeki debi kaybının 1-2% düzeyinde verim kaybına neden olduğu savunulmuştur.

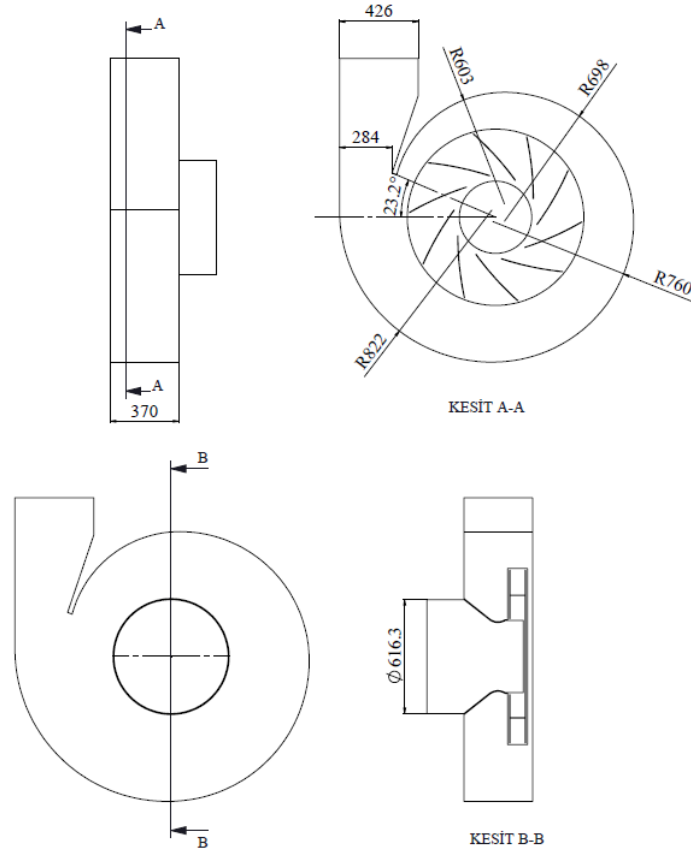
Rosa ve ark. [9] tarafından yapılan çalışmada ise kütleli debisi 0.1205 kg/s devir hızı ise 3550 rpm olan geriye dönük kanat yapısına sahip bir radyal fanın Had analizleri ile verim eğrileri çıkarılmıştır. Rans denklemlerinin kullanıldığı analiz Ansys Cfx isimli ticari yazılım ile gerçekleştirilmiştir. Mesh optimizasyonu için çalışmada, ~783K eleman seçimi uygun bulunmuştur. Giriş koşulu olarak “0” statik basınç, çıkış koşulu olarak ise kütleli debi tanımlanmıştır. Nominal debi değerinin %20-130 aralığında yapılan verim analizlerinde statik basınç değerinin pervane çapı ile orantılı olarak arttığı, aynı çap değeri için kanatların ön yüzeyindeki basınç değerinin arka yüzeydeki basınç değerine göre daha yüksek olduğu belirtilmiştir.

Özellikle son dönemlerde bilgisayar destekli Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yazılımları ile elde edilen sonuçların deneysel veriler ile uyumunda ciddi ilerlemeler kaydedilmiştir. Böylece prototip üretimi için ayrılması gereken zaman ve mali kaynaklardan ciddi tasarruflar elde edilmektedir [10].

Literatürde geriye dönük ve ileri dönük radyal fanlar üzerine birçok çalışma bulunmaktadır. HAD analizlerinde, radyal fanlara ait sınır koşulları, devir sayısı ve akışkan özellikleri gibi tanımlamalar yapılarak çıkış debisi, çıkış basıncı, hız vektörleri, kuvvet ve tork değerleri gibi değerler ve bu değerlerin çeşitli bölgelerdeki dağılım grafikleri elde edilebilmektedir. Yapılan bu çalışmada ise literatürden farklı olarak karma tip kanat yapısının performans verileri incelenmiştir.

II. FİZİKSEL MODEL

Bu çalışmada Church yöntemi ile tasarlanmış pervane yapısı üzerinden Chicago Blower Corporation (CBC) firması tarafından dizayn edilen fan geometrisi kullanılmıştır. Kullanılan fana ait genel ölçüler Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. CBC Firması Fan Geometrisi

Başlangıç tasarımı olarak CBC fanın seçilmesinin nedeni, tasarım girdileri ile deney sonuçlarının uyumu ve literatürde deney sonuçlarına ait verilerin bulunmasıdır. Bu sayede, yapacağımız çalışmadaki analiz sonuçlarının doğruluğu karşılaştırılabilir. Fiziksel model Solidworks v20 software (Dassault Systemes SolidWorks Corp., Waltham, MA, USA) tasarım programında oluşturulmuştur. Akış hacmi yine Solidwork tasarım programında oluşturularak Ansys SpaceClaim

x-momentum:

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (2a)$$

y-momentum:

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + \nu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \quad (2b)$$

z-momentum:

$$u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} + \nu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \quad (2c)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} (\overline{\rho u C_p T}) + \frac{\partial}{\partial y} (\overline{\rho v C_p T}) + \frac{\partial}{\partial z} (\overline{\rho w C_p T}) = \frac{\partial}{\partial x} \left((k_i + k_t) \frac{\partial \overline{T}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left((k_i + k_t) \frac{\partial \overline{T}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left((k_i + k_t) \frac{\partial \overline{T}}{\partial z} \right) \quad (3)$$

Belirtilen eşitliklerde, k_t ; türbülanslı eddy iletkenliği, μ ; eddy viskozitesini, μ_t ; türbülanslı eddy viskozitesini, ρ ; yoğunluğu, T ; sıcaklığı, u ; x yönündeki hız vektörünü, v ; y yönündeki hız vektörünü, c_p ; özgül ısıyı, P ; basıncı temsil etmektedir. Bu çalışmada k-omega SST türbülans modeli kullanılmıştır, k-epsilon ve omega türbülans modellerinin karması olan bu model duvar yüzeylerinde k-omega diğer bölgelerde ise k-epsilon modeli uyguladığından en doğru türbülans modeli olarak önerilmektedir [12]. Eşitlik 4'te k ve w'nin transfer denklemleri gösterilmiştir. β' , α , β , σ_k ve σ_ω değerleri kullanılan çeşitli sabitlerdir [12].

$$\frac{\partial(\rho\omega)}{\partial t} + \nabla(\rho\vec{v}\omega) = \nabla \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\omega} \right) \nabla_\omega \right] + \alpha_k^\omega P_k - \beta \rho \omega^2 + P_{\omega b} \quad (4a)$$

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \nabla(\rho\vec{v}k) = \nabla \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \nabla_k \right] + P_k - B' \rho k \omega + P_{kb} \quad (4b)$$

Sınır Şartları;

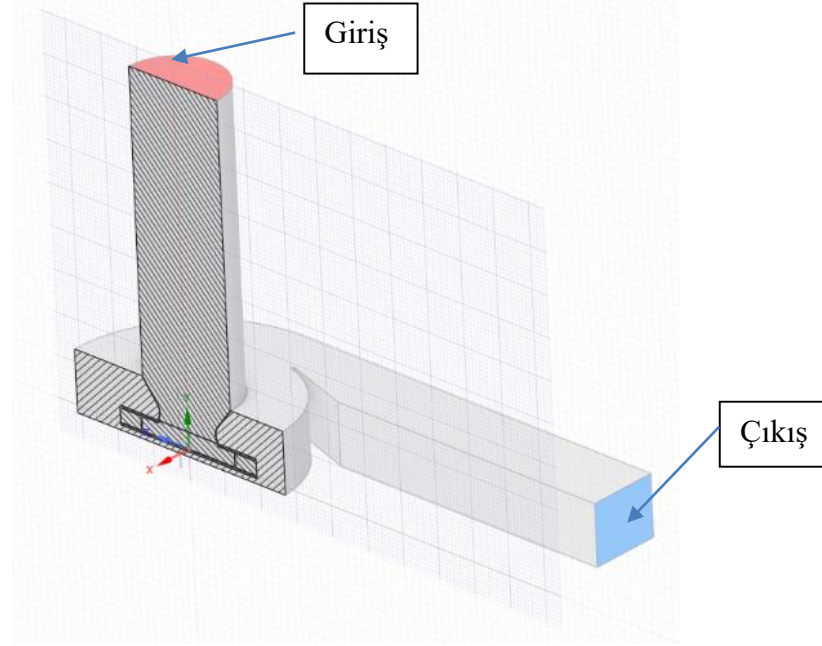
HAD yazılımlarının ayarlar kısmında, kullanılacak olan türbülans yöntemi, sınır şartları, akışkanın tipi gibi özellikler belirlenmelidir, bu bölümde kritik olan tanımlamaların, nasıl yapıldığı açıklanmıştır. Bu kapsamda bazı kabuller ve tanımlamalar aşağıdaki gibidir;

- Sisteminin giriş ve çıkış yükseklik farkları ihmal edilmiştir.
- Girişe 2.54 kg/s kütleli debi ve çıkışa 1 atmosfer basıncı tanımlanmıştır.
- Akışın sürekli ve sıkıştırılmaz olduğu kabul edilmektedir.
- Akışkan hava olarak tanımlanmıştır, giriş ve çıkış hızlarının yoğunluğa etkisi ihmal edilmiştir. Havanın yoğunluğu 1.02 kg/m³ alınmaktadır. Gerçek şartlarda havanın içeriğinde bulunabilecek su buharı gibi bileşenler ihmal edilmektedir.
- Ortam sıcaklığı sabit ve 25°C olarak alınmıştır.
- Fanın devir hızı 2970 rpm olarak girilmiştir.

CFX ve FLUENT gibi HAD yazılımlarında döner hacim tanımlamaları "Frozen Rotor" olarak bilinen yöntem ile tanımlanmaktadır.

Analizler zamandan bağımsız olarak çözülmüştür. Şekil 4'te fanın dönme merkezinden alınan kesit görüntü verilmiştir, akışkanın sisteme girdiği ve çıktığı yüzeyler aynı görselde görülebilmektedir. Fan

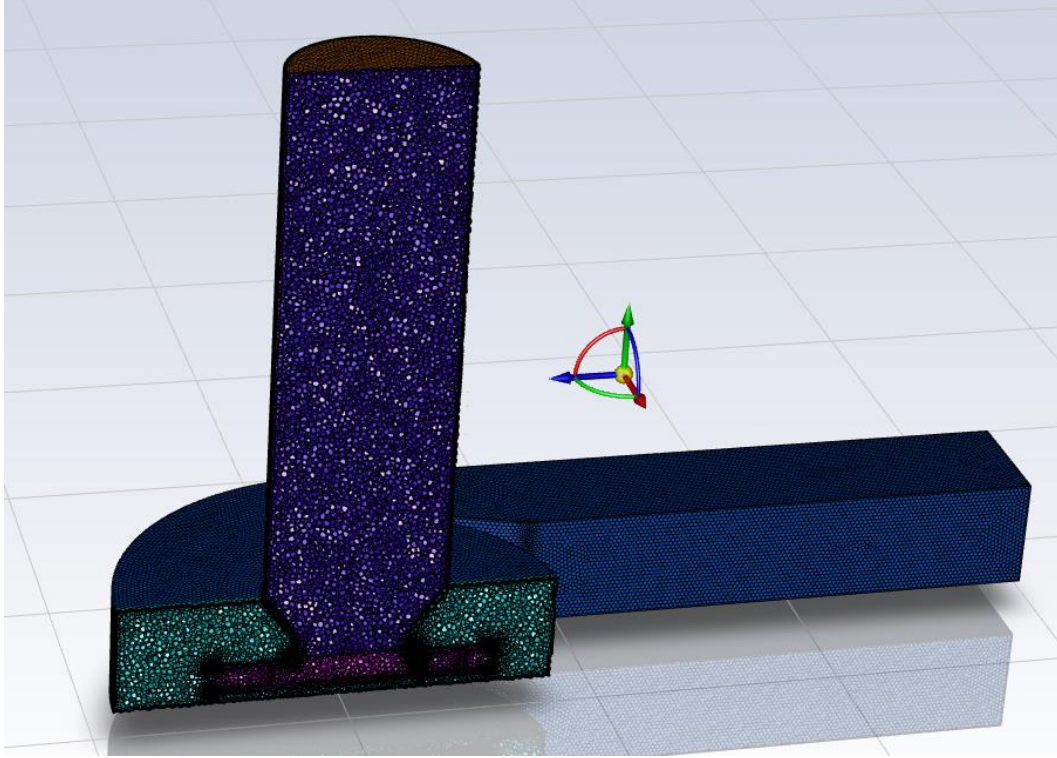
ve akış geometrisi Şekil 4'te verilen CBC fan geometrisi ile birebir referans alınarak oluşturulmuştur. Analiz sonuçlarının deney sonuçları ile uyum içerisinde olması için sınır şartları akademik bir çalışmaya benzer şekilde kurgulanmıştır [13].



Şekil 4. Analiz Geometrisi

IV. MESH OPTİMİZASYONU

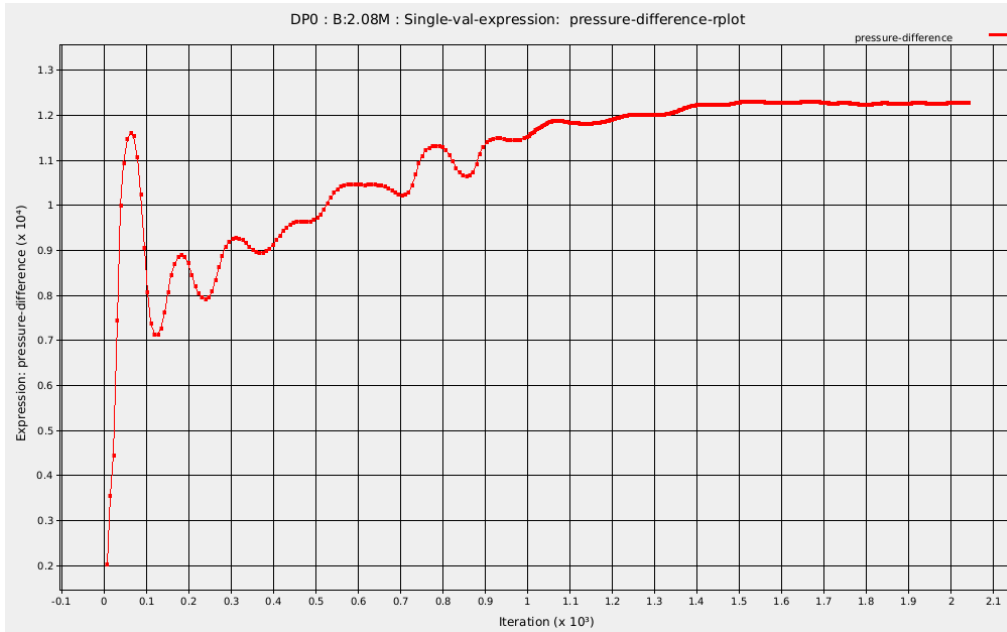
Ansys SpaceClaim 2022R1 yazılımında hazırlanan geometri mesh yapısının oluşturulması için Fluent Meshing 2022 R1 yazılımına aktarılmıştır. Mesh olarak bilinen yapı geometriden transfer edilen hacimlerin hesaplanabilir küçük yapılara bölünmesidir. Bu kısımda önemli olan nokta ise bu küçük hacimlerin ölçülerine karar verilmesidir, çok küçük ölçülerin kullanılması bilgisayar kapasitesini aşırı artıracığından dolayı zaman kaybına ve yakınsamaların uzamasına neden olabileceği gibi çok büyük ölçülerde hacimler kullanmakta sonuçların doğruluğunu azaltacaktır. Bu hataların engellenmesi için bir çıkış parametresi belirlenip farklı eleman sayılarında davranışının incelenmesi gerekmektedir. Bu yöntem “Mesh Optimizasyonu” veya “eleman sayısından bağımsızlık” olarak ifade edilmektedir. Çalışma kapsamında oluşturulan mesh yapısı Şekil 5’de verilmiştir.



Şekil 5. Mesh Yapısı

Bu çalışmada incelenen çıkış parametresi giriş ve çıkış yüzeyleri arasındaki statik basınç farkı olacaktır. Bu değerin değişimi ayrıca çözüm ekranında sayısal olarak incelenerek iterasyon sayısına göre yakınsaması gözlemlenecektir. Böylece gereğinden az veya çok iterasyon yapılması engellenerek optimum iterasyon sayısı belirlenecektir.

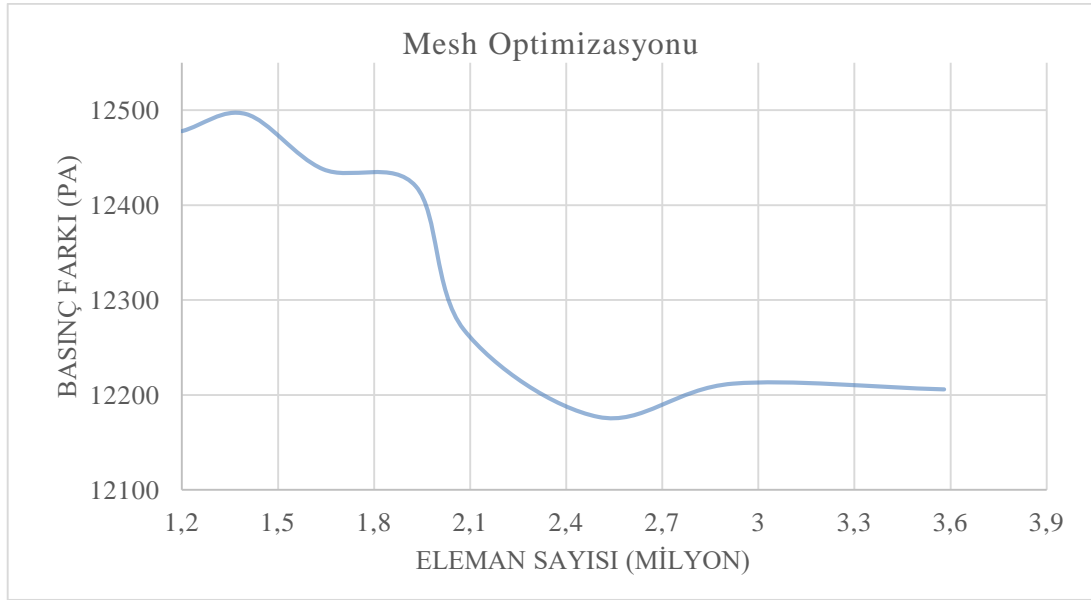
Yakınsama grafiği Şekil 6 incelendiğinde 1500 iterasyondan sonra basınç farkı değerindeki değişimin ihmal edilebilecek düzeye indiği görülmüştür.



Şekil 6. İterasyona Bağlı Basınç Fark Değişim Grafiği

Mesh hazırlığında dikkat edilmesini gereken bir diğer unsur hacmin bölündüğü küçük elemanların geometrik şekillerinin optimize edilmesidir. Geometrik şekillerin uygunluğu HAD yazılımlarında çarpıklık (skewness) olarak ifade edilmektedir ve 0 - 1 arasında bir değer ile ifade edilir. Ansys Fluent programı minimum 0.9 altında değere ulaşılmasını önermektedir [12]. Tüm farklı eleman sayılarında elde edilen skewness değeri 0.9 nin altında olacak şekilde ayarlamalar yapılmıştır. Ansys Fluent Meshing yazılımından alınan maksimum skewness değerinin 0.4351372 olduğu gözlemlenmiştir. Bu skewness değerinin < 0.9 şartını sağladığından dolayı mesh yapısının uygun olduğu söylenebilmektedir.

Eleman sayılarına göre giriş-çıkış statik basınç değerinin değişimi Şekil 7’de gösterilmektedir, bu değerler incelendiğinde 2.9 milyon üzerindeki eleman sayısından sonra basınç farkında dikkate alınabilir bir değişim oluşmadığı görülmektedir. Yapılan diğer analizlerde 2.9 milyon üzerindeki eleman sayısı kullanılmıştır.



Şekil 7. Eleman Sayısına Bağlı Basınç Farkı Değişim Grafiği

V. DENEY VE ANALİZ SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

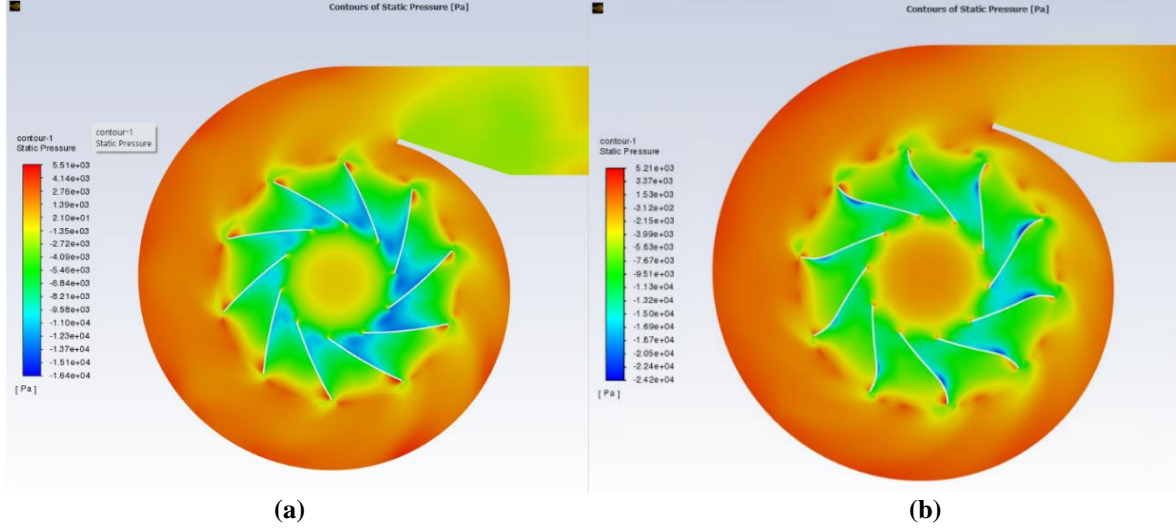
Aynı geometri üzerinde yapılan analiz çalışmasının sonuçları [13] ve bu makale için yapılan analiz çalışmasının sonuçlarının karşılaştırması Tablo 2’de gösterilmiştir. Tablo 2 incelendiğinde yakınsamanın % 96.6 oranında gerçekleştiği görülmüştür. Böylece analiz yönteminin doğruluğu kanıtlanmıştır. Çalışmanın devam eden kısmında aynı analiz yöntemi kullanılacaktır. Benzer çalışmada, analiz ve deneysel sonuçlarının kıyaslanması için, çalışma için seçilen fanın üreticisi tarafından Air Movement and Control Association (AMCA) standartlarına göre yapılan ölçüm sonuçları kullanılmıştır [13]. Bu standart ile yapılan ölçümlerin doğruluğu muadil çalışmalar ile de doğrulanmıştır [14].

Tablo 2. Basınç farkı karşılaştırma tablosu

Bu çalışma basınç farkı (Pa)	Benzer çalışma basınç farkı (Pa)	Fark (%)
12269	12700	3.4

VI. BULGULAR VE TARTIŞMA

Geriye eğik kanat geometrisi karma kanat geometrisine dönüştürülerek analizler gerçekleştirilmiştir. Tablo 2’deki sonuçların elde edildiği mesh yapısı aynen korunarak mesh yapısı kaynaklı fark oluşumu engellenmiştir. Şekil 8’de mevcut kanat yapısı ve A=100 mm, B=25 mm konfigürasyonuna sahip karma kanat yapısının statik basınç görselleri verilmiştir.



Şekil 8. Mevcut Kanat Yapısı Statik Basınç (a) , Yeni Kanat Yapısı Statik Basınç (b)

Bu aşamada her iki kanat tipinin debiye ve basınca olan ilişkisi inceleneceğinden ötürü sınır şartlarındaki giriş debisi yerine “0” toplam basınç tanımlaması yapılacaktır. Devir sayısı ilk analizde olduğu gibi 2790 rpm olarak sabit tutulacaktır.

Tüm konfigürasyonlar için Eşitlik 5’ e göre hidrostatik verim değeri hesaplanmıştır [14].

$$\eta = \frac{Q \cdot P}{T(2\pi N/60)} \quad (5)$$

Eşitlikte, Q; çıkış debisini, P; giriş ve çıkış statik basınç farkını, T; tork değerini, N; devir sayısını ifade etmektedir.

Mevcut kanat yapısının performans verileri Tablo 3’te gösterilmektedir. Karma kanat yapısı ile olan karşılaştırmaları her grafik özelinde yapılacaktır.

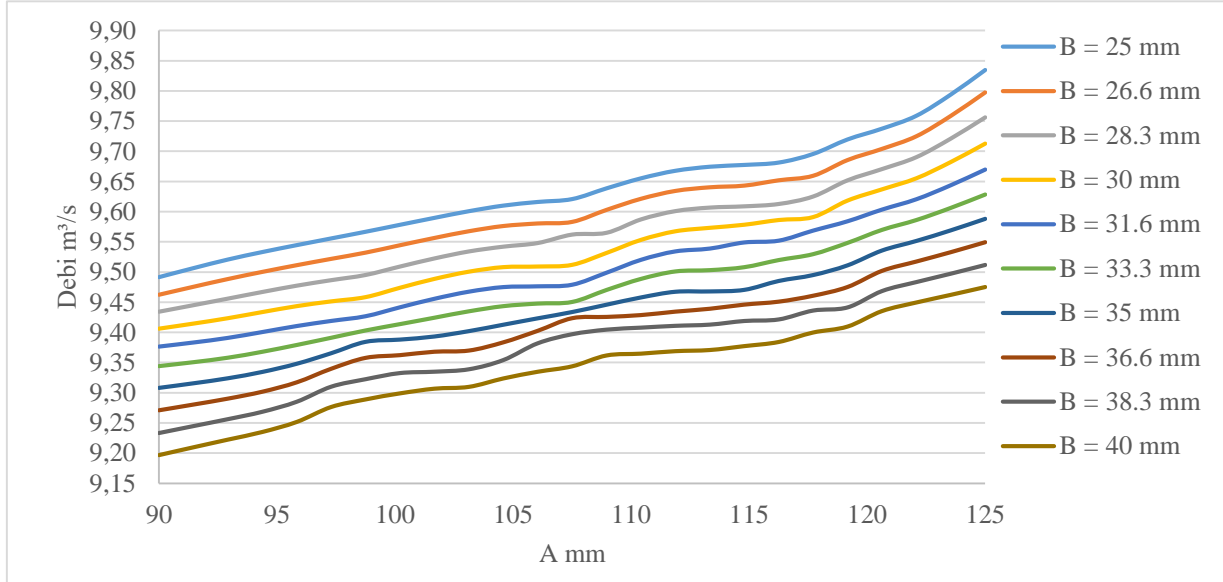
Tablo 3. Mevcut Kanat Yapısı Performans Verileri

Debi (m ³ /s)	Basınç(Pa)	Tork(N.m)	Verim(%)
7.96	419	353	29

Şekil 9’da debi değerinin A ve B ölçüsüne bağlı değişimi görülmektedir. Şekilde görülen bulgular aşağıdaki gibi değerlendirilmiştir.

- Aynı B değeri için A değerinin artışı ile debi değeri artış göstermektedir.
- Aynı A değeri için B değerinin düşüşü ile debi değeri artış göstermektedir.

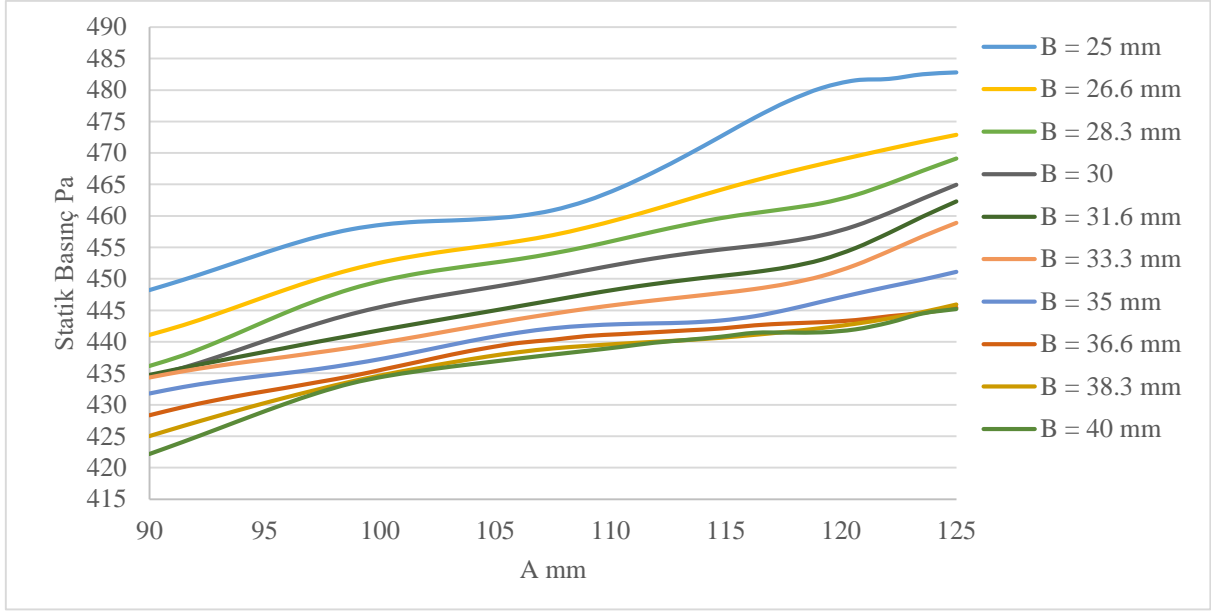
- Seçilen aralıktaki her A ve B değeri için debi mevcut kanat yapısında elde edilen 7.96 m³/s değerinden daha yüksek elde edilmektedir.
- Çalışmanın sonuç kısmında da bahsedileceği üzere bu eğrilerin oluşumunda salyangoz tasarımı önemli bir etkidir, farklı bir salyangoz geometrisinde bu eğrilerin oluşumu da değişiklik gösterecektir. Özellikle salyangoz dil geometrisi performans verileri üzerinde önemli bir etkidir [14].



Şekil 9. A ve B Ölçüsü- Debi Değişim Grafiği

Şekil 10'da giriş ve çıkış bölgesi arasındaki statik basınç fark değerinin A ve B ölçüsüne bağlı olarak değişimi görülmektedir. Bulgular aşağıdaki gibi sıralanmıştır.

- Aynı B değeri için A değerinin artışı ile basınç değeri artış göstermektedir.
- Aynı A değeri için B değerinin düşüşü ile basınç değeri artış göstermektedir.
- B'nin düşük değerlerin de A değerinin artışının basınç üzerindeki olumlu etkisi B'in yüksek değerlerine kıyasla daha fazla olduğu görülmektedir.
- Mevcut kanat yapısındaki statik basınç değeri (419 Pa) A ve B'nin tüm değerlerindeki statik basınç değerine kıyasla daha düşük olduğu görülmektedir. Basınç eğrileri debiye kıyasla daha salınımlı bir form izlemektedir, bunun nedeni Resim 6.1 de de görülebileceği üzere kanat aralıklarındaki türbülanslar dan kaynaklı basınç dalgalanmalarıdır.



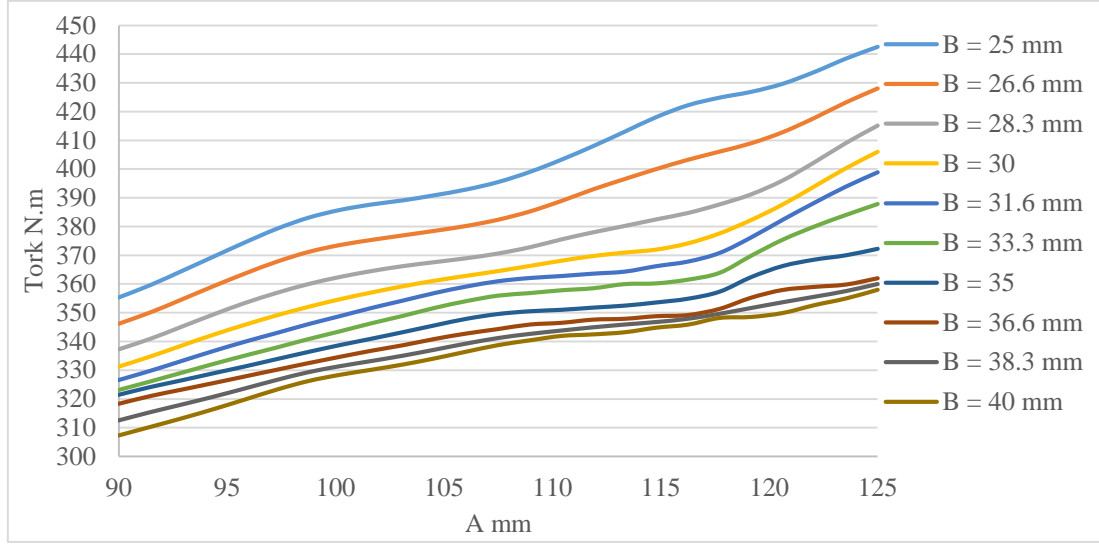
Şekil 10. A ve B Ölçüsü- Statik Basınç Değişim Grafiği

Şekil 11’de tork değerinin A ve B ölçüsüne bağlı değişimi görülmektedir. Sonuçlar aşağıdaki gibi saptanmıştır.

- Aynı B değeri için A değerinin artışı ile tork değeri artış göstermektedir.
- Aynı A değeri için B değerinin düşüşü ile tork değeri artış göstermektedir.
- B’nin düşük değerlerin de A değerinin artışının tork üzerindeki olumlu etkisi B’in yüksek değerlerine kıyasla daha fazla olduğu görülmektedir.
- Mevcut kanat yapısındaki tork değeri (353 N.m) yalnızca B=25 mm deki tüm A değerlerinden daha yüksek çıkmaktadır, diğer A ve B kombinasyonları için kesin bir yorum yapmak mümkün olamamaktadır. Bunun nedeni kanat aralıklarında oluşan statik basınç dalgalanmasının kanat yüzeylerinde de basınç dalgalanması yaratmasıdır. Tablo 4’te mevcut kanat yapısı ve mevcut kanat yapısına kıyasla daha yüksek ve daha düşük tork değerine sahip iki farklı A ve B kombinasyonuna sahip kanat formunun kanat yüzeylerindeki statik basınç ve tork karşılaştırması verilmiştir. Tablo 4 incelendiğinde kanat yüzeylerindeki statik basınç değeri ve tork değeri arasındaki ilişki net olarak görülebilmektedir.

Tablo 4. Kanat yüzeylerindeki statik basınç ve tork ilişkisi

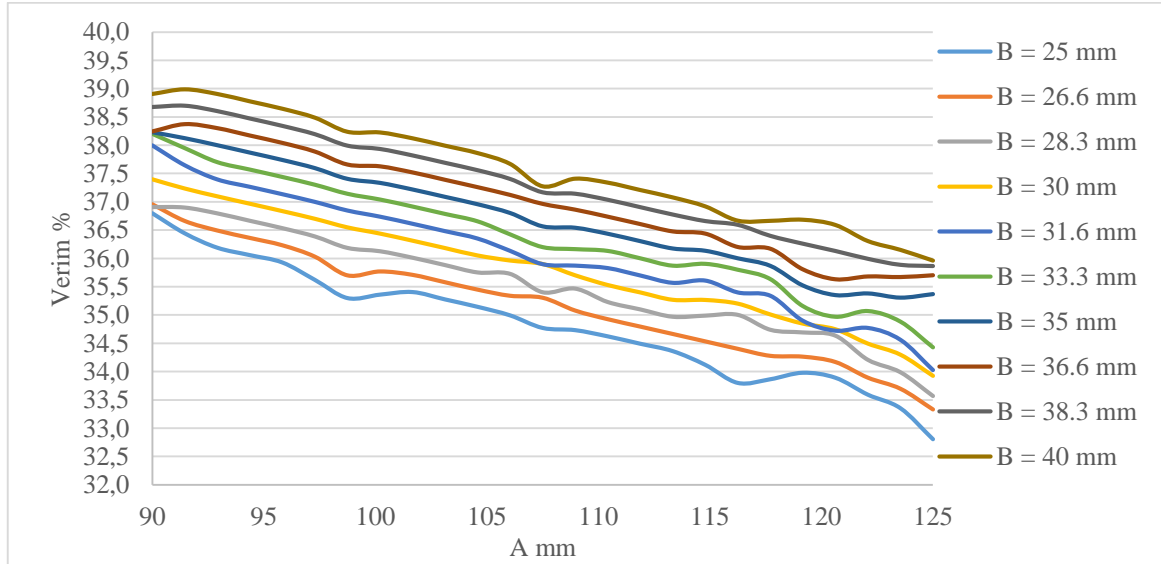
Kanat Formu	Statik Basınç(Pa)	Tork(N.m)
Mevcut Kanat	6129	353
A=90, B=40	5976	305
A=107.5, B=25	7572	391



Şekil 11. A ve B Ölçüsü- Tork Değişim Grafiği

Şekil 12’de verim değerinin A ve B değerine bağlı değişimi görülmektedir. Sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanmıştır.

- Aynı B değeri için A değerinin artışı ile verim değeri düşüş göstermektedir.
- Aynı A değeri için B değerinin artışı ile verim değeri artış göstermektedir.
- Mevcut kanat yapısındaki verim değerine (%29) kıyasla tüm A ve B kombinasyonlarındaki verim değeri daha yüksek bir değer almaktadır, bu artışın ana nedeni debi değerindeki önemli artıştır.
- Örnek olarak mevcut kanat yapısındaki debi değeri 7.96 m³/s iken en düşük debi değerine sahip karma kanat yapısında debi değeri 9.2 m³/s dir, bu artış yaklaşık %15 e karşılık gelmektedir.

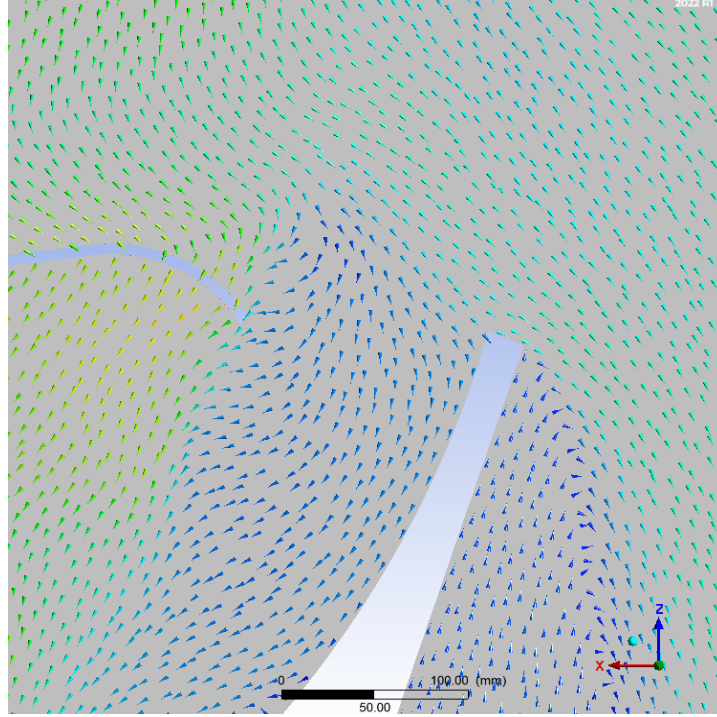


Şekil 12. A ve B Ölçüsü-Verim Değişim Grafiği

VII. SONUÇ

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde karma kanat yapısını oluşturan A ve B değeri konfigürasyonu ile debinin artırılması mümkün olabilmektedir.

Radyal fan çalışmalarından bilindiği üzere kanat formu dışında debi, basınç, verim gibi performans verilerine etkiyen diğer ana faktör salyangoz formu ve bu form üzerinde ise dil yapısı ve konumudur[14], bu çalışmada elde edilen veriler ve kanat formu üzerindeki parametrik sonuçların salyangoz formu sabit tutularak elde edildiği unutulmamalıdır. Salyangoz formu üzerinde yapılacak bir değişiklik elde edilen parametrik sonuçları değiştirecektir. Örnek olarak Şekil 13'te $A=90$, $B=40$ konfigürasyonuna ait kanat yapısının salyangoz dil yapısı ile oluşturduğu akış etkileşimi görülebilmektedir.



Şekil 13. $A=90$, $B=40$ Konfigürasyonuna Ait Akış Çizgileri

VIII. KAYNAKLAR

- [1] F.P. Bleier, *Fan handbook: selection, application and design*, McGraw- Hill, 1998.
- [2] N. Montazerin, A. Damangir, and H. Mirzaie, "Inlet induced flow in squirrel-cage fans," *Journal of Power and Energy*, vol. 214, pp. 243–253, 2000.
- [3] W.W. Peng, *Fundamentals of turbomachinery*, John Wiley & Sons, 2007.
- [4] T. Adachi, N. Sugita and Y. Yamada, "Study on the Performance of a Sirocco Fan (Optimum Design of Blade Shape)," *International Journal of Rotating Machinery*, vol. 7 (6), pp. 405-414, 2001.
- [5] S. Lin, and C. Huang, "An Integrated Experimental and Numerical Study of Forward-Curved Centrifugal Fan," *Experimental Thermal and Fluid Science*, vol. 26, pp. 421-434, 2002.
- [6] Y. Jung, and J. Bake, "A Numerical Study on the Unsteady Flow Behavior and Performance of an Automotive Sirocco Fan," *Journal of Mechanical Science and Technology*, vol. 22, pp. 1889-1895, 2008.
- [7] P. Son, J. Kim, S. M. Byun, and E. Y.Ahn, "Effects of Inlet Radius and Bell Mouth Radius on Flow Rate and Sound Quality of Centrifugal Blower," *Journal of Mechanical Science and Technology*,

vol. 26, (5), pp. 1531-1538, 2012.

[8] Dom Di. Cioccio, "Methodology for a Numerical Analysis of the Aerodynamic Performance of a Centrifugal Fan Trough Computational Fluid Dynamics (CFD)," *25th ABCM International Congress of Mechanical Engineering (COBEM 2019)*, Berlin, 2015.

[9] O. P. Singh, R. Khilwani, T. Sreenivasulu and M. Kannan, "Parametric Study of Centrifugal Fan Performance : Experiments and Numerical Simulation," *International Journal of Advances in Engineering & Technology*, vol. 1, pp. 33-50, 2011.

[10] Y., Ozbakis, and F. Erzincanli, "Air Flow Control Valve Development with Reinforced Operating Parameters," *Surface Review and Letters*, vol. 28(12), 2150124, 2021.

[11] A. Whitfield and N. C. Baines, "Design of Radial Turbomachines," *Longman Scientific & Technical Publications*, pp. 414, England, 1990.

[12] Ansys Fluent Theory Guide, (2013). vol. 15.0

[13] A. Ö. Korcan, "Bir Endüstriyel Fan Tasarımı ve Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği ile Analizi," *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, vol. 13, pp. 348-363, 2020.

[14] J. Cai, D. Qi, F. Lu, and X. Wen, "Study of tonal fan noise reduction by modification of the volute cutoff," *ACTA Acustica united with Acustica*, vol. 96, pp. 1115-1124, 2010.

[15] O. Hancerli, "Radyal fan performansına etki eden parametrelerin sayısal olarak incelenmesi," *Hitit Üniversitesi, 2019*.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Optik Spektrum Analizörü Kontrolü ve Ölçüm Doğruluğunun Artırılması

 Murat YÜCEL ^{a,*},  Zühal ASLAN AKYOL ^b

^a Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Ankara, TÜRKİYE

^b Bilişim Sistemleri Anabilim Dalı, Bilişim Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, TÜRKİYE
Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Cide Rifat Ilgaz Meslek Yüksekokulu, Kastamonu Üniversitesi, Kastamonu, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: muyucel@gazi.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1142381

Öz

Optik spektrum analizörü (OSA), fiber optik sistemlerde verilen bir giriş sinyalinin sistem çıkışında büyüklüğünü ve gücünü frekans aralıklarına göre ölçer ve sonuçları grafiksel olarak gösterirler. Ancak OSA'lardan ölçüm alınırken manuel ölçümlerde anlık güç değişiminden dolayı ölçüm doğruluğunda hatalar oluşmaktadır. Bu nedenle ölçüm doğruluğunu sağlamak için çok sayıda ölçüm alınarak ortalama alınması doğruluğu artıracaktır. Bu çalışmada Matlab App Designer ile OSA bilgisayar üzerinden kontrol edilebilmekte ve ölçüm sonuçları istenilen şekilde çıktı olarak alınabilmektedir. Bu platform kullanılarak gerçek OSA ekranı oluşturulmuş ve uzaktan kontrol edilebilir hale getirilmiştir. Kullanıcının art arda aldığı ölçümlerin sonucu bir excel dosyasında kaydedilebilmektedir. Bu sayede kaydedilen tüm ölçümlerin ortalaması alınarak yapılan ölçümde en doğru sonuca ulaşılabilmektedir. Geliştirilen yazılımla fiber optik sistemlerde deneysel çalışmalar yapılırken kullanılan cihazların yazılımlar üzerinden erişilerek daha kolay kullanım sağlanabilmesi ve ölçüm doğruluğunun artırılması amaçlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Matlab, App designer, Optik spektrum analizörü

Optical Spectrum Analyzer Control and Increasing Measurement Accuracy

ABSTRACT

Optical spectrum analyzer (OSA) measures the magnitude and power of a given input signal at the system output in fiber optic systems according to frequency ranges and displays the results graphically. However, while taking measurements from OSAs, errors occur in measurement accuracy due to instantaneous power changes in manual measurements. For this reason, taking the average of many measurements to ensure measurement accuracy will increase the accuracy. In this study, the OSA can be controlled over the computer with Matlab App Designer and the measurement results can be output as desired. Using this platform, the real OSA screen was created and made remotely controllable. The result of the successive measurements taken by the user can be saved in an excel file. In this way, the most accurate result can be achieved in the measurement made by taking the average of all recorded measurements. With the developed software, it is aimed to provide easier use of the devices used during experimental studies in fiber optic systems by accessing them via software and to increase the measurement accuracy.

Keywords: Matlab, App designer, Optical spectrum analyzer

I. GİRİŞ

Optik spektrum analizörleri (OSA) ile optik güç, dalgaboyu ve gürültü şekli ölçümleri yapılabilmektedir. Fiber optik laboratuvarların en önemli ölçü aleti olan OSA'lar deneysel ölçümlerin doğruluğunda ise kritik bir yer tutmaktadır. Özellikle optik güç ve gürültü şekli ölçümlerinde çıkış spektrumundaki dalgalanma nedeni ile sabit bir değer okunamamaktadır. Bu nedenle manuel ölçümlerde gözle ölçüm yapılarak görülen bir değer rastgele yazılmaktadır. Bu nedenle ölçüm doğruluğunda hatalar meydana gelmektedir. OSA'ların yazılımsal kontrolleri ve ölçüm sonuçlarının bu yazılım ile bilgisayar ortamına aktarılması ölçüm doğruluğunun artırılması için büyük önem taşımaktadır. Bu yazılımlar çeşitli programlama dillerinde geliştirilebilir. Bu çalışmada Matlab App Designer arayüzü kullanılmıştır.

Matlab, bilgisayar ortamında verileri analiz etmek, algoritmalar geliştirmek ve modeller oluşturmak için geliştirilmiş etkileşimli bir paket programlama dilidir. Gelişmiş yapısı ile çok çekirdekli masaüstü bilgisayarlar üzerinde grafik işlemciler ve bulut yapılar üzerinde paralel hesaplamalar yapılabilir ve simülasyonlar gerçekleştirilebilir. Büyük veri programlamalarında yetersiz bellek tekniklerinin aşılmasını sağlar. Matlab Engine API'ler aracılığı ile C/C++, Fortran, Python, Java, bazı bileşenler ile Visual C# .Net ve Visual Basic .Net gibi programlama dillerinde Matlab komutlarının yürütülmesi sağlanabilir. Çeşitli donanımların kontrolleri sağlanabilir, web ve masaüstü program dağıtımları yapılabilir. Özellikle son sürümlerinde istikrarlı halde kullanımda olan, veri bilimi, derin öğrenme, makine öğrenmesi, hesaplamalı biyoloji, otonom sistem tasarımları, sinyal işleme, görüntü işleme ve bilgisayarla görme gibi birçok alanda çalışmalar yapılabilmektedir. [1,2]

Matlab App Designer ortamının istikrarlı hale gelmesiyle birlikte, bu alanda yapılan çalışmalar artmaya başlamıştır [3-17]. Yapılan çalışmaların genel olarak kontrol veya simülasyon amaçlı tasarlandığı görülmektedir.

Valle ve arkadaşları (2017) çalışmalarında Matlab App Designer ortamı kullanarak bir elektrikli araç izleme sistemi gerçekleştirmişlerdir [3].

Kerem ve Saygın (2019), çalışmalarında rüzgarın hız ve güç parametrelerinin değişimini izleyebilmek için Matlab App Designer ortamında yapay zeka algoritmalarını kullanarak bir tahmin uygulaması yapmıştır [4].

Langelaar ve arkadaşları (2019) çalışmalarında, Matlab App Designer kullanılarak gerçek zamanlı ses ekolayzır uygulaması geliştirmişlerdir [5].

Karaş (2019), tez çalışmasında Matlab App Designer platformunda öngörü işlevli kontrol yöntemi için uygulama tasarlamıştır [6].

Kumar (2020), tez çalışmasında Matlab App Designer tabanlı, kapasitif çıkış filtreli çok elemanlı rezonans dönüştürücünün zaman alanında modellenmesini gerçekleştirmiştir [7].

Macri ve arkadaşları (2020), çalışmalarında, Matlab'ın App Designer geliştirici ortamını kullanarak cYield adlı bir uygulama geliştirmişlerdir. Bu uygulamada Warren-Spring denkleminin en uygun parametrelerini programlı olarak tahmin etmek için bir prosedür geliştirmişlerdir [8].

Bakosova ve arkadaşları (2020), çalışmalarında düğümlerle birbirine bağlanan kafes kiriş yapıları için sonlu elemanlar yöntemi kullanarak düzlemsel kafes yapılarının hesaplanması için Matlab App Designer ortamında bir uygulama yapmışlardır [9].

Fernandez ve arkadaşları (2020), çalışmalarında lisans öğrencilerinin optik iletişim çalışmalarında kullanabilmeleri için mikrodalga fotonik filtrenin frekans yanıtını hesaplamak için Matlab App Designer tabanlı bir simülasyon tasarlamışlardır [10].

Xiao ve arkadaşları (2020), çalışmalarında cilt görüntülerini analiz etmek için makine öğrenme algoritmalarını kullanarak Matlab App Designer platformu üzerinde bir araç geliştirmişlerdir [11].

Bilal ve arkadaşları (2021), çalışmalarında uçak kanadının temel yapısal elemanlarının eğilme ve burkulma sertliği ve yük taşıyan yapısal elemanların boyutlandırılması için bir uygulama tasarlamışlardır [12].

Khan ve arkadaşları (2022) çalışmalarında harmonik tahmin kurulumu için Matlab App Designer ortamında bir prototip modelinin grafik kullanıcı arayüz tasarımı yapmışlardır [13].

Kadar ve Arkadaşları (2022) mobil bir robot tasarımı önermişlerdir ve robotun Matlab'da gerçekleştirilen dinamik davranışı ve hareket sürecinin Matlab App Designer ortamında gerçekleştirilen simülasyon sonuçlarını sunmuşlardır [14].

Su ve arkadaşları (2022) çalışmalarında fizikte teorik ve soyut olan mekanik dalga ders içeriğini görsel öğretim yapmak amacıyla Matlab App Designer ortamında uygulama tasarlamışlardır [15].

Yu ve arkadaşları (2022) dikdörtgen açıklık kırınımı, Newton halkası ve ızgara kırınımı ayrıntılı açıklamak için optik deney sanal simülasyon sistemi tasarlamış ve geliştirmişlerdir [16].

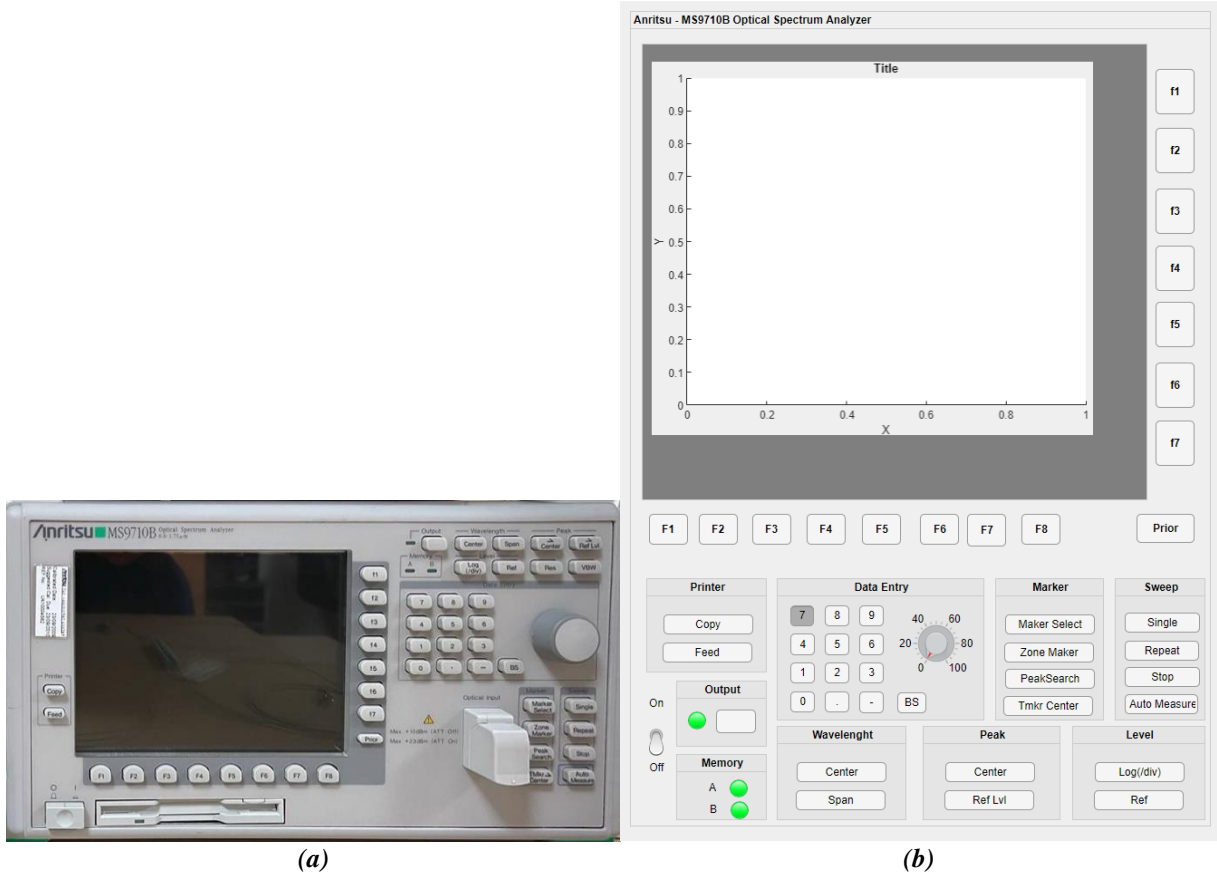
Migranov ve Dobroskok (2022) çalışmalarında, öğrencileri voltaj kaynağı inverterleri için voltaj üretme algoritmaları çalışmalarında desteklemek için Matlab App Designer ortamında sanal bir eğitim laboratuvarı kurmaya yönelik bir yaklaşım önermişlerdir [17].

Aslan ve Yücel (2021) yapmış oldukları çalışmada, Matlab tasarım platformları karşılaştırılmış ve App Designer ortamında ayarlanabilir lazer kaynağı (TSL-210V) kontrol edilmiştir [18].

Bu çalışmada ise bir fiber sistemin ölçüm sonuçlarını alabilmek için optik spektrum analizörü (OSA) kontrolü gerçekleştirilmiştir. 2. Bölümde ise optik spektrum analizörüne ait Matlab App Designer ortamında tasarlanan ve cihazın kontrolü sağlanan yazılıma dair detaylara yer verilmiştir. Son bölümde ise sonuçlar tartışılmıştır.

II. OPTİK SPEKTRUM ANALİZÖRÜ KONTROLÜ VE TEST SONUÇLARI

Optik spektrum analizörü (OSA) verilen bir giriş sinyalinin büyüklüğünü cihazın frekans aralığına göre ölçmek için kullanılan bir elektronik cihazdır. Literatürde OSA cihaz kontrolü olarak çok fazla çalışmaya rastlanmamıştır. Sveikata ve Noreika (2005), çalışmalarında kişisel bir bilgisayar ile ana ölçüm cihazları olan optik multimetre ve OSA arasında iletişimi sağlamak için Labview kullanılarak bir ara yüz tasarlamışlardır [19]. Bu çalışmada OSA'nın sadece merkez dalga boyu okuma, tek spektrum ölçümü, otomatik ölçüm, çözünürlük değişimi, analizörü sıfırlama, spektrum bandını değiştirme ve cihaz seçimi kontrolü yapılmıştır. Akçeşme ve arkadaşları (2021) çalışmalarında ise .NET ortamında ayarlanabilir lazer kaynağını ve OSA'yı kısmi olarak kontrol etmişlerdir [20]. Arayüz tasarımında cihaz kullanımı net olarak yansıtılmamış ve komut tabanlı bir kontrol sağlanmıştır. Önerilen sistemin ise bu çalışmadan en büyük farkı cihazın gerçek görüntüsüne yakın tasarım ve kontrol şekli sunmaktadır. Şekil 1'de cihazın laboratuvar ortamındaki gerçek görüntüsü ve arayüz tasarımındaki görüntüsü verilmiştir.



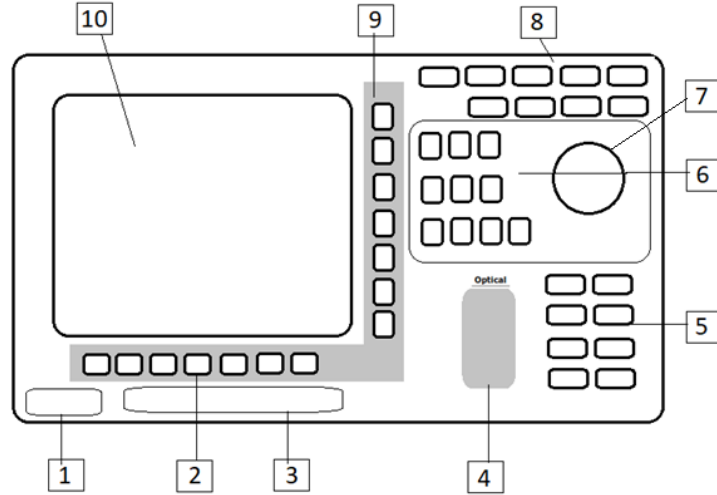
Şekil 1. Optik Spektrum Analizörü (a) Gerçek görüntüsü (b) Arayüz tasarımı görüntüsü

Cihaz elektronik bir arayüz (GPIB, RS-232, Ethernet) üzerinden tam kontrol edilebilir. Laboratuvar ortamında bulunan OSA cihazı, ise RS-232 ara yüzü ile USB dönüştürücü sayesinde TSL cihazında olduğu gibi seri bağlantı olarak kontrolü sağlanmıştır. Bu bağlantı Şekil 2 'de görülmektedir.



Şekil 2. RS-232 ile USB dönüştürücü ile seri bağlantı

Şekil 3'te ise cihazın ön panelinde yer alan tuşların görevleri verilmiştir [21]. Burada 1 numara açma/kapama anahtarını, 2, 8 ve 9 numara işlem seçim klavyelerini, 3 numara disket sürücüyü, 4 numara optik girişi, 5 numara işlem seçim klavyesini, 6 numara sayısal klavyeyi, 7 numara turneri ve 10 numara ekranı göstermektedir.



Şekil 3. OSA ön panel görüntüsü

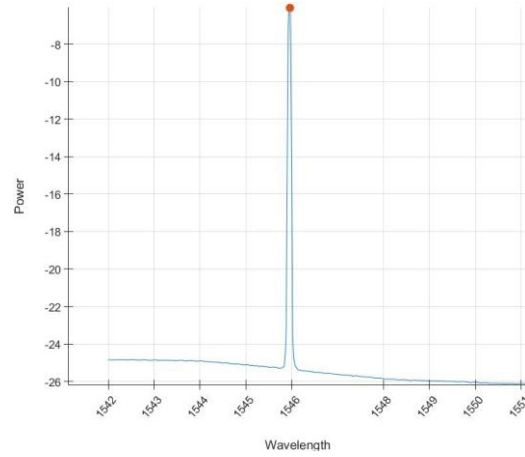
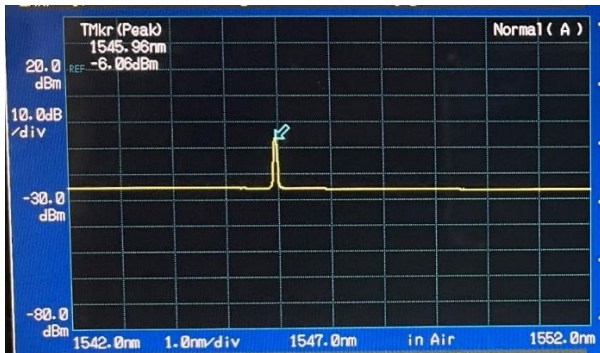
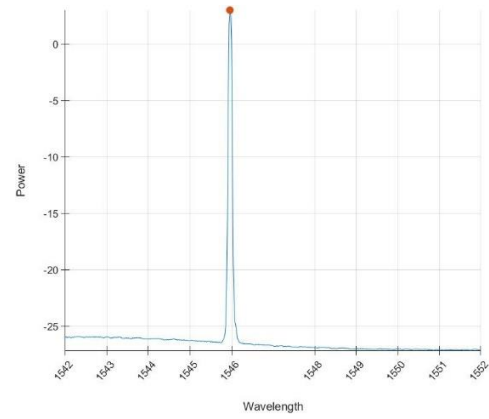
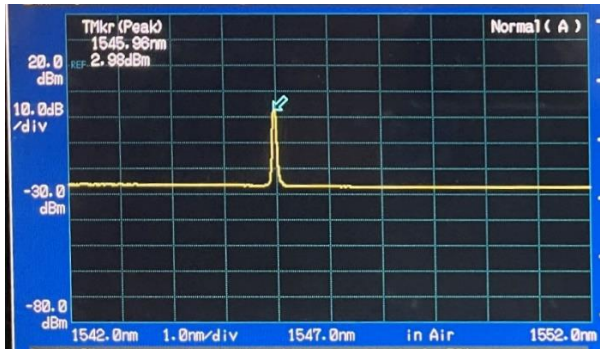
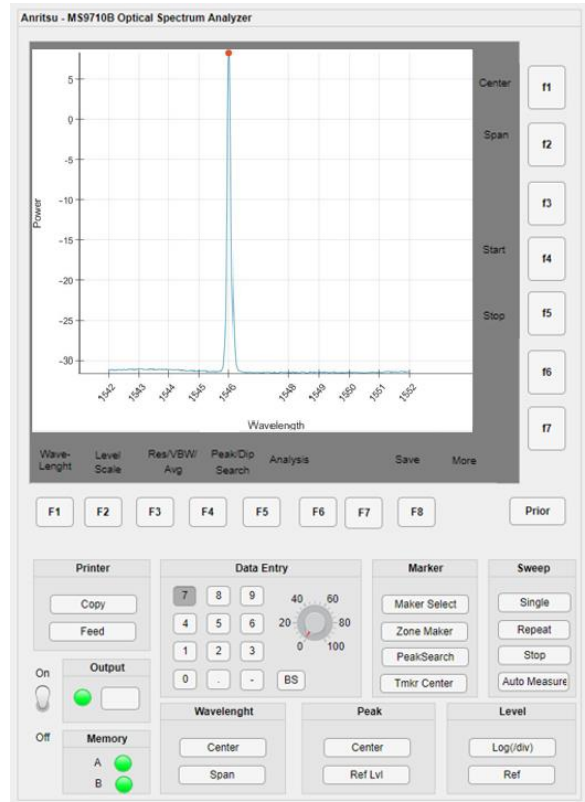
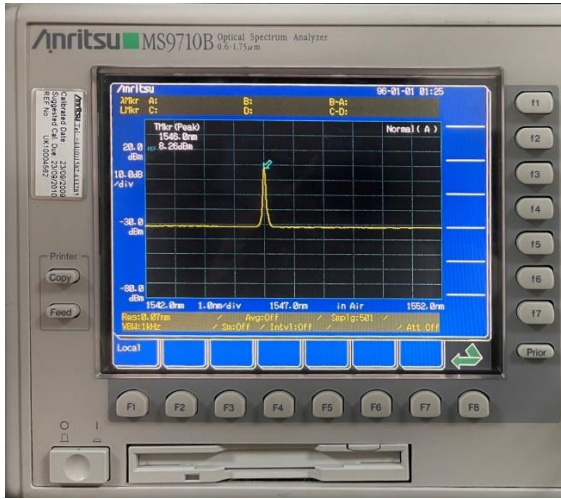
Cihaza ait kontrol komutları Tablo 1’de verilmiştir [21]. İşaretili (*) olan komutlar kullanılarak arayüz aracılığıyla cihaza gönderilerek cihaz üzerindeki kontroller gerçekleştirilmiştir. Cihazda kendi, fonksiyon komutları ile kontrolü olan fakat yazılımlar üzerinden cihazdan okunan veriler ile kontrolünün daha kolay yapıldığı durumlar vardır. Örneğin cihaz grafik görüntüsünü bir disket aracılığıyla kullanıcıya görüntü olarak sunabilmektedir. Bu görüntüyü kaydederken başlık, tarih/saat, görüntü rengi gibi özellikler cihaz fonksiyonları tek tek ayarlanabilmekte ve disket sürücüyü o şekilde kaydedilebilmektedir. Fakat disket sürücüleri günümüz bilgisayarlarında kullanılmadığından, görüntüleri dijital ortamda kaydının yapılması daha çok kolaylık sağlamaktadır. Bu yüzden Tablo 1’de yer alan Title, Time & Date ve Printor başlıkları altında yer alan komutlar cihazın fonksiyon komutları yerine Matlab App Designer ortamında tasarlanan ara yüz üzerinden yazılım aracılığı ile kontrol edilmiştir. Şekil 4’te, yapılan yazılım aracılığıyla alınan OSA ölçüm sonucu görünümü ve örnek ölçüm çıktıları verilmiştir.

Tablo 1. OSA Kontrol Komutları

Komut Parametresi	Fonksiyon	Komut Parametresi	Fonksiyon
Wavelength		Analysis	
CNT	Center	* ANA ENV	Envelop *
SPN	Span	* ANA RMS	RMS *
STA	Start	* ANA NDB	ndB-Loss *
STO	Stop	* ANA THR	Threshold *
PKC	Peal-> Center	* ANA SMSR	SMRS *
LVS	Level Scale	* ANA OFF	Analysis Off *
LOG 1	Log (/div)	Analysis Result	
RLV L	Ref Level	* ANAR	Envelop Threshold RMS *
LLV 1	Linear	* ANAR	ndB-Loss *
PKL	Peak->Level	* ANAR	SMRS *
RES	Resolution	Display Mode	
AVT	Point Avg	* DMD NRM	Normal *
SMT	Smooth	* DMD	3D *
Sweep		* DMD NRMZ	Normalize *
SSI	Single	* MSL	Memory Select *

Tablo 2 (devam). OSA Kontrol Komutları

SRT	Repeat	*	TSL	Trace Select	*
SST	Stop	*	DMA DMB	d+Terminatör	*
AUT	Auto Measure	*	DQA DQB	d+Seperatör	Memory Data
MOD	Measure Mode	*	DBA DBB	Binary	*
SPC	Spectrum	*	PWR	Power Monitör	
TMK	Trace Marker	*	PWRR	Power Monitör Value	
MKA MKB	Wavelenght Marker	*	Printor		
MKC MKD	Level Marker	*	CPY	Copy	
EMK	Marker Off	*	FED	Feed	
PKS	Peak Search	*	TRM	Terminater	
Title			HEAD ON HEAD OFF	Header	
TTL	Title		ERR	Error	
TER	Title Erase		ESR1 ESR2 ESR3	Extended Event Status Register	
Time&Date Set			ESE1 ESE2 ESE3	Extended Event Status Enable Register	
DATE	Date		BUZ	Buzzer On/Off	
TIME	Time				
LCD	Display Color				



Şekil 4. OSA ölçüm sonucu çıkış grafikleri

III. SONUC ve TARTIŞMA

Matlab App Designer ortamının sunduğu görsel tasarımın gerçeğe uygunluğu, tasarlanan arayüzlerin daha kullanıcı dostu olması, farklı amaçlar kapsamında kullanım sunması gibi avantajları düşünüldüğünde birçok çalışma alanında özellikle son yıllarda kullanıma sıklığının arttığı görülmektedir. Literatürde OSA kontrolünü Sveikata ve Noreika (2005) Labview kullanılarak simülasyon şeklinde ve Akçeşme ve arkadaşları (2021) çalışmalarında ise .NET ortamında kısmi kontrol sağlamışlardır. Yapılan çalışmayı diğer çalışmalardan ayıran en önemli özelliği, cihazın görüntüsüne en benzer şekilde tasarlanan bir yazılım üzerinden kontrolünü sağlaması ve değerleri kaydedebilmesidir.

Aslan ve Yücel (2021)' in çalışmalarında yaptığı ayarlanabilir lazer kaynağı kontrolü ve bu çalışmada yapılan OSA kontrolü göstermektedir ki fiber optik sistemler için kullanılan cihazların Matlab App Designer ortamında kontrolü kolaylıkla sağlanabilir. Ayrıca kullanıcılara kişisel bilgisayarları üzerinden kolaylıkla verilerin elde edilmesini de sağlamaktadır. Daha da önemlisi, tek bir ölçüm yerine 256, 512, vb. istenilen sayıda ölçüm alınarak ölçüm doğruluğu artırılabilir. Yapılan çalışmada gerçek zamanlı olarak tüm OSA sonuçları tasarım ekranına alınabilmektedir. "Repeat" fonksiyonu ile art arda ölçüm sonuçları alınarak, bu ölçümlerin giriş ve çıkış sonuçları bir excel dosyasına kaydedilmektedir. Ölçüm sonuçlarının daha kararlı hale gelebilmesi için alınacak ölçümlerin tekrar sürelerini kullanıcı değiştirebilir haldedir. Ayrıca excelde tutulan her bir sonuç kullanıcının belirleyeceği sayıda excel dosyasında tutulabilir ve kullanıcı bu değerler üzerinde ortalama olarak ölçüm doğruluğunu arttırabilir. Ayrıca otomatik deney kurulumlarında da OSA kontrolü büyük önem taşımaktadır.

IV. KAYNAKLAR

- [1] Matlab Capabilities. (2023, July 11) [Online]. Available: <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>
- [2] Matlab Solutions – Applications. (2023, July 11) [Online]. Available: <https://www.mathworks.com/solutions.html#applications>
- [3] Valle, J. M. G., García, J. C. C. and Cadaval., E. R., "Electric vehicle monitoring system by using MATLAB/App Designer", *2017 International Young Engineers Forum (YEF-ECE)*, 2017, pp. 65-68.
- [4] Kerem, A. and Saygin, A., "Scenario-based wind speed estimation using a new hybrid metaheuristic model: Particle swarm optimization and radial movement optimization", *Measurement and Control*, vol. 52 no. 5-6, pp. 493-508, 2019.
- [5] Langelaar, J., Strömme Mattsson, A. and Natvig, F. (2019, Jun). *Development of real time audio equalizer application using Matlab App Designer*. [Online]. Available: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1334188/FULLTEXT02>
- [6] Karaş, N., "Öngörülü İşlevli Kontrol ve Matlab'de Uygulama Tasarımı", Yüksek Lisans Tezi, Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2019.
- [7] Kumar, A., "A Time- Domain Modeling Of Multi- Element Resonant Converter With Capacitive Output Filter", Master Thesis, Department of Electrical & Computer Engineering, Queen's University, Kingston, Ontario, Canada, 2020.

- [8] Macri, D., Chirone, R., Salehi, H., Sofia, D., Materazzi, M., Barletta, D., Lettieri, P. and Poletto, M., “Characterization Of The Bulk Flow Properties Of Industrial Powders From Shear Tests”, *Processes Article*, vol. 8, no. 5:540, 2020.
- [9] Bakosova, A., Krmela, J. and Handrik, M., “Computing Of Truss Structure Using Matlab”, *Manufacturing Technology*, vol. 20, no. 3, pp. 279-285, 2020.
- [10] Fernandez, S. Garcia-Juarez, A., Zaldivar- Huerta, I.E. and Abril-Garcia, J.H., “Matlab APP Designer Tool To Study a Microwave Photonic Filter That Integrates Analog and Digital Modulation Formats”, *Optik - International Journal for Light and Electron Optics*, vol. 202, no.163589, 2020.
- [11] Xiao, P., Zhang, X., Pan, W., Ou, X., Bontozoglou, C., Chirikhina, E. and Chen, D., “The Development Of a Skin Image Analysis Tool by Using Machine Learning Algorithms”, *Cosmetics Article*, vol. 7, no. 67, 2020.
- [12] Bilal, A., Siddiqui, F., Abbas, M., and Mansoor, M., “Aircraft wing structural design application in MATLAB App Designer”, *Computer Methods in Materials Science*, vol. 21, no. 4, pp. 193–202, 2021.
- [13] Khan, Z., Karim, K. and Mansoor, M., “Design Of A Prototype Model For Harmonics Estimation Of Real-Time Current/Voltage Waveforms By Using Matlab App Designer At Laboratory Level”, *Mdsric Publication*, University Of Wah, Pakistan, 2022.
- [14] Kadar, F. and Tătar, M., “Design And Simulation Of A Spherical Mobile Robot”, *Acta Technica Napocensis - Series: Applied Mathematics, Mechanics, And ENGINEERING*, vol. 65, no. 1, 2022.
- [15] Su, Y., Song, J. and Yu, Y., “Application of Matlab APP Designer in Visual Teaching of Mechanical Wave in College Physics”, *The Theory and Practice of Innovation and Entrepreneurship*, vol. 5, no. 2, pp. 25-27, 2022.
- [16] Yu, X., Wang, M. and Zhao, J., “Design and Realization of Optical Experiment Virtual Simulation System Based on MATLAB App Designer”, *Experiment Science and Technology*, vol. 20, no. 1, pp. 45-50, 2022.
- [17] Migranov, R. M. and Dobroskok, N. A., “Creating a Virtual Semiconductor Inverter Laboratory with Matlab App Designer”, *2022 Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (ElConRus)*, 2022, pp. 772-775.
- [18] Aslan Akyol, Z. and Yucel, M., “Matlab design platforms and a sample application: Control of tunable laser source”, *International Asian Congress on Contemporary Sciences – V*, 2021, pp. 1112-1123.
- [19] Sveikata, J. and Noreika, A., “Program control of optical spectrum analyzer”, *27th International Conference on Information Technology Interfaces*, 2005, pp. 491-494.
- [20] Akçeşme Ö., Yücel M. and Burunkaya M., “The design and implementation of a software based gain control for EDFAs used in long-haul optical networks”, *Optik*, vol. 239, no. 166850, 2021.
- [21] MS9710B Optical Spectrum Analyzer Remote Control Operation Manual (5th ed.) [Online]. (2023, July 11) Available: https://dl.cdn-anritsu.com/en-au/test-measurement/files/Manuals/Operation-Manual/MS9710B_W1284AE_remote_opm_e_5_0.pdf



Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

Effect of Polypropylene Fiber Type, Content and Length on Mechanical Performance of Rigid Polyurethane Composites

 Bilal DEMİREL^{a,*},  Hale ASLANTAŞ^a,  Fatih AKKURT^b,  Ali YARAŞ^c,  Fugen DAVER^d

^a Department of Material Science and Engineering, Faculty of Engineering, Erciyes University, Kayseri, TURKEY

^b Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Gazi University, Ankara, TURKEY

^c Department of Metallurgy and Material Engineering, Faculty of Engineering Architecture and Design, Bartın University, Bartın, TURKEY

^d School of Engineering, RMIT University, Bundoora, AUSTRALIA

* Corresponding author's e-mail address: bilaldemirel@erciyes.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1114633

ABSTRACT

The purpose of this work is to improve mechanical properties of rigid polyurethane (RPU) composites used in traditional ceramic casting industry. Therefore, monofilament (mono) and fibermesh (fibril) polypropylene (PP) fibers with various lengths (3, 6, 12 and 18 mm) were incorporated to polymer matrix at different rates (0.5, 1.0, 1.5 and 2% by weight). Effects of fiber type and content on flexural strength, bending strength and compressive strength of composites were investigated. Surface morphology and thermal characteristics of composites were evaluated by SEM and TGA analysis, respectively. Bulk densities of specimens with and without PP fibers vary between 72,15-146 kg/m³. Compared to pure rigid polyurethane foam, bulk density of monofilament PP reinforced composites significantly increased and the highest density value (146,86 kg/m³) was reached in M6/2.0 sample. On the other hand, incorporation of fibrilmesh caused a decrease in bulk density. While the increase in percentage of mono PP increased flexural strength, the presence of fibril PP had a negative effect on strength. Compressive strength of all mono PP reinforced composites is higher than that of pure RPU, except for M6/0.5 sample. Besides, SEM analysis revealed that the presence of PP fibers generally reduced number of closed cells in composite structure. Experimental findings indicate that fiber type, content and length affect mechanical performance of RPU composites. In addition, it is possible to use mono PP fiber reinforced RPU composites as support apparatus in ceramic casting industry.

Keywords: Rigid polyurethane, Polypropylene fiber, Composite, Mechanical performance

Polipropilen Lif Türü, İçeriği ve Uzunluğunun Sert Poliüretan Kompozitlerin Mekanik Performansına Etkisi

ÖZ

Bu çalışmanın amacı, geleneksel seramik döküm endüstrisinde kullanılan sert poliüretan kompozitlerin mekanik özelliklerini iyileştirmektir. Bu nedenle, çeşitli uzunluklarda (3, 6, 12 ve 18 mm) monofilament (mono) ve fiberağ (fibril) polipropilen (PP) elyaflar polimer matrisine farklı oranlarda (ağırlıkça %0.5, 1.0, 1.5 ve %2) dahil edildi. Elyaf tipi ve içeriğinin kompozitlerin eğilme mukavemeti ve basınç mukavemeti üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Kompozitlerin yüzey morfolojisi ve termal özellikleri sırasıyla SEM ve TGA analizi ile değerlendirildi. Saf

poliüretan ve PP lif içeren numunelerin kütle yoğunlukları 72,15-146 kg/m³ arasında değişmektedir. Saf poliüretan kompozite kıyasla monofilament PP takviyeli kompozitlerin kütle yoğunluğu önemli ölçüde artmış ve M6/2.0 numunesinde en yüksek yoğunluk değerine (146,86 kg/m³) ulaşılmıştır. Öte yandan, fiberağ (fibril) ilavesi, yığın yoğunluğunda bir azalmaya neden oldu. Mono PP yüzdesindeki artış eğilme mukavemetini arttırırken, fibril PP'nin varlığı mukavemeti olumsuz etkilemiştir. Mono PP takviyeli kompozitlerin basınç dayanımı (M6/0.5 numunesi hariç) saf poliüretandan daha yüksektir. Ayrıca SEM analizi, PP liflerinin varlığının genellikle kompozit yapısındaki kapalı hücre sayısını azalttığını ortaya koymuştur. Deneysel bulgular, elyaf tipi, içeriği ve uzunluğunun sert poliüretan kompozitlerin mekanik performansını etkilediğini göstermektedir. Ayrıca, mono PP elyaf takviyeli rijit poliüretan kompozitlerin seramik döküm endüstrisinde destek aparatı olarak kullanılması mümkündür.

Anahtar kelimeler: Sert poliüretan, Polipropilen lif, Kompozit, Mekanik performans

I. INTRODUCTION

Polyurethane polymers have high strength and wear resistance, superior durability against oxygen, ozone, gas, oil and aromatic hydrocarbons [1]. Due to their production methods and ease of use, they are used in many sectors such as automotive, furniture, clothing, construction, medical, and ceramic industry [2,3]. Of these, polyurethane foams cover the largest segment in thermoset foam industry. They have many physical properties such as different density varieties, flexibility, viscoelasticity, semi-bendability, hardness, heat and flame resistance. Polyurethane foams are prepared by reacting polyols and polyisocyanates with the help of blowing agents. Molecular weight and functionality of polyols affect the properties of resulting foams [4–6]. Polyisocyanates act as binders for polyols, hence they are considered to be building block polymers of urethane and related foams [5,7,8].

Rigid polyurethane (RPU) composites are preferred in construction and industrial insulation and sealing applications [9–11] due to their superior properties such as low thermal conductivity, low density, shape stability, low moisture permeability and low water absorption. Besides, they are also used in the wings and fuselage of airplanes [12] and in production of sandwich panels. Moreover, since this type of cellular materials can absorb impact energy, it has also found use for packaging and cushioning [13]. Main characteristic of RPU composites is that cells of the polymer matrix in form of a network are closed [4]. On the other hand, studies in which various additives such as nanofibers [14], organoclay [15], multi-walled carbon nanotubes [16] and various inorganic nanofillers [17,18] are used to further reduce thermal conductivity of RPU composites and improve their mechanical properties are found in literature. In addition to additive-polyurethane matrix compatibility, particle size is also important in selection of additives [19]. The presence of large particles and use of excess additives affect nucleation and growth mechanisms of gas bubbles during polymerization reaction and it may cause destruction of cell walls. In such a case, strength and thermal insulation performance of RPU composite decreases. In this sense, it is known that strength of fiber-containing polymer composites is affected by a number of parameters, most of all, the concentration and length of fibers, and degree of interfacial adhesion between fiber and matrix [20–23]. Wilberforce and Hashemi [24] reported that tensile strength of polyurethane composites raised with increase of short-glass fiber concentration from 10% to 30% wt. In another study, in which rosella fiber was added to polyurethane matrix at different rates (10, 20, 30, 40 and 50% by weight), it was stated that fiber content played a serious role on tensile and flexural and impact strength. Also, the best mechanical and thermal properties were achieved in polyurethane composites containing 40% rosella fiber content [25].



Figure 1. Examples of RPU materials used as a modeling support apparatus in production of ceramic sanitary ware

Use of RPU composites in traditional ceramic molding industry (Figure 1) further highlights mechanical strength performance of these materials. With the approach that the presence of fiber can improve mechanical performance of RPU, monofilament (mono) and fiber mesh (fibril) PP fibers in different ratios (0.5, 1.0, 1.5 and 2% by weight), various lengths (3, 6, 12 and 18 mm) were incorporated in polymer matrix. And, investigations were done into how fiber type and content affected compressive, bending, and flexural strengths of composites. SEM and TGA analyses, respectively, were used to assess surface morphology and thermal properties of composites.

II. MATERIALS AND METHODS

A. MATERIALS

Isocyanate MDI (Tekpol) and polyol 1232-140 mixture (Tekpol) were obtained from Turkuaz Seramik in Kayseri. Isocyanate MDI is dark in color. Polyol mixture composes of high functionality polyols, catalysts, stabilizers and new generation blowing agents which don't harm the ozone layer. Some physical and chemical properties of isocyanate and polyol are presented in Table 1. Two different PP fibers (monofilament 3, 6, 12, 18 mm, fibermesh 6, 12, 18 mm) supplied from Polyfibers company. The types of PP fiber are presented in Figure 2.

Table 1. Some physical and chemical properties of polyol and isocyanate

Property	Polyol Value	Isocyanate Value	Method
Density (g/cm ³)	1.10-1.12	1.23	DIN 51757-2011
Viscosity (25°C, mPa.s)	550±50	230±30	DIN 53018
Free isocyanate content (%)	-	31.5±1	ASTM D5155

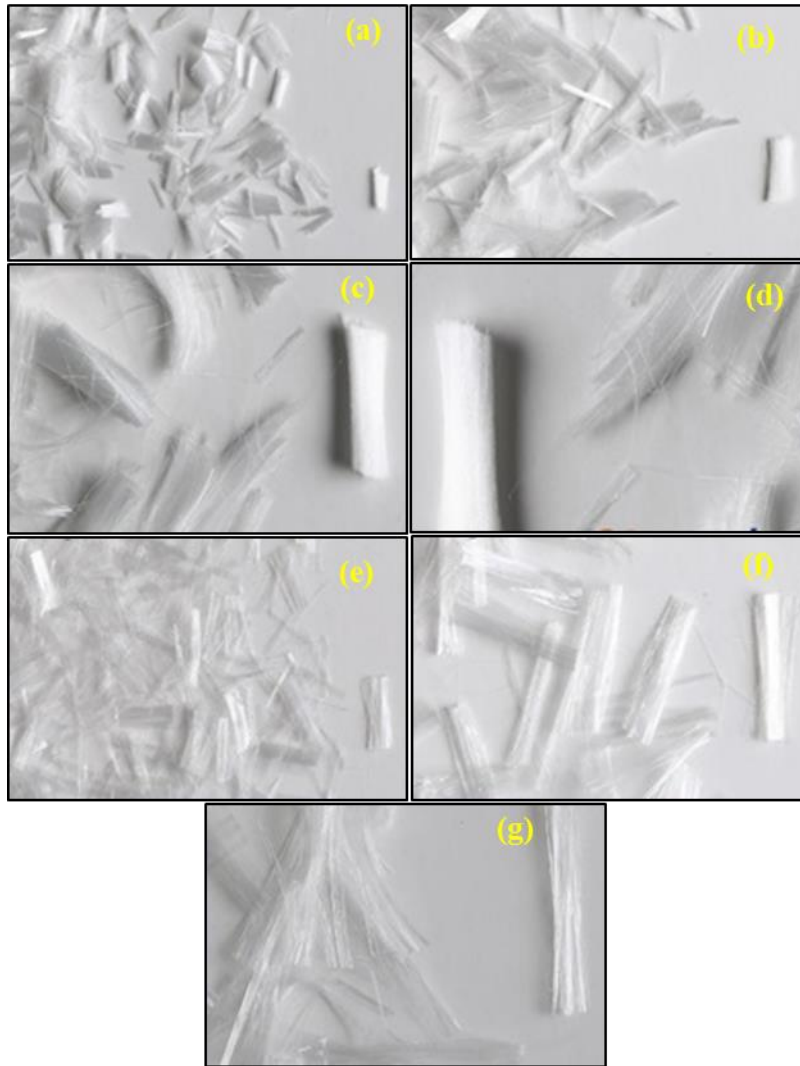


Figure 2. Types of PP fibers: monofilaments (mono) of 3 mm (a), 6 mm (b), 12 mm (c) and 18 mm (d); fibermesh (fibril) of 6 mm (e), 12 mm (f) and 18 mm (g) [9]

B. METHODS

B.1. Preparation of RPU Composites Mixture

Polyol/isocyanate ratio for RPU composite production was determined as 1.0/1.1 by weight. Isocyanate and polyol were placed in separate containers. Polyol was slowly added to isocyanate and mixed with a mechanical mixer at 3000 min^{-1} for 15 sec. Prepared mixture was poured into mold and cured at 40°C for 30 min. Cured RPU removed from mold were left at room temperature for 24 h to complete polymerization reaction. Production steps of RPU composites are given in Figure 3. Composition of RPU with/without PP fiber are given in Table 2. A total of 20 samples were produced.

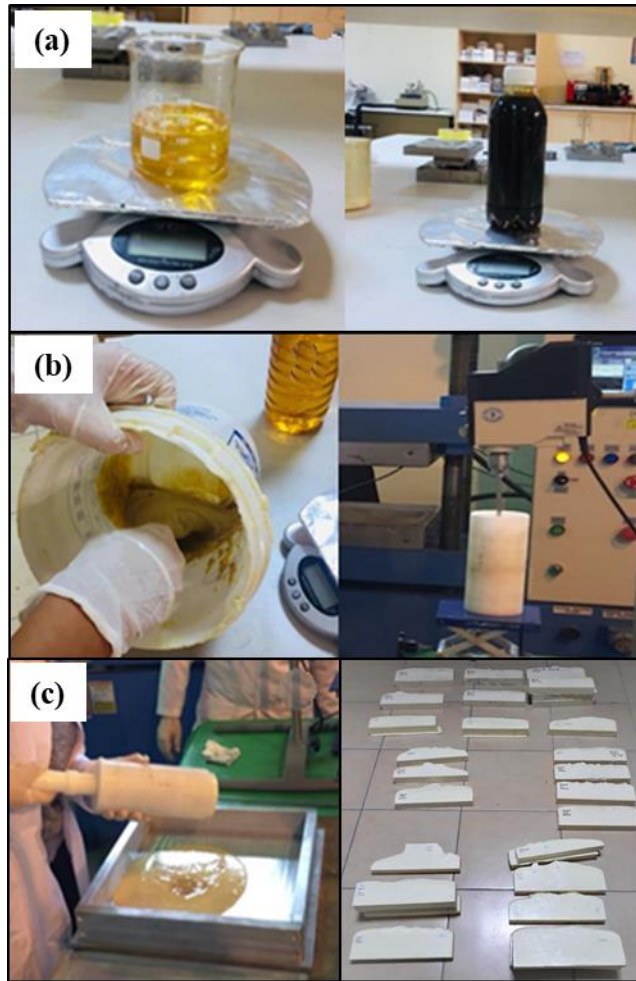


Figure 3. Processing stages of RPU (a) weighing, (b) preparation of mixture, (c) molding and product

B.2. Instrumental Testing And Analysis

Density measurements of RPU composites were calculated according to ASTM D 1622-08 standard [26]. Flexural strength properties of RPU composites were determined using three-point bending method (Shimadzu AG-XD 50) in accordance with ASTM D 790-03 standard [20]. Samples with dimensions of 25 x 25 x 100 mm were prepared and test speed was set at 2.5 mm per minute. Compressive strengths of RPU composites were determined according to ASTM D 1621-10 [21]. For this test, samples with dimensions of 50 x 50 x 40 mm were prepared. Tests were carried out at a speed of 2.5 mm per minute (Shimadzu AG-XD 50). Thermal decomposition behavior of RPU composites with/without PP fiber were analyzed by TGA (Perkin Elmer Diamond) at a heating rate of 10°C/min in oxygen medium. Surface morphologies of foams were characterized by scanning electron microscopy (SEM, ZEISS LS-10). All mechanical tests were performed in at least three replicates.

Table 2. Mixing ratios for RPU composites production

Fiber type	Sample	Fiber length (mm)	Polyol (% wt.)	Isocyanate (% wt.)	Fiber (% wt.)
	Pure	0	50	50	0
Monofilament (mono) PP fibre	M3/0.5	3	49,75	49,75	0,5
	M3/1.0	3	49,5	49,5	1
	M3/1.5	3	49,25	49,25	1,5
	M3/2.0	3	49	49	2
	M6/0.5	6	49,75	49,75	0,5
	M6/1.0	6	49,5	49,5	1
	M6/1.5	6	49,25	49,25	1,5
	M6/2.0	6	49	49	2
	M12/0.5	12	49,75	49,75	0,5
	M12/1.0	12	49,5	49,5	1
	M12/1.5	12	49,25	49,25	1,5
	M12/2.0	12	49	49	2
	M18/0.5	18	49,75	49,75	0,5
	M18/1.0	18	49,5	49,5	1
Fibermesh (fibril) PP fibre	F6/0.5	6	49,75	49,75	0,5
	F6/1.0	6	49,5	49,5	1
	F6/1.5	6	49,25	49,25	1,5
	F12/0.5	12	49,75	49,75	0,5
	F18/0.5	18	49,75	49,75	0,5

III. RESULTS AND DISCUSSION

Density of PP fiber is 0.91 g/cm^3 , and average density of polyurethane matrix is 0.11041 g/cm^3 . Density values of RPU composites vary between $72.16\text{-}146.86 \text{ kg/m}^3$ (Table 3). Reason for this may be that densities of monofilament PP fibers are higher than that of pure polyurethane matrix. While a significant increase was observed in density of monofilament PP fiber reinforced composites, density of fibermesh PP fiber reinforced composites decreased compared to pure RPU. Compared to fiber-free foam samples, density of M6/2.0 sample is the highest. Monofilament PP fibers are harder and can be dispersed more homogeneously in mixture. Fibermesh PP fibers are clustered in groups and can be stretched in accordion form. Therefore, because they are thin and short and do not disperse homogeneously in mixture, it adversely affected density of RPU composites.

Table 3. Density results of RPU composites

Sample	Fiber length (mm)	Fiber amount (%)	Bulk density (kg/m³)
Pure	0	0	108,17±2,12
M3/0.5	3	0,5	114,35±1,09
M3/1.0	3	1	114,49±1,25
M3/1.5	3	1,5	123,00±2,01
M3/2.0	3	2	114,90±1,91
M6/0.5	6	0,5	110,34±1,88
M6/1.0	6	1	122,78±2,71
M6/1.5	6	1,5	129,33±2,34
M6/2.0	6	2	146,86±1,85
M12/0.5	12	0,5	112,86±2,74
M12/1.0	12	1	112,16±2,67
M12/1.5	12	1,5	123,37±1,86
M12/2.0	12	2	118,20±2,68
M18/0.5	18	0,5	115,53±1,98
M18/1.0	18	1	140,24±1,69
F6/0.5	6	0,5	104,11±2,19
F6/1.0	6	1	72,16±1,94
F6/1.5	6	1,5	106,49±2,36
F12/0.5	12	0,5	108,37±1,85
F18/0.5	18	0,5	106,11±1,84

Flexural strength and flexural modulus results of unreinforced and PP fiber reinforced RPU composites are given in Figure 4. As seen from Figure 4, flexural strength values of PP fiber reinforced RPU composites of M3/2.0, M6/2.0 and M18/1.0 are higher than non-reinforced polyurethane. Besides, fibermesh (fibril) PP fiber reinforced RPU composites were found to have lower flexural strength values. This may be due to aggregation of fibermesh (fibril) PP fibers. As mono PP fiber percentage is increased, flexural strength of structure also increased.

Flexural modul of mono PP reinforced RPU composites were higher than fibril PP reinforced RPU composites (Figure 4). Reason for this is that when mono PP is reinforced to RPU composites, monofilament fiber structure maintains its straight shape in matrix resulting in high bending strength. On contrary, fibermesh (fibril) of low strength can not maintain their shapes, resulting in low bending strength. Monofilament PP fibers are one-dimensional and can be independently and homogeneously dispersed in a polymer matrix. On the other hand, mesh type PP fibers have a mesh-like structure and performs a multi-dimensional stress distribution under one-dimensional tensile load. Due to their mesh-like structure, it is thought that the mesh type PP fibers are more heterogeneously distributed at same addition ratios as monofilament PP fibers and regional discontinuities occur. Therefore, their bending strengths become weaker.

Flexural elongation values of fiber-reinforced RPU composites were found to be lower than non-reinforced structure. It can be attributed to bond between fiber and matrix preventing deformation of structure [27]. On the other hand, PP fibers disrupt air bubble structure in reinforced RPU composite.

As a result, while reduction in amount of PP fiber decreased degradation, a raise in fiber length increased it.

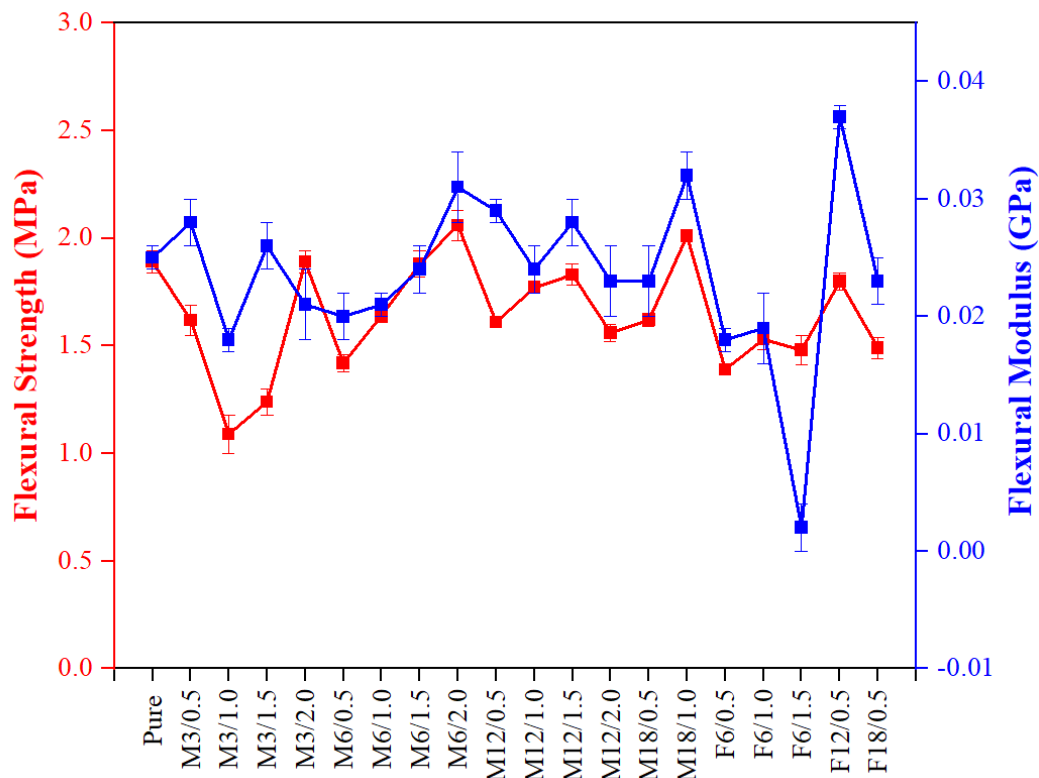


Figure 4. Comparison of flexural strength and flexural modulus of RPU composites

According to data in Figure 5a, all compressive strength values of mono PP reinforced RPU composites are higher than unreinforced RPU composites except for M6/0.5 sample. As seen from Figure 5b, compression shortening of half of fiber reinforced RPU composites is higher than compression shortening of unreinforced composites. This shows that when fiber reinforcement is applied to RPU composites compression increases. M3/0.5 PP reinforced specimens were found to have the highest compression shortening. In addition, all monofilament fiber reinforcement of 3 mm fiber length at different amounts (M3/0.5 – M3/1.0- M3/1.5 – M3/2.0) demonstrated very high compression shortening.

Thermal degradation behaviors of unreinforced RPU composite, monofilament PP and M6/2.0 PP fiber reinforced RPU composite specimens were analyzed by TGA (Figure 6). Polyurethanes are unstable and their degradation temperatures vary depending on chemical composition of polyurethane. Decomposition usually begins with degradation of urethane bond (approximately 150-220°C) and release of CO₂ and isocyanate [28,29]. Maximum weight loss occurs after 400°C, possibly representing polyol degradation [30].

Thermal decomposition temperatures of M6/2.0 PP fiber and reinforced RPU composites are 500°C and 270°C, respectively. Maximum weight losses are between 270°C and 600°C and total weight losses at 800°C is over 80%. The highest weight loss of monofilament PP fiber occurred between 400°C and 500°C. At the end of 800°C, total weight loss is almost 100%.

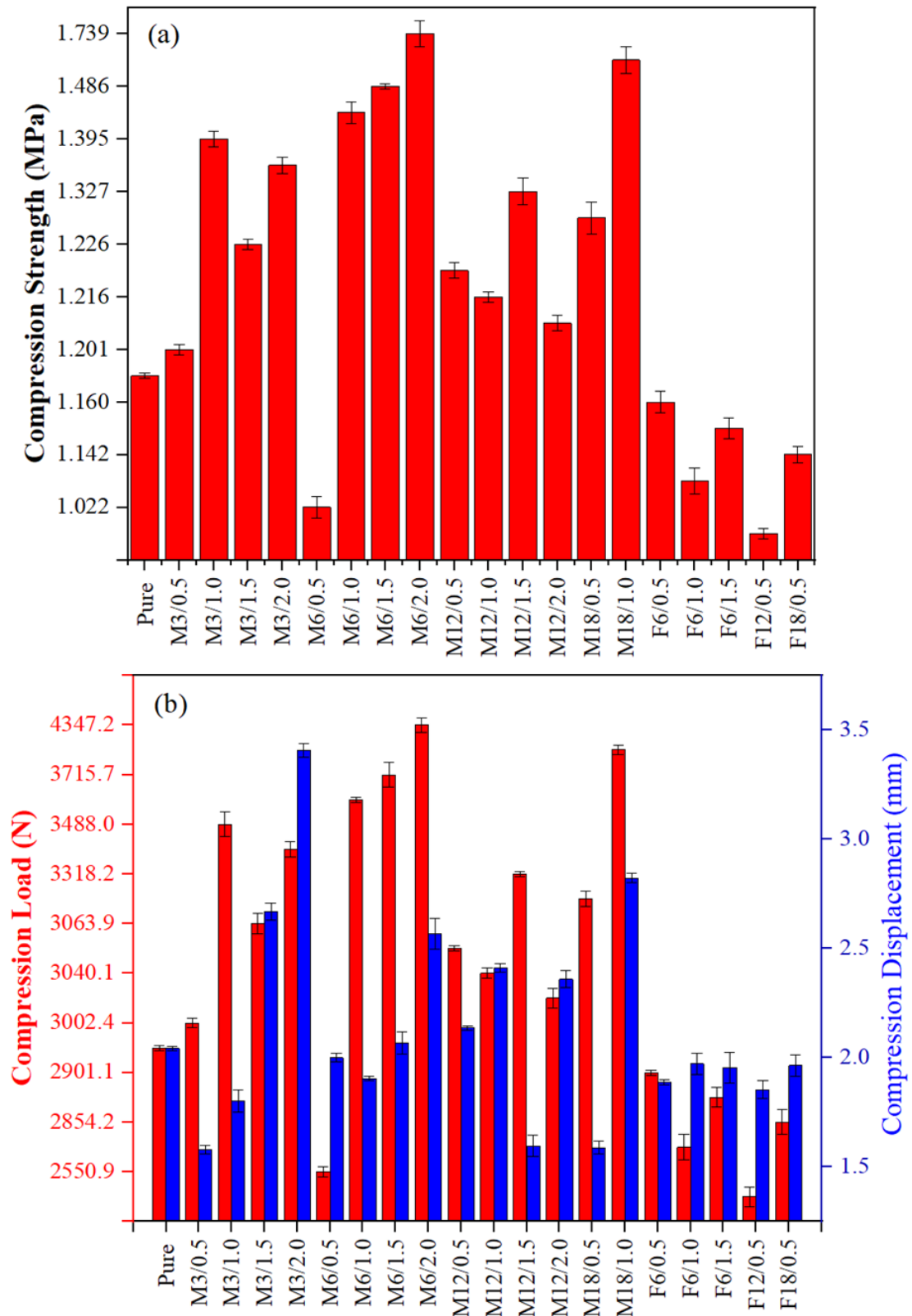


Figure 5. Compression test results of RPU composites

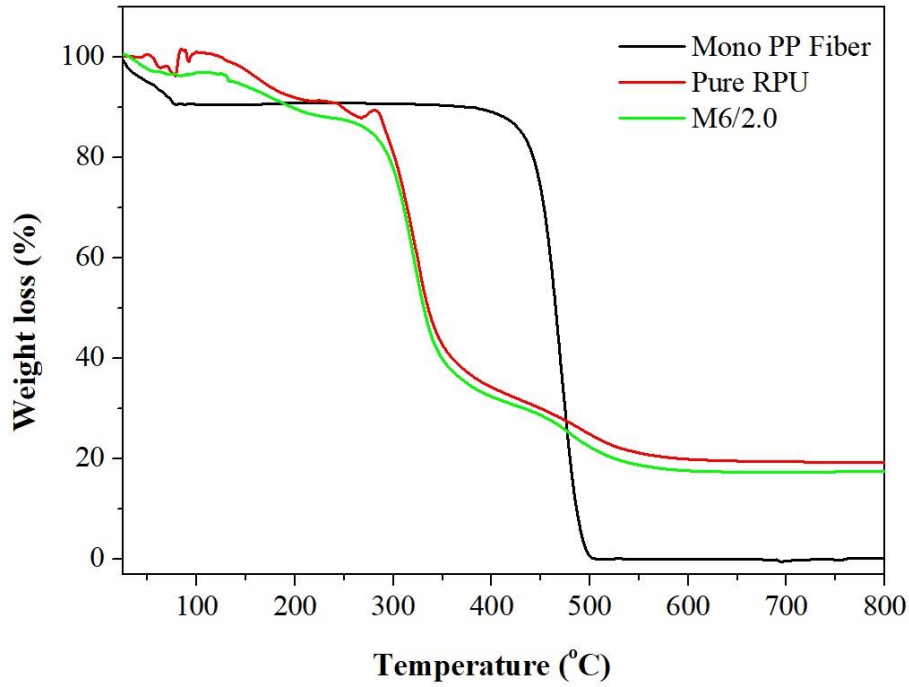


Figure 6. TGA curves of monofilament PP fiber, unreinforced RPU and RPU composites (M6/2.0)

In the light of SEM images in Figure 7, it can be stated that composites contain closed cells in spherical and polygonal form. Also, cell sizes generally appear to decrease with increasing PP fiber content. The presence of small cells around PP fiber indicates that cell growth is inhibited by fiber. In other words, PP fibers in RPU composites physically inhibit growth of bubbles [31,32]. Moreover, this phenomenon may result in a uniform infusion of components and formation of homogeneous and high-density composites.

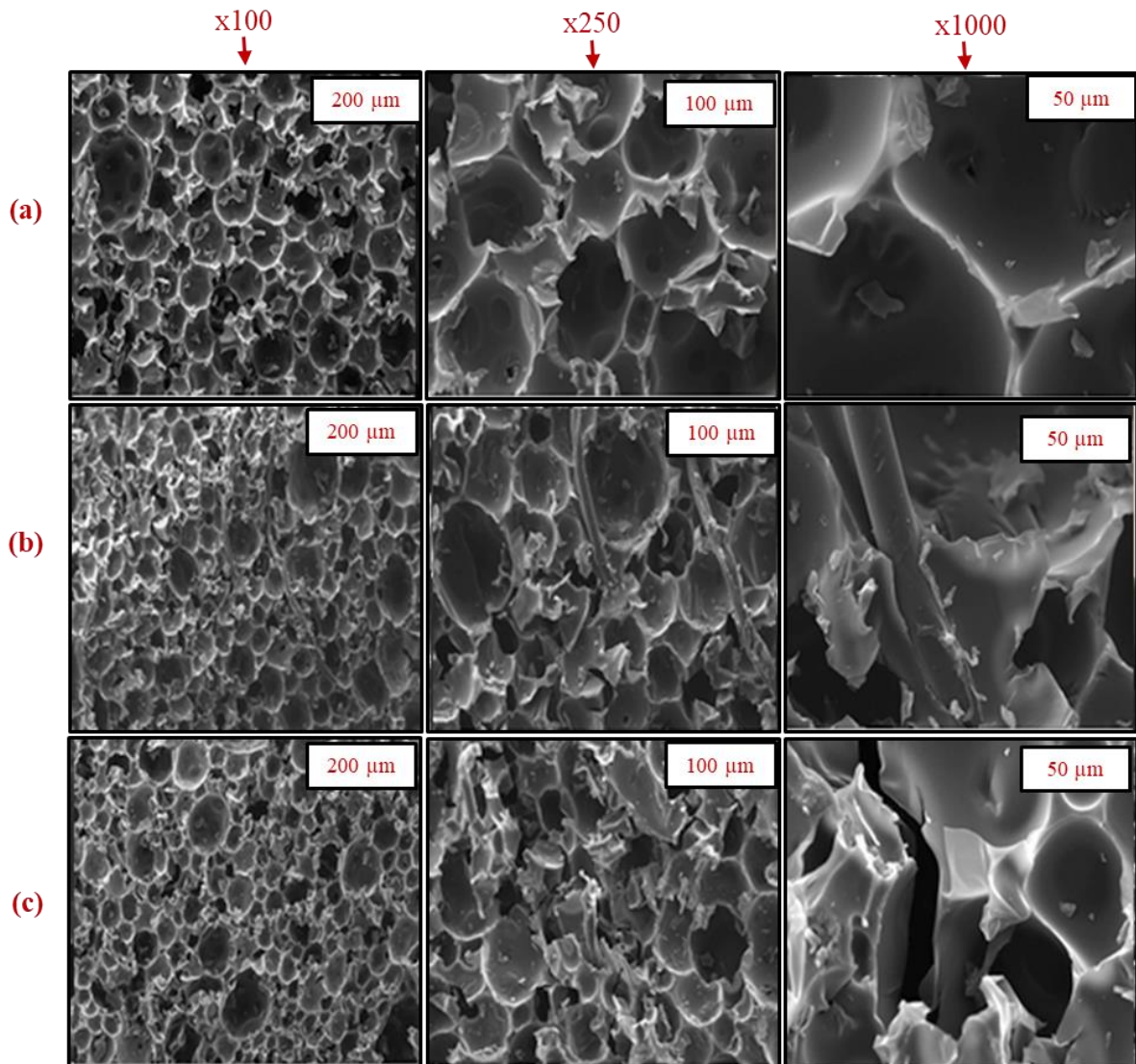


Figure 7. SEM images at different magnifications of pure RPU (a), M6/1.5 (b) and M18/1.0 (c)

IV. CONCLUSION

In current paper, PP reinforced RPU composites that were employed as modeling support apparatus in ceramic casting industry were successfully produced to improve mechanical properties of RPU composites. For this, PP fibers in monofilament (mono) and fibermesh (fibril) forms were added to RPU matrix at varied rates (0.5, 1.0, 1.5, and 2% by weight) and in lengths ranging from 3 to 18 mm. Research results are as follows;

- Specimens' bulk densities, with and without PP fibers, range from 72.15 to 146 kg/m³. Compared to pure RPU, bulk density of monofilament PP reinforced composites significantly increased and the highest density value (146.86 kg/m³) was reached in M6/2.0 sample. However, addition of fibrilmesh resulted in a reduction in bulk density.

- Flexural strength increased with an increase in mono PP %, but decreased with the presence of fibril PP. All mono PP reinforced composites, with exception of M6/0.5, have compressive strengths greater than pure RPU. M6/2.0 PP reinforced RPU composites showed excellent results in both bending and compression tests, increasing strength by 47%. The presence of fibrilmesh PP fiber had a negative effect

on mechanical strength of composites. This can be attributed to fiber not being homogeneously dispersed in matrix.

- According to SEM analysis, incorporation of PP fibers generally decreased quantity of closed cells in composites.

Experimental findings indicate that fiber type, content and length affect the mechanical performance of RPU composites. In light of this, support equipment for ceramic casting sector can be made of RPU composites reinforced with mono PP fiber.

ACKNOWLEDGEMENTS: The authors would like to thank Erciyes University Scientific Research Projects Coordinator for supporting this study with Project No. FYL-2018-8082. This study was also supported by Erciyes University ERNAM (Nano Technology Research Center).

V. REFERENCES

- [1] J. R. Fried, *Polymer Science and Technology*, 3rd ed., USA: Massachusetts, Pearson Education, 2014, pp. 381-384.
- [2] M. F. Sonnenschein, *Polyurethanes: Science, Technology, Markets, and Trends*, 2nd ed., Michigan, USA: John Wiley & Sons, 2015, pp. 255-294.
- [3] B. K. Kim, "Editorial corner-a personal view Cleaner, greener routes for polyurethanes," *Express Polymer Letters*, vol. 10, no. 11, pp. 873, 2016.
- [4] M. Szycher, *Szycher's Handbook of Polyurethanes*, 2nd ed., CRC press, Taylor&Francis, 1999, pp. 13-36.
- [5] M. You, X. Zhang, J. Wang, and X. Wang, "Polyurethane foam containing microencapsulated phase-change materials with styrene-divinylbenzene co-polymer shells," *Journal Material Science*, vol. 44, no. 12, pp. 3141-3147, 2009.
- [6] L. B. Tavares, C. V Boas, G. R. Schleder, A. M. Nacas, D. S. Rosa, and D. J. Santos, "Bio-based polyurethane prepared from Kraft lignin and modified castor oil," *Express Polymer Letters*, vol. 10, no. 11, pp. 927-940, 2016.
- [7] K. Ashida, *Polyurethane and Related Foams: Chemistry and Technology*, 1st ed., CRC press, Taylor&Francis, 2006, pp. 14-34.
- [8] M. A. Dweib, C. F. Vahlund, and C. M. Ó. Brádaigh, "Fibre structure and anisotropy of glass reinforced thermoplastics," *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, vol. 31, no. 3, pp. 235-244, 2000.
- [9] X. Cao, L. J. Lee, T. Widya, and C. Macosko, "Polyurethane/clay nanocomposites foams: processing, structure and properties," *Polymer*, vol. 46, no. 3, pp. 775-783, 2005.
- [10] P. Mondal and D. V Khakhar, "Regulation of cell structure in water blown rigid polyurethane foam," *Macromolecular Symposia*, 2004, pp. 241-254.
- [11] W. J. Seo et al., "Mechanical, morphological, and thermal properties of rigid polyurethane foams blown by distilled water," *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 90, no. 1, pp. 12-21, 2003.

- [12] M. Thirumal, D. Khastgir, N. K. Singha, B. S. Manjunath, and Y. P. Naik, "Effect of foam density on the properties of water blown rigid polyurethane foam," *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 108, no. 3, pp. 1810–1817, 2008.
- [13] L. Emanoil and M. Liviu, "The effect of loading rate and direction of formation on fracture toughness of rigid polyurethane foams," *Journal of Engineering Studies and Research*, vol. 18, no. 1, pp. 120-127, 2012.
- [14] M. E. Kabir, M. C. Saha, and S. Jeelani, "Effect of ultrasound sonication in carbon nanofibers/polyurethane foam composite," *Materials Science and Engineering: A*, vol. 459, no. 1–2, pp. 111–116, 2007.
- [15] Z. Xu, X. Tang, A. Gu, and Z. Fang, "Novel preparation and mechanical properties of rigid polyurethane foam/organoclay nanocomposites," *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 106, no. 1, pp. 439–447, 2007.
- [16] S. Guo, C. Zhang, W. Wang, T. Liu, W.C. Tjiu, C. He, W.D. Zhang, "Preparation and characterization of polyurethane/multiwalled carbon nanotube composites," *Polymers and Polymer Composites*, vol. 16, no. 8, pp. 501–507, 2008.
- [17] S. S. Ray and M. Okamoto, "Polymer/layered silicate nanocomposites: a review from preparation to processing," *Progress in Polymer Science*, vol. 28, no. 11, pp. 1539–1641, 2003.
- [18] H. Mahfuz, V. K. Rangari, M. S. Islam, and S. Jeelani, "Fabrication, synthesis and mechanical characterization of nanoparticles infused polyurethane foams," *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, vol. 35, no. 4, pp. 453–460, 2004.
- [19] F. Saint-Michel, L. Chazeau, and J.-Y. Cavallé, "Mechanical properties of high density polyurethane foams: II Effect of the filler size," *Composites Science and Technology*, vol. 66, no. 15, pp. 2709–2718, 2006.
- [20] S. Hashemi and Y. Lepessova, "Temperature and weldline effects on tensile properties of injection moulded short glass fibre PC/ABS polymer composite," *Journal Material Science*, vol. 42, no. 8, pp. 2652–2661, 2007.
- [21] B. Mouhmid, A. Imad, N. Benseddiq, S. Benmedakhène, and A. Maazouz, "A study of the mechanical behaviour of a glass fibre reinforced polyamide 6, 6: Experimental investigation," *Polymer Testing*, vol. 25, no. 4, pp. 544–552, 2006.
- [22] J. L. Thomason, "Micromechanical parameters from macromechanical measurements on glass reinforced polypropylene," *Composites Science and Technology*, vol. 62, no. 10–11, pp. 1455–1468, 2002.
- [23] S.-Y. Fu, B. Lauke, E. Mäder, C.-Y. Yue, and X. Hu, "Tensile properties of short-glass-fiber- and short-carbon-fiber-reinforced polypropylene composites," *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, vol. 31, no. 10, pp. 1117–1125, 2000.
- [24] S. Wilberforce and S. Hashemi, "Effect of fibre concentration, strain rate and weldline on mechanical properties of injection-moulded short glass fibre reinforced thermoplastic polyurethane," *Journal Material Science*, vol. 44, no. 5, pp. 1333–1343, 2009.
- [25] A. M. Radzi, S. M. Sapuan, M. Jawaid, and M. R. Mansor, "Influence of fibre contents on mechanical and thermal properties of roselle fibre reinforced polyurethane composites," *Fibers Polymers*, vol. 18, no. 7, pp. 1353–1358, 2017.

- [26] *Standard Test Method for Apparent Density of Rigid Cellular Plastics*, ASTM standard D1622-08, 2008.
- [27] B. Kalebayır, “Çok Eksenli ve Katmanlı Lif/Poliüretan Katı Yapısal Panellerin Geliştirilmesi ve Özelliklerinin Karakterize Edilmesi,” Yüksek Lisans Tezi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, Türkiye, 2014.
- [28] M. M. Aslzadeh, G. M. M. Sadeghi, and M. Abdouss, “Synthesis and characterization of BHETA based new polyurethanes,” *Materials Science & Engineering Technology*, vol. 41, no. 8, pp. 682–688, 2010.
- [29] N. Nazeran and J. Moghaddas, “Synthesis and characterization of silica aerogel reinforced rigid polyurethane foam for thermal insulation application,” *Journal of Non-Crystalline Solids*, vol. 461, pp. 1–11, 2017.
- [30] S. Bandyopadhyay-Ghosh, S. B. Ghosh, and M. Sain, “Synthesis of soy-polyol by two step continuous route and development of soy-based polyurethane foam,” *Journal of Polymers and The Environment*, vol. 18, no. 3, pp. 437–442, 2010.
- [31] G. Harikrishnan, T. U. Patro, and D. V. Khakhar, “Reticulated vitreous carbon from polyurethane foam–clay composites,” *Carbon*, vol. 45, no. 3, pp. 531–535, 2007.
- [32] S. H. Kim, H. C. Park, H. M. Jeong, and B. K. Kim, “Glass fiber reinforced rigid polyurethane foams,” *Journal Material Science*, vol. 45, no. 10, pp. 2675–2680, 2010.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Bingöl Koşullarında Bazı Mısır (*Zea mays* L.) Çeşitlerinin Tane Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi

Kağan KÖKTEN ^a, Erdal ÇAÇAN ^{b*}, Mahmut KAPLAN ^c, Selim ÖZDEMİR ^b

^a Bitkisel Üretim ve Teknolojileri Bölümü, Tarım Bilimleri ve Teknoloji Fakültesi, Sivas Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Sivas, TÜRKİYE

^b Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Gıda, Tarım ve Hayvancılık Meslek Yüksekokulu, Bingöl Üniversitesi, Bingöl, TÜRKİYE

^c Tarla Bitkileri Bölümü, Ziraat Fakültesi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: ecacan@bingol.edu.tr

DOI:10.29130/dubited.1112030

ÖZ

25 farklı mısır çeşidine ait tanelerin kalite özelliklerinin belirlenmesi amacıyla bu çalışma yürütülmüştür. Çalışma, Bingöl ili ekolojik koşullarında 2015 yılı yetiştirme sezonunda yürütülmüştür. Çalışmada 25 farklı mısır çeşidinin tane kalite özelliklerinden ham protein (HP), ham kül (HK), asit deterjanda çözünmeyen lif (ADF), nötr deterjanda çözünmeyen lif (NDF), sindirilebilir kuru madde (SKM), sindirilebilir enerji (SE), metabolik enerji (ME), kuru madde tüketimi (KMT) ve nispi yem değeri (NYD) parametreleri incelenmiştir. İncelenen tüm özellikler açısından çeşitler arasında istatistiksel olarak önemli farklılıklar ($P \leq 0.01$) olduğu görülmüştür. Çalışmada ortalama olarak HP oranı %9.01, HK oranı %1.01, ADF oranı %4.30, NDF oranı %14.00, SKM oranı %85.6, SE 3.93 Mcal kg⁻¹, ME 3.23 Mcal kg⁻¹, KMT oranı %8.80 ve NYD 584 olarak elde edilmiştir. En yüksek HP oranı Dian ve Burak çeşitlerinden, en yüksek HK oranı, SKM oranı, SE, ME ve en düşük ADF oranı 12-231H0 çeşidinden, en yüksek KMT oranı ve NYD ile en düşük NDF oranı da Eldora çeşidinden elde edilmiştir. Sonuç olarak; Bingöl ili ekolojik koşullarında 12-231HO, Eldora, Burak ve Dian çeşitlerinin tane kalite özellikleri açısından yüksek değerler verdiği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Protein, Kül, Sindirilebilir enerji, Metabolik enerji, Nispi yem değeri

Determination of Grain Quality Characteristics of Some Corn (*Zea mays* L.) Varieties in Bingöl Conditions

ABSTRACT

This study was carried out in order to determine the quality characteristics of the grains of 25 different corn varieties. The study was carried out in the ecological conditions of Bingöl province in the 2015 growing season. In the study, quality characteristics of corn grains such as crude protein (CP), crude ash (CA), fiber insoluble in acid detergent (ADF), fiber insoluble in neutral detergent (NDF), digestible dry matter (DDM), digestible energy (DE), metabolic energy (ME), dry matter intake (DMI) and relative feed value (RFV) were investigated. It was observed that there were statistically significant differences ($P \leq 0.01$) among the varieties in terms of all the examined traits. In the study, CP ratio was 9.0%, CA ratio was 1.01%, ADF ratio was %4.30, NDF ratio was %14.00, DDM ratio was 85.6%, DE was 3.93 Mcal kg⁻¹, ME was 3.23 Mcal kg⁻¹, DMI ratio was 8.80% and RFV was 584 on average. The highest CP rate was obtained from Dian and Burak varieties, the highest CA rate, DDM rate, SE, ME and the lowest ADF rate were obtained from 12-231HO variety, the highest DMI rate and RFV and lowest NDF rate were obtained from Eldora variety. As a result; it was concluded that 12-231H0, Eldora, Burak and Dian varieties gave high values in terms of grain quality characteristics in Bingöl ecological conditions.

Keywords: Protein, Ash, Digestible energy, Metabolic energy, Relative feed value

I. GİRİŞ

Mısır bitkisi buğday ve çeltikten sonra en önemli tahıl bitkisidir. Mısır Amerika, Afrika ve Çin kıtalarında önemli insan gıdasıdır. Gelişmiş ülkelerde mısır daha çok hayvan beslemede kullanılmaktadır. Taneleri insan gıdası, hayvan yemi ve endüstri ham maddesi olarak değerlendirilen mısırın, son 50 yıl içerisinde yeşil yem ve silaj olarak değerlendirilmesi amacıyla da yoğun bir şekilde yetiştiriciliği yapılmaktadır [1].

Türkiye’de 2021 yılı istatistik verilerine göre 7.582.370 dekar alanda 6.785.000 ton tane mısır elde edildiği ve dekar başına verimin 890 kg olduğu, silaj amaçlı ise 5.248.424 dekar alanda 27.309.962 ton üretim yapıldığı ve dekar başına silaj veriminin 5.208 kg olduğu kayıt altına alınmıştır [2].

Mısır bitkisinin endüstri bitkisi olarak kullanımı gittikçe yaygınlaşmaktadır. Mısır bitkisinin tanesi tahıl olarak değerlendirilmesinin yanı sıra son yıllarda sanayide kullanılması hızla artmıştır. Sanayide daha çok un, nişasta, yem ve yağ gibi ürünlerin elde edilmesi amacıyla kullanılmaktadır [3].

Mısır yetiştiriciliğinde genotip seçimi oldukça önemlidir [4]. Mısır tanesinin içerdiği protein, yağ ve nişasta oranları gıda sanayisinde, kanatlı hayvan rasyonlarında ve silaj yapımında yaygın olarak kullanıldığı için, yüksek oranda protein, yağ ve nişasta içeren çeşitlerin ıslah edilmesi [5] ve yetiştiricilikte tercih edilmesi gerekmektedir. Özellikle hayvan besleme amacıyla kullanılan kaba yem kaynakları sınırlı olduğundan, tarımın verimi yüksek türler ile yapılması bir zorunluluk halini almıştır [6].

Yemler arasında farklılıkların ortaya konulmasında, yemlerin kimyasal kompozisyonu, enerji ve sindirilebilir besin maddelerinin belirlenmesi önem arz etmektedir [7]. Mısırın kalite özelliklerinin belirlenmesinde ham protein oranı, ham protein verimi, ham kül, ADF, NDF, sindirilebilir kuru madde, kuru madde tüketimi ve nispi yem değeri gibi özellikler incelenmektedir [8]. Mısır tanesi yüksek protein içermekte ve özellikle A vitamini yönünden zengindir. Mısır tanesinin %82.5’lik kısmını endosperm oluşturmakta ve mısır taneleri iyi bir konsantre yem olarak kullanılmaktadır [9].

Mısıra olan talep sürekli bir artış gösterdiğinden gerek özel sektör, gerekse de kamu kurumları ve üniversiteler tarafından yoğun bir şekilde ıslah çalışmaları yürütülmekte ve her sene çok sayıda yeni çeşidin piyasaya sunulması gerçekleşmektedir. Piyasada bulunan bu çeşitlerin de farklı iklim ve toprak koşullarında sahip olduğu özelliklerin ortaya konulması için de farklı çalışmaların ve denemelerin yürütülmesine ihtiyaç duyulmaktadır [10].

Tane amaçlı yetiştiriciliği yapılan mısırların, tane kalite özellikleri ile ilgili farklı bölgelerde birçok çalışma yürütülmüştür [3], [10], [11], [12], [13], [14], [15]. Ancak Bingöl koşullarında mısır çeşitlerinin tane kalite özellikleri ile yapılan çalışmalar yetersizdir. Bu nedenle 25 farklı mısır çeşidinin Bingöl ili ekolojik koşullarında tane kalite özellikleri belirlenmesi bu çalışmanın amacını oluşturmuştur.

II. MATERYAL VE METOT

Araştırmada 25 adet mısır çeşidi materyal olarak kullanılmıştır. Araştırmada kullanılan mısır çeşitlerinin temin edildiği kurum ve kuruluşlar Tablo 1’de verilmiştir.

Araştırma ile ilgili arazi denemesi Bingöl ili ekolojik koşullarında 2015 yılında tesadüf blokları deneme desenine göre üç tekerrürlü olarak kurulmuştur. Denemede her çeşit için parsel uzunluğu 5 m, sıra arası 70 cm ve sıra üzeri 20 cm olacak şekilde ekim yapılmıştır. Ekim ile birlikte 8 kg da⁻¹ azot, 8 kg da⁻¹ fosfor ve 8 kg da⁻¹ potasyum olacak şekilde gübreleme yapılmıştır. Daha sonra bitkiler 50-60 cm boyunda ve tepe püskülü çıkarma aşamasında olmak üzere iki defa daha gübreleme yapılarak toplam verilen azot miktarı 15 kg da⁻¹’a çıkarılmıştır [8, 16]. Denemede iki defa çapa, bir defa da boğaz doldurma işlemi yapılmıştır.

Araştırma alanının ortalama deniz seviyesinden yüksekliği 1153 m olup, yetiştiricilik dönemi boyunca bölge ortalama 94.6 mm yağış almıştır. Bu nedenle dört defa tarla kapasitesi seviyesinde salma sulama ile sulama yapılmıştır. Araştırma alanının toprak yapısı tınlı bünyede, pH seviyesi hafif asidik (pH=6.37), organik madde (%1.26), kireç (%0.15) ve potasyum (24.5 kg ha⁻¹ K₂O) bakımından düşük, fosfor (79.1 kg ha⁻¹ P₂O₅) bakımından ise yüksek olduğu belirlenmiştir.

Tablo 1. Araştırmada kullanılan mısır çeşitlerinin adları ve temin edildikleri kurum ve kuruluşlar.

NO	ÇEŞİT	FİRMA	NO	ÇEŞİT	FİRMA
1	31P41	Pioneer	14	DİAN	Panam
2	30B74	Pioneer	15	MARVIN	Panam
3	31Y43	Pioneer	16	ELDORA	Panam
4	31A34	Pioneer	17	WAYNE	Venturoli
5	12-219	Panam	18	ŞAFAK	Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü
6	12-218	Panam	19	BATEM EFE	Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü
7	12-231HO	Panam	20	TUONO	Beta Agriculture and Trade Co.
8	DKC 955	Monsanto	21	BURAK	Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü
9	DKC 6903	Monsanto	22	SEME KUKURUZA 877	Zemun Polje
10	DKC 6589	Monsanto	23	SEME KUKURUZA 873	Zemun Polje
11	DKC 7211	Monsanto	24	ADV 2898	Limagrain
12	DKC 6590	Monsanto	25	TRUVA	Limagrain
13	R.U. 4 H.D.	Pioneer			

Her çeşitte dane nemi yaklaşık %15 olduğunda, çeşit özelliklerine göre 15-30 Eylül tarihleri arasında her parselin ortasındaki iki sıra elle hasat edilmiştir. Daha sonra taneler, nem içeriği %13'ün altına düşene kadar güneş altında kurutulmuştur. Kurutulmuş mısır taneleri koçandan ayrılarak el değirmeni yardımıyla öğütülmüş ve analize hazır hale getirilmiştir. Mısır çeşitlerinin tanelerinde ham protein, ham kül, asit deterjanda çözünmeyen lif (ADF) ve nötr deterjanda çözünmeyen lif (NDF) oranları NIRS cihazı yardımıyla tespit edilmiştir. Tespit edilen ADF ve NDF yardımıyla sindirilebilir kuru madde (SKM= 88,9 - (0,779 x %ADF)) [17], kuru madde tüketimi (KMT= 120 / (%NDF)) ve nispi yem değeri (NYD = (SKM x KMT) / 1.29) [18] hesaplanmıştır. SKM yardımıyla sindirilebilir enerji (SE = 0.27 + 0.0428 x (%KMS)) [19] ve sindirilebilir enerji yardımıyla da metabolik enerji (ME = 0.821 x SE (Mcal kg⁻¹)) [20] hesaplanarak elde edilmiştir.

Elde edilen veriler JMP paket programı ile varyans analizi uygulanmış ve ortalamalar Tukey testi ile karşılaştırılmıştır [21].

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Mısır çeşitlerinin tohumlarına ait ham protein oranı, ham kül oranı, ADF ve NDF oranları Tablo 2'de verilmiştir. Tablo 2'de incelenen özelliklerin tamamında çeşitler arasında tespit edilen farklılıklar istatistik olarak önemli bulunmuştur.

Mısır tanelerinin ham protein oranları %6.80-11.61 arasında değişim göstermiş ve ortalaması %9.01 olarak elde edilmiştir. En yüksek ham protein oranları Dian (%10.61) ve Burak (%10.60) çeşitlerinden elde edilmiştir (Tablo 2). Mısır tanesinin ham protein oranı ile ilgili olarak elde edilen bulguların; Kahramanmaraş koşullarında %8.5 [3], Yozgat koşullarında %8.16 [22] ve Diyarbakır ekolojik koşullarında %8.2 [15] olarak elde edilen bulgular ile benzer olduğu, Şanlıurfa koşullarında %12.85 [5] olarak elde edilen ham protein oranından ise daha düşük olduğu görülmüştür. Mısır bitkisinde protein oranı büyük oranda çeşitlere bağlı olarak farklılıklar göstermekte, iklim ve yetiştirme dönemindeki koşullardan da etkilenmektedir [3]. Mısır tanelerinin ham kül oranları %0.30-2.85 arasında değişim göstermiş ve ortalaması %1.01 olarak elde edilmiştir. En yüksek ham kül oranı %2.85 ile 12-231HO çeşidinden elde edilmiştir (Tablo 2). Mısır tanesinde tespit edilen ham kül oranlarının; Yozgat koşullarında %2.24 [22] olarak elde edilen ham kül oranından daha düşük, Diyarbakır'da yürütülen bir çalışmada %1.8 olarak elde edilen ham kül oranı [23] ile de benzer olduğu görülmüştür.

Tablo 2. Mısır tanelerine ait ham protein (HP), ham kül (HK), asit deterjanda çözünmeyen lif (ADF) ve nötral deterjanda çözünmeyen lif (NDF) oranları.

ÇEŞİTLER	HP (%)	HK (%)	ADF (%)	NDF (%)
12-218	8.24 l**	0.90 c-f**	4.44 b-e**	12.78 def**
12-219	9.27 fg	1.08 bc	3.76 gh	13.96 c-f
12-231HO	8.24 ll	2.85 a	3.62 h	18.63 ab
30B74	8.66 ijk	0.62 fg	4.44 b-e	16.03 bc
31A34	10.95 b	1.09 bc	4.45 b-e	11.65 f
31P41	7.65 m	0.79 def	3.86 fgh	11.77 ef
31Y43	8.92 ghi	0.62 fg	4.48 b-e	15.55 cd
ADV 2898	10.44 c	1.02 bcd	4.25 c-g	15.57 cd
Batem Efe	8.83 hij	1.11 bc	4.01 e-h	12.37 ef
Burak	11.60 a	1.27 b	4.47 b-e	14.64 cde
Dian	11.61 a	0.91 cde	4.13 c-h	11.87 ef
DKC 955	9.86 de	0.93 cde	4.17 c-g	19.29 a
DKC 6589	6.94 n	1.02 bcd	3.86 fgh	13.57 c-f
DKC 6590	8.89 hi	0.83 c-f	4.55 bcd	12.37 ef
DKC 6903	9.51 ef	0.92 cde	4.22 c-g	12.35 ef
DKC 7211	9.03 gh	0.93 cde	4.46 b-e	12.32 ef
Eldora	8.15 l	0.50 gh	4.04 d-h	11.52 f
Marvin	8.73 h-k	0.70 efg	4.20 c-g	13.55 c-f
R.U 4 H.D	6.80 n	1.30 b	5.24 a	12.43 ef
Seme Kuruza 873	8.42 kl	1.08 bcd	4.36 b-f	13.56 c-f
Seme Kuruza 877	8.50 jkl	1.09 bc	4.53 bcd	13.47 c-f
Şafak	10.09 cd	0.30 h	4.65 bc	14.14 c-f
Truva	8.64 ijk	1.23 b	4.85 ab	19.74 a
Tuano	8.27 l	1.01 bcd	4.24 c-g	14.63 cde
Wayne	9.07 gh	1.08 bc	4.17 c-g	12.24 ef
Ortalama	9.01	1.01	4.30	14.00
CV (%)	1.28	9.02	3.85	6.58

***P*≤0.01

Yem kalitesini kuvvetli bir şekilde tahmin etmemize olanak sağlayan özelliklerin başında ADF ve NDF gelmektedir. ADF yemin sindirilebilirliği, NDF ise hayvanın yemi tüketimi hakkında fikir sahibi olmamızı sağlamaktadır [24]. ADF oranını %31, NDF oranını da %40'tan düşük olan yemler, yüksek kaliteye sahip yemler grubunda yer almaktadır [25]. Araştırmada kullanılan 25 adet mısır çeşidinin ADF oranları %3.62-5.24 ve NDF oranları ise %11.52-19.74 arasında değişim göstermiştir. ADF ortalaması %4.30 ve NDF ortalaması %14.00 olarak tespit edilmiştir. En düşük ADF oranı %3.62 ile 12-231HO ve en düşük NDF oranı %11.52 ile Eldora çeşitlerinden elde edilmiştir (Tablo 2). ADF ve NDF ile ilgili olarak elde edilen bulguların; İçdir koşullarında %2.72-4.72 olarak elde edilen ADF oranları ile benzer, %26.8-37.8 olarak elde edilen NDF oranlarından ise daha düşük olduğu görülmektedir [14]. Ancak Türkiye'de mısır üretiminin yoğun yapıldığı illerden alınan 320 tane mısır örneği ile yapılan NDF analizi sonucunda, NDF oranlarının %8.07-19.83 arasında değişim gösterdiği ve ortalamasının %13.16 olduğu tespit edilmiştir [26]. 8 farklı konsantre yemin kalite özelliklerinin incelendiği başka bir çalışmada da mısır tanesinde NDF oranı %12.22 olarak elde edilmiştir [23]. Araştırmacılar tarafından elde edilen bu oranların, çalışmada elde edilen NDF oranları ile uyum içerisinde olduğu görülmüştür.

Mısır çeşitlerinin tohumlarına ait sindirilebilir kuru madde oranı, sindirilebilir enerji, metabolik enerji, kuru madde tüketimi oranı ve nispi yem değeri Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3'te incelenen özellikler arasında çeşitler arasında tespit edilen farklar istatistiki açıdan önemli bulunmuştur. Tohumların SKM oranları %84.8-86.1, SE miktarları 3.90-3.95 Mcal kg⁻¹, ME miktarları 3.20-3.25 Mcal kg⁻¹, KMT oranları %6.08-10.51 ve nispi yem değerleri 401-699 arasında değişim göstermiştir. 25 adet mısır çeşidinin SKM ortalaması %85.6, SE ortalaması 3.93 Mcal kg⁻¹, ME ortalaması 3.23 Mcal kg⁻¹, KMT ortalaması %8.80 ve nispi yem değeri ortalaması 584 olarak elde edilmiştir. En yüksek SKM oranı ile en yüksek SE ve ME miktarları sırasıyla %86.1, 3.95 Mcal kg⁻¹ ve 3.25 Mcal kg⁻¹ miktarları ile 12-231HO çeşidinden, en yüksek KMT oranı (%10.51) ve en yüksek nispi yem değeri de (699) Eldora çeşidinden elde edilmiştir (Tablo 3).

Tablo 3. Mısır tanelerine ait sindirilebilir kuru madde (SKM), sindirilebilir enerji (SE), metabolik enerji (ME), kuru madde tüketimi (KMT) ve nispi yem değeri.

ÇEŞİTLER	SKM (%)	SE (Mcal kg ⁻¹)	ME (Mcal kg ⁻¹)	KMT (%)	NYD
12-218	85.4 d-g**	3.93 d-g**	3.22 d-g**	9.39 a-f**	622 a-e**
12-219	86.0 ab	3.95 ab	3.24 ab	8.60 a-f	573 a-e
12-231HO	86.1 a	3.95 a	3.25 a	6.44 gh	430 fgh
30B74	85.4 d-g	3.93 d-g	3.22 d-g	7.49 fgh	496 e-h
31A34	85.4 d-g	3.93 d-g	3.22 d-g	10.31 ab	683 ab
31P41	85.9 abc	3.95 abc	3.24 abc	10.20 abc	679 ab
31Y43	85.4 d-g	3.93 d-g	3.22 d-g	7.72 e-h	511 d-h
ADV 2898	85.6 b-f	3.93 b-f	3.23 b-f	7.72 d-h	512 c-h
Batem Efe	85.8 a-d	3.94 a-d	3.24 a-d	9.76 a-d	649 abc
Burak	85.4 d-g	3.93 d-g	3.22 d-g	8.27 b-g	548 b-g
Dian	85.7 a-f	3.94 a-f	3.23 a-f	10.15 abc	674 ab
DKC 955	85.7 b-f	3.94 b-f	3.23 b-f	6.23 h	414 gh
DKC 6589	85.9 abc	3.95 abc	3.24 abc	8.87 a-f	590 a-e
DKC 6590	85.4 efg	3.92 efg	3.22 efg	9.74 a-e	645 a-d
DKC 6903	85.6 b-f	3.93 b-f	3.23 b-f	9.75 a-e	647 a-d
DKC 7211	85.4 d-g	3.93 d-g	3.22 d-g	9.76 a-d	646 a-d
Eldora	85.7 a-e	3.94 a-e	3.23 a-e	10.51 a	699 a
Marvin	85.6 b-f	3.93 b-f	3.23 b-f	8.89 a-f	590 a-e
R.U 4 H.D	84.8 h	3.90 h	3.20 h	9.66 a-e	635 a-d
Seme Kukuruz 873	85.5 c-g	3.93 c-g	3.23 c-g	8.88 a-f	589 a-e
Seme Kukuruz 877	85.4 efg	3.92 efg	3.22 efg	8.99 a-f	595 a-e
Şafak	85.3 fg	3.92 fg	3.22 fg	8.52 a-f	563 a-f
Truva	85.1 gh	3.91 gh	3.21 gh	6.08 h	401 h
Tuano	85.6 b-f	3.93 b-f	3.23 b-f	8.27 c-g	549 b-g
Wayne	85.6 b-f	3.94 b-f	3.23 b-f	9.84 abc	653 ab
Ortalama	85.6	3.93	3.23	8.80	584
CV (%)	0.15	0.14	0.14	7.31	7.39

** : P≤0.01

İğdır koşullarında yürütülen bir çalışmada mısır tanelerinde SKM oranlarının %85.2-86.8, sindirilebilir enerjilerinin 3.92-3.98 Mcal kg⁻¹, metabolik enerjilerinin 3.22-3.27 Mcal kg⁻¹, KMT oranlarının %3.19-4.54 ve nispi yem değerlerinin ise 212-306 arasında değiştiği bildirilmiştir [14]. Bu çalışmada elde edilen SKM oranları ile SE ve ME enerji miktarlarının, araştırmacılar tarafından elde edilen bulgular ile benzer olduğu, ancak elde edilen KMT oranları ve nispi yem değerlerinin ise araştırmacıların bildirdiği KMT ve nispi yem değerinden daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu farklılığın nedeni çalışmalardan elde edilen NDF oranlarının birbirinden farklı olmasıdır. Daha önceki çalışmada NDF oranı daha yüksek olduğundan KMT oranları ve nispi yem değerleri daha düşük bulunmuştur. Diyarbakır'da 8 farklı konsantre yemin kalite özelliklerinin incelendiği bir çalışmada

mısır tanesinde SKM oranı %81.80, KMT oranı %9.81 ve nispi yem değeri 622 olarak elde edilmiştir [23]. Araştırmacılar tarafından elde edilen bulguların, mevcut çalışma bulgularını desteklediği görülmüştür.

IV. SONUC

Bingöl ili ekolojik koşullarında 25 adet mısır çeşidinin tane kalite özelliklerinin belirlenmeye çalışıldığı bu çalışmada, incelenen tüm kalite özellikleri (HP, HK, ADF, NDF, SKM, SE, ME, KMT ve NYD) açısından çeşitler arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar olduğu görülmüştür. En yüksek ham protein oranı Burak ve Dian çeşitlerinden, en yüksek ham kül, sindirilebilir kuru madde, sindirilebilir enerji ve metabolik enerji değerleri ile en düşük ADF oranları 12-231HO çeşidinden, en düşük NDF oranları ile en yüksek kuru madde tüketimi ve nispi yem değerleri de Eldora çeşidinden alınmıştır. Dolayısıyla Bingöl ili ekolojik koşullarında incelenen mısır çeşitlerinin tane kalite özellikleri açısından Burak, Dian, 12-231HO ve Eldora çeşitlerinin en yüksek değerleri vererek ön plana çıkan çeşitler olduğu sonucuna varılmıştır. Bingöl ve benzeri ekolojik koşullara sahip bölgelerde yetiştiricilik açısından bu çeşitlere öncelik verilmesi tavsiye edilmektedir.

V. KAYNAKLAR

- [1] E. Açıkgöz, *Yem Bitkileri I. Cilt*, Ankara, Türkiye: Tarım ve Orman Bakanlığı Bitkisel Üretim Genel Müdürlüğü, 2021.
- [2] Türkiye İstatistik Kurumu (2021, 02 Nisan), *Bitkisel Üretim İstatistikleri* [Çevrimiçi]. Erişim: <http://www.tuik.gov.tr>.
- [3] L. İdikut, M. Ekinci ve C. Gençolan, "Hibrid mısır çeşitlerinin koçan özellikleri ve tane kalite kriterleri," *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 9, s. 2, ss. 142–153, 2020.
- [4] O. Yozgatlı, U. Başaran, E. Gülümser, H. Mut ve M. Doğrusöz Çopur, "Bazı mısır çeşitlerinin morfolojik özellikleri, verim ve silaj kalitelerinin belirlenmesi," *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, c. 22, s. 2, ss. 170–177, 2019.
- [5] T. Taş, "Bazı atdışı hibrit mısır (*Zea mays indentata* Sturt) çeşitlerinin tane özellikleri ile tane verimi arasındaki ilişkilerin belirlenmesi," *ISPEC Tarım Bilimleri Dergisi*, c. 4, s. 2, ss. 222–233, 2020.
- [6] Y. Öztürk ve A. Orak, "Tekirdağ koşullarında ikinci ürün olarak yetiştirilen önemli bazı mısır çeşitlerinin verim ve verim unsurlarının belirlenmesi," *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, c. 23, s. 6, ss. 1634–1646, 2020.
- [7] Ö. Canbolat, "Bazı buğdaygil kaba yemlerinin in vitro gaz üretimi, sindirilebilir organik madde, nispi yem değeri ve metabolik enerji içeriklerinin karşılaştırılması," *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, c. 18, s. 4, ss. 571–577, 2012.
- [8] K. Kökten, M. Kaplan ve M. Akçura, "Farklı çevrelerde yetiştirilen silajlık mısır çeşitlerinin kuru ot verimi ile bazı kalite özellikleri arasındaki ilişkilerinin çeşit özellik biplot analizi ile değerlendirilmesi," *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Doğa Bilimleri Dergisi*, c. 20, s. özel sayı, ss. 46–51, 2017.
- [9] E. Tekce ve M. Gül, "Ruminant beslemede NDF ve ADF'nin önemi," *Ataturk Üniversitesi Veteriner Bilimleri Dergisi*, c. 9, s. 1, ss. 63–73, 2014.

- [10] A. Kuşvuran ve R.İ. Nazlı, "Orta Kızılırmak havzası ekolojik koşullarında bazı mısır (*Zea mays* L.) çeşitlerinin tane mısır özelliklerinin belirlenmesi," *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, c. 24, s. 3, 233–240, 2014.
- [11] H. Geren, R. Avcıoğlu, B. Kır, G. Demiroğlu, M. Yılmaz ve A. Cevheri, "İkinci ürün silajlık olarak yetiştirilen bazı mısır çeşitlerinde farklı ekim zamanlarının verim ve kalite özelliklerine etkisi," *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, c. 40, s. 3, ss. 57–64, 2003.
- [12] S. Vartanlı ve H.Y. Emeklier, "Ankara koşullarında hibrit mısır çeşitlerinin verim ve kalite özelliklerinin belirlenmesi," *Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Bilimleri Dergisi*, s. 13, c. 3, 195–202, 2007.
- [13] E. Özata ve H. Kapar, "Bazı atdışi hibrit mısır (*Zea mays indentata* Sturt) genotiplerinin Samsun koşullarında kalite ve performanslarının belirlenmesi," *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi (TABAD)*, c. 7, s. 2, 1–7, 2014.
- [14] B. Keskin, H. Akdeniz, S. Temel ve B. Eren, "Farklı tane mısır (*Zea mays* L.) çeşitlerinin besleme değerlerinin belirlenmesi," *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, c. 49, s. 1, 15–19, 2018.
- [15] S. Kılınç, Ç. Karademir ve Z. Ekin, "Bazı mısır (*Zea mays* L.) çeşitlerinde verim ve kalite özelliklerinin belirlenmesi," *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, c. 21, s. 6, 808–816, 2018.
- [16] E. Çaçan ve S. İşikten, "Bingöl ili ekolojik koşullarında bazı silajlık mısır çeşitleri için uygun ekim zamanının belirlenmesi," *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, c. 6, s. 1, ss. 39–49, 2019.
- [17] V.H. Oddy, G.E. Robards and S.G. Low, "Prediction of in vivo dry matter digestibility from the fiber nitrogen content of a feed," in *Feed Information and Animal Production*, Ed. G.E. Robards, R.G. Packham, Commonwealth Agricultural Bureaux, Farnham Royal, UK, 1983, pp. 395-398.
- [18] C.C. Sheaffer, M.A. Peterson, M. Mccalin, J.J. Volene, J.H. Cherney, K.D. Johnson, W.T. Woodward and D.R. Viands, "Acide Detergent Fiber, Neutral Detergent Fiber Concentration and Relative Feed Value," North American Alfalfa Improvement Conference, Minneapolis, 1995.
- [19] P.V. Fonnesbeck, D.H. Clark, W.N. Garret and C.F. Speth, "Predicting energy utilization from alfalfa hay from the Western Region," *Proc. Am. Animal Science, (Western Section)*, vol. 35, pp. 305-308, 1984.
- [20] J.K. Khalil, W.N. Sawaya and S.Z. Hyder, "Nutrient composition of Atriplex leaves grown in Saudi Arabia," *J. Range Manage.*, vol. 39, pp. 104-107, 1986.
- [21] JMP, *Statistical Discovery from SAS*, USA, 2018.
- [22] U. Başaran, E. Gülümser, M. Doğrusöz Çopur, H. Mut ve A. Şahin, "Farklı silajlık mısır çeşitlerinin hamur olum döneminde silaj ve tane özelliklerinin belirlenmesi," *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Doğa Bilimleri Dergisi*, c. 21, özel sayı, 1–5, 2017.
- [23] M. Basbag, M.S. Sayar, E. Cacan and H. Karan, "Determining quality traits of some concentrate feedstuffs and assessments on relations between the feeds and the traits using biplot analysis," *Fresenius Environmental Bulletin*, vol. 30, 02A, pp. 1627–1635, 2021.
- [24] F. Budak, F. Budak, "Yem bitkilerinde kalite ve yem bitkileri kalitesini etkileyen faktörler," *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, c. 7, s. 1, ss. 1–6, 2014.

[25] G.D. Lacefield, "*Alfalfa Hay Quality Makes the Difference*," University of Kentucky Department of Agronomy, Agriculture and Natural Resources, Lexington, KY, 1988.

[26] C.E. Doğusoylu ve İ. Bayram, İ, "Tane mısırdada yakın kızılötesi spektroskopisi (NIR) kullanarak nötral deterjan fiber (NDF) değeri için kalibrasyon oluşturulması," *6th International Multidisciplinary Studies Congress Health Sciences, Veterinary and Sports Sciences*, Gaziantep, Türkiye, 26-27 April, 2019.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Gümüş Nanoparçacık İçeren Polimer Hibrit Nanomalzemelerin Sentezi ve Metilen Mavisi İndirgenmesine Nanoparçacık Etkisi

 Özlem ALTUNORDU KALAYCI^a,  Hülya ARSLAN^{b,*}

^a Fizik Bölümü, Fen Edebiyat Fakültesi, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Zonguldak, TÜRKİYE

^b Kimya Bölümü, Fen Edebiyat Fakültesi, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Zonguldak, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: hulya.arslan@beun.edu.tr

DOI:10.29130/dubited.1124484

Öz

Bu çalışmada, monometoksi polietilen glikol-*b*-polikaprolakton (mPEG-*b*-PCL) AB tipi diblok ve polikaprolakton-*b*-polietilenglikol-*b*-polikaprolakton (PCL-*b*-PEG-*b*-PCL) BAB tipi triblok kopolimerler sırasıyla makrobaşılatıcı olarak mPEG (monometoksi poli(etilen glikol)) ve PEG (poli etilen glikol) ve katalizör olarak kalay oktanoat (Sn(Oct)₂) kullanılarak ε-kaprolakton (ε-CL)'nin halka açılması polimerizasyonu ile sentezlenmiştir. Blok kopolimer içerisinde, gümüş nitrat (AgNO₃) metal tuzlarının indirgenmesiyle gümüş nanoparçacıkları içeren monometoksi polietilen glikol-*b*-polikaprolakton diblok [Ag/(mPEG-*b*-PCL)] ve polikaprolakton-*b*-polietilenglikol-*b*-polikaprolakton triblok [Ag/(PCL-*b*-PEG-*b*-PCL)] kopolimer koloidal çözeltileri üretilmiştir. mPEG-*b*-PCL ve PCL-*b*-PEG-*b*-PCL blok kopolimerlerinin karakterizasyonu, GPC, FTIR ve ¹HNMR teknikleri kullanılarak yapılmıştır. Hibrit yapı içerisindeki gümüş nanoparçacık formasyonu, yüzey plazmon rezonans (SPR) dalga boyu değişiminden ve floresans emisyon spektrumundan gözlenmiştir. Metilen mavisinin, polimerde gümüş nanoparçacıkların varlığında, löko-metilene indirgenme hızı araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Gümüş nanoparçacık, Blok kopolimer, Metilen Mavisi

Synthesis of Polymer Hybrid Nanomaterials Containing Silver Nanoparticles and Nanoparticle Effect on Methylene Blue Reduction

ABSTRACT

In this study, monomethoxy polyethylene glycol-*b*-polycaprolactone (mPEG-*b*-PCL) AB-type diblock and polycaprolactone-*b*-polyethyleneglycol-*b*-polycaprolactone (PCL-*b*-PEG-*b*-PCL) BAB-type triblock copolymers were synthesized by ring-opening polymerization of ε-caprolactone (ε-CL) using mPEG (monomethoxy poly(ethylene glycol)) and PEG (polyethyleneglycol) as macroinitiator respectively and using tin octanoate (Sn(Oct)₂) as a catalyst. Colloidal solutions of monomethoxy polyethylene glycol-*b*-polycaprolactone diblock [Ag/(mPEG-*b*-PCL)] and polycaprolactone-*b*-polyethyleneglycol-*b*-polycaprolactone triblock [Ag/(PCL-*b*-PEG-*b*-PCL)] copolymers containing silver nanoparticles were produced. by reduction of silver nitrate (AgNO₃) metal salts in the block copolymers. Characterization of mPEG-*b*-PCL and PCL-*b*-PEG-*b*-PCL block copolymers was performed using GPC, FTIR and ¹HNMR techniques. Silver nanoparticle formation in the hybrid structure was observed from the surface plasmon resonance (SPR) wavelength change and fluorescence emission spectrum. The rate of reduction of methylene blue to leuco-methylene in the presence of silver nanoparticles in the polymer was investigated.

Keywords: Silver nanoparticles, Block copolymer, Methylene Blue

I. GİRİŞ

Hibrit nanomalzemeler; polimerler, lipidler, peptitler ve proteinler ile silikon, altın, demir, kalsiyum ve grafen oksit (GO) gibi iki veya daha fazla organik ve inorganik bileşenin, farklı fiziksel ve kimyasal yöntemler ile bir araya gelmesi sonucu ortaya çıkan yeni nanomalzeme sınıfı olarak adlandırılabilir [1,3]. Organik inorganik hibrit nanomalzemelerin yapısında yer alan kuantum nokta, karbon, silika bazlı nanomalzemeler ve metal nanoparçacıkların, farklı fiziksel ve kimyasal özelliklerin yanı sıra çok yönlü yapı ve boyutlara sahip olabilmeleri sebebiyle yeni özellikler sergilemeleri biyomedikal, elektronik, optik ve katalitik uygulamalar için benzeri görülmemiş fırsatlar sunar. Özellikle Altın (Au), gümüş (Ag) gibi nanoparçacıkların özellikleri, dökme metallerin veya moleküler bileşiklerin özelliklerinden önemli ölçüde farklıdır [4,5]. Altın (Au), gümüş (Ag), gibi metal nanoparçacıklar sahip oldukları serbest elektronlar sebebiyle kendilerine özgü, yüzey plazmon rezonans dalgaboyuna sahiptirler (SPR) [6]. Yüzey plazmon rezonansı parçacıklar arası mesafeye, parçacık yapısına sıkı sıkıya bağlıdır ki, polimerler, ligandlar ve biyolojik moleküller ile biraraya geldiklerinde SPR özelliği sentezlenme aşamasında korunabilir [7]. Son yıllarda, polimerler tarafından stabilize edilen nanoparçacıkları sentezlemek için, fotokimyasal indirgeme, elektrokimyasal teknikler, kimyasal indirgeme, poliol prosesi ve radyolitik yöntemler kullanılmıştır [8]. Parçacık boyutunu, dağılımını, yapısını ayarlayabilmek ve kararlı parçacıklar elde etmek önemli bir hedef olmuştur. Organik inorganik hibrit nanomalzemelerin üretiminde, metal nanoparçacıkların sterik stabilizasyon ile etkili bir şekilde stabilize edebilmesi ve polimer/metal tuzu oranının değişmesiyle nanoparçacıkların çekirdek boyutunun kolay ayarlanabilmesi sebebiyle organik yapı olarak blok kopolimerler büyük ilgi görmüştür [9,10].

Poli (ϵ -kaprolakton) (PCL), Poli laktik asit (PLA), poli (glikolik asit) (PGA) ve kopolimerleri ve karışımları iyi biyobozunurluğu, biyoyumluluğu ve ilaç geçirgenliği sebebiyle büyük ilgi görmektedir. Biyomedikal uygulamalarda ve çevre dostu materyaller olarak geniş ölçüde kullanılmaktadırlar. PCL'un hidrofobik karakteri ve yüksek kristallik derecesi biyobozunma hızını sınırlandırmaktadır. Bunun sonucu olarak örneğin ilaç taşıyıcı olarak kullanıldığı zaman hidrofobik PCL nanoparçacıkların proteinler tarafından adsorbsiyonu nedeniyle hedefli ilaç verme ve kontrollü ilaç salınımında beklenen etkiyi elde etmek mümkün olmamakta veya doku mühendisliğinde kullanıldığı zaman da yumuşak doku varlığında daha az biyoyumlu olmasına neden olmaktadır. Bu özellikler PCL'nin uygulama alanlarını sınırlandırmakta, olumsuz etki etmektedir ve modifikasyonu gerekli kılmaktadır. PCL'nin belirtilen özelliklerini modifiye etmek için ve böylece doku mühendisliği ve biyomedikal bilimdeki uygulanabilirliğini iyileştirebilmek için biyolojik uyumluluk, antijenliğin yokluğu, immunojenisite olmama, toksik olmaması, bağışıklık sağlayıcılık ve hidrofiliğinden dolayı polietilen glikol (PEG) ile kopolimerleştirme yoluna gidilmiştir. PEG ve PCL segmentlerini içeren blok kopolimerler uygun çözücüler içinde nanoboyuttaki misellere dönüştürülebilmekte, oluşan miseller ilaç salınım sistemlerinin dizaynında hidrofobik PCL bloku biyobozunur ve hidrofilik PEG bloku biyoyumlu olduğu için geniş ölçüde uygulanmıştır. PCL ve PEG segmentlerini içeren di, tri, yıldız ve diğer blok kopolimerlerin sentezi ile ilgili birçok çalışma literatürde mevcuttur [11-41].

Ag nanoparçacıklar, katalitik [42], antiviral [43], antibakteriyel [44,45], fototerapi [46], biyo görüntüleme [47] ve ilaç salınım sistemlerinde [48,49] kullanılmaktadır. Kimyasal indirgeme, lazer ablasyon ve biyo organik bitkiler kullanılan yeşil sentez gibi kimyasal, fiziksel, fotokimyasal ve biyolojik süreçler sentezlenme yöntemlerindedir [50]. Ag Np'lerin kontrollü sentezlenmesinde yüzey modifikasyonu için polimerler gibi pasivasyon maddelerine ihtiyaç duyulmaktadır, bu sebeple polietilen glikol (PEG) uygun bir ajandır [51]. Literatürde, Saldias ve arkadaşları [52] Ag ve Au nanoparçacıklar içeren PEG-PCL ve 343 K'de Dimethyl sulfoxide (DMSO) kullanarak PEG-PCL blok ve dörtlü kopolimerlerde tek adımda, Shalumon ve arkadaşları [53] çekirdek - kabuk yapıda gümüş nanoparçacık içeren PEG/PCL kabuk ve hyalüronik asit/ibuprofen fiberleri, Madhavan [54] tarafından PEG içerisinde stabilize edilmiş AgPCL sentezlemiştirlerdir. Sakai ve arkadaşları PEO-PPO blok kopolimeri ve PEO-PPO blok kopolimerlerinin sulu çözeltilerinde gümüş iyonlarının (Ag⁺) indirgenmesi ve sonuçta Ag nanoparçacıklarının oluşumunu araştırmışlardır [55].

Zhong ve arkadaşları poli(etilen glikol)-*b*-poli(3-hidroksibutirat-co-3-hidroksivalerat)-poli(etilen glikol) (PEG-PHBV-PEG) ile ZnO veya Ag-ZnO nanoparçacıklarının oluşturduğu kompozit yapının antibakteriyal özelliğini incelediler [56].

Metilen mavisi {[3,7-bis(Dimetilamino)fenilazatiyonyum klorür] – MB}, hidrofilik ve katyonik bir fenotiyazinyum bileşiğidir [57]. İlaç salınım sistemlerinin, salınım kinetiklerinin çalışılmasında metilen mavisi model bir ilaç olarak kullanılmaktadır [58]. Ayrıca, metilen mavisi gibi boyalar, baskı mürekkepleri olarak endüstriyel üretimde de kullanılmaktadır. Bu malzemelerin, atık sularının olumsuz çevresel etkilerini en aza indirmek için yeni gelişmelere ihtiyaç vardır [59]. Özellikle nanokatalizörler sentetik boyaların olumsuz özelliklerinin azaltılması için umut verici ajanlardan biridir [60-62]. İlk kez, Draoua ve arkadaşları; Bentonit ile modifiye edilmiş PCL-PEG-PCL'ün katalitik aktivitesini metilen mavisi indirgenmesi ile çalıştılar [63].

Bu çalışmada, PCL'nin özelliklerini modifiye etmek için biyolojik uyumluluk, hidrofilik özelliklerinden dolayı polietilen glikol (PEG) ile kopolimerler sentezlenmiştir. A: PEG blok ve B:PCL blok olmak üzere AB tipi di-blok ve BAB tipi tri-blok kopolimerler sırasıyla mPEG (monometoksi poli(etilen glikol)) ve PEG hidroksil fonksiyonel grup taşıyan makro başlatıcılar ve kalay oktanoat (Sn(oct)₂) katalizör kullanılarak, ϵ -kaprolakton (ϵ -CL)'nun halka açılması polimerizasyonu ile sentezlenmiştir. Sentezlenen polimerlerin malzeme uygulamalarında kullanımını geliştirmek ve güçlendirmek için antibakteriyel ve katalitik özellikleri bilinen gümüş nanoparçacıklar, farklı PEG içeriğine sahip AB tipi ve BAB tipi blok polimerler ile üretilerek, organik inorganik hibrit malzemelerin optik ve katalitik özellikleri araştırılmıştır.

II. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

A. MALZEMELER VE KARAKTERİZASYON

A.1. Malzemeler

Polietilen glikol (Mn =2000, 5000; PEG), Polikaprolakton (ϵ -CL, Aldrich, % 97), kalay oktanoat (Sn(Oct)₂), Gümüş Nitrat (AgNO₃, ≥99,0%), Tetrahidrofuran (THF, ≥99,9%), ve Metilen Mavisi, Sigma-Aldrich'ten temin edilmiştir.

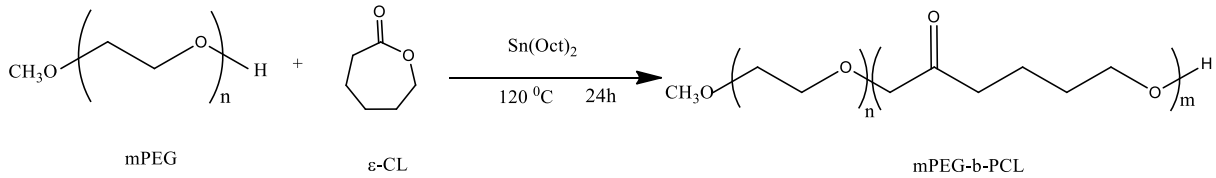
A.2. Karakterizasyon

Blok kopolimerlerin, Fourier-dönüştürülmüş kızılötesi spektrumları (FTIR) Perkin Elmer Pyris model FTIR spektrometresi kullanılarak, Proton NMR spektrumları ise 25 °C de Agilent NMR 600 MHz NMR (Agilent, Santa Clara, CA, USA) spektrometre 3 mm geniş band prob ile kaydedilmiştir. Molekül ağırlıkları, bir pompa, üç Viscogel GPC kolonu (G2000H HR, G3000H HR ve G4000H HR) ve 30 °C' de 1,0mL/dak THF akış hızına sahip bir Viscotek diferansiyel kırılma indisi (RI) dedektöründen oluşan Viscotek GPCmax Otomatik numune alma sisteminde belirlendi. Veriler, Viscotek Omni SEC Omnie 01 yazılımı kullanılarak analiz edildi. Kolloidal çözeltilerin yüzey plazmon rezonans değerleri ve Metilen mavisi indirgenmesi için 300-800 nm aralığında, UV-Görünür bölge absorpsiyon eğrisi Cary 100 model UV-Görünür bölge spektrometresi ile kaydedilmiştir. Çözeltiler için UV kuartz küvet (1 cm) kullanılmıştır. Cary Eclipse model Floresans spektrometre cihazı kullanılarak Floresans emisyon spektrumları λ_{exc} : 400 nm dalgaboyu için elde edilmiştir.

B. SENTEZ

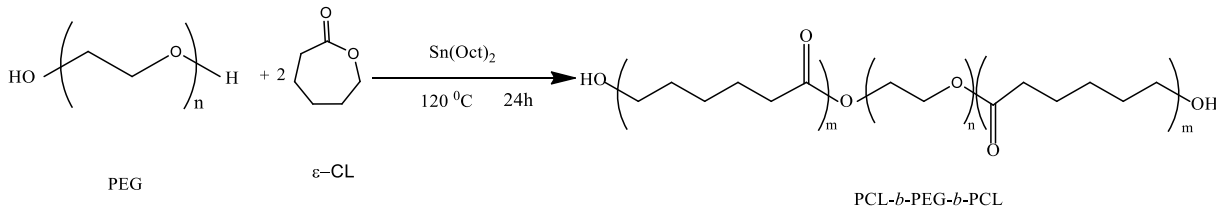
B.1. mPEG-b-PCL Diblok ve PCL-b-PEG-b-PCL Triblok Kopolimerlerinin Sentezi

250 mL'lik balon içerisine (10 g) mPEG 50 mL susuz toluende çözüldü. Üzerine ϵ -kaprolakton ve kalay oktanat eklenerek, 15 dk Argon gazı geçirilmiştir. 24 saat 120 °C yağ banyosunda bırakıldıktan sonra oda sıcaklığına getirilerek soğuk petrol eterinde çöktürülmüştür. Malzeme bir süre dinlendirildikten sonra dekante edilerek vakum etüvde (30 °C) kurumaya bırakılmıştır. Deneylerin başlangıç koşulları ve sonuçları Tablo 1'de listelenmiştir.



Şekil 1. mPEG-b-PCL (AB tipi) diblok kopolimer sentez şeması

Tri blok kopolimerin sentezi diblok kopolimerin sentezi ile benzer şekilde Tablo 2'deki deney başlangıç koşulları kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



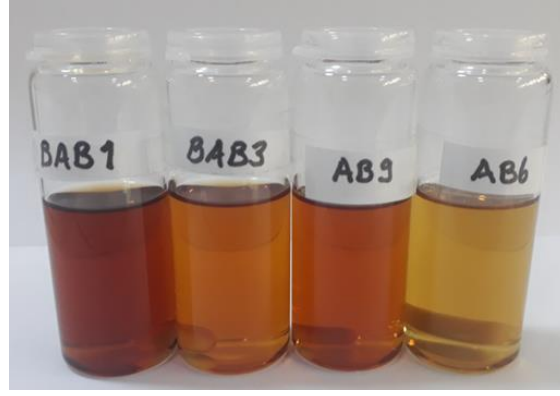
Şekil 2. PCL-b-PEG-b-PCL (BAB tipi) triblok kopolimer sentez şeması

B.2. Gümüş Nanoparçacık İçeren mPEG-b-PCL Diblok ve PCL-b-PEG-b-PCL Triblok Kopolimerlerinin Sentezi

Ag nanoparçacıkları içeren mPEG-b-PCL ve PCL-b-PEG-b-PCL kolloidallerinin sentezlenmesi aşamasında; 0,200 g kopolimer, 20 mL (Tetrahidrofuran) THF içinde çözülmüştür. Polimer/ THF çözeltisi içerisine, 0,1 M olacak şekilde hazırlanan AgNO_3 ve NaBH_4 sulu çözeltisinden 0,2 mL/ 0,1 mL sırasıyla eklenmiştir. Ancak AgNO_3 ilave edildikten sonra çözelti oda sıcaklığında 10 dk karıştırılarak dengeye gelmesi sağlanmıştır. NaBH_4 sulu çözeltisi ilave edildikten sonra indirgenme reaksiyonu tamamlanmıştır. Çözelti 30 dk karıştırılmaya devam edilmiştir. Gümüş nanoparçacık içeren polimerler için Şekil 3'te verilen karakteristik renkler elde edilmiştir [64].

B.3. Metilen Mavisi İndirgenmesi

0,1 M NaBH_4 ve 0,4 mM metilen mavisi sulu çözeltisi hazırlanmıştır. 0,4 mM metilen mavisi çözeltisinin 10 mL üzerine 10 mL saf su ilave edilerek 5 adet stok çözelti elde edilmiştir. Her bir çözeltiye 0,01 mL NaBH_4 /Sulu çözeltisi ilave edilmiştir ve dengeye gelmesi için karışmaya bırakılmıştır. Daha sonra çözeltilerin üzerine 0,4 mL Ag/AB ve Ag/BAB polimer çözeltisi pastör pipet ile ilave edilmiş ve değişim fotoğraflanarak ayrıca UV Görünür bölge spektrumdan kaydedilmiştir. Çözeltilerin tekrar dengeye gelmesi için 1 saat beklenmiş ve UV Görünür bölge absorbans eğrisi kaydedilmiştir.



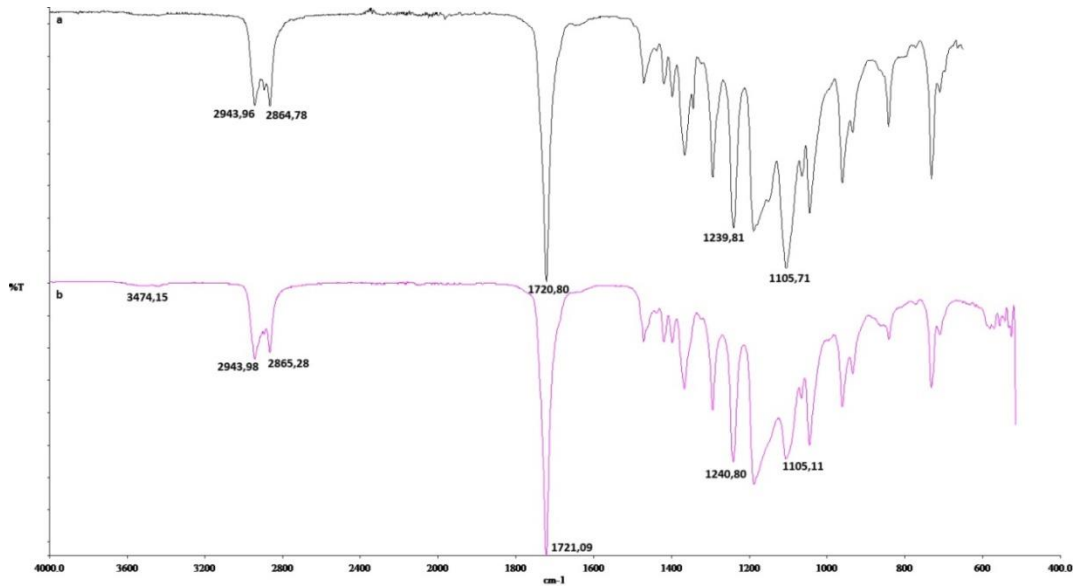
Şekil 3: Ag/ mPEG-*b*-PCL ve Ag/ PCL-*b*-PEG-*b*-PCL kolloidal çözeltileri

III. BULGULAR ve TARTIŞMA

A. BLOK KOPOLİMERLERİN KARAKTERİZASYONU

A.1. mPEG-*b*-PCL ve PCL-*b*-PEG-*b*-PCL Blok Kopolimerinin FTIR Sonuçları

Şekil 4a'da mPEG-*b*-PCL diblok kopolimerine Şekil 4b'de PCL-*b*-PEG-*b*-PCL triblok kopolimerine ait FTIR spektrumları verilmiştir. Blok kopolimere ait FTIR spektrumları PEG ve PCL bloklarına ait karakteristik pikleri kapsamaktadır. Şekil 4a'da 1721,66 cm⁻¹ deki absorpsiyon bandı PCL bloklarındaki ester karbonil grubunun C=O germe titreşimlerine aittir. 1105,11 ve 1239,81 cm⁻¹'deki absorpsiyon bantları, PEG'nin tekrarlanan -OCH₂CH₂- birimlerinin karakteristik C-O-C germe titreşimlerine aittir. 2864,69 – 2939,35 cm⁻¹ deki pikler C-H gerilmelerini temsil eder. 3474 cm⁻¹'deki absorpsiyon bandı, kopolimerdeki terminal hidroksil gruplarına (-OH) atanır. Şekil 4b'de 1721,09 cm⁻¹'deki absorpsiyon bandı PCL ünitelerindeki ester karbonil grubunun C=O germe titreşimlerine atfedilir. 1105,71 ve 1240,8 cm⁻¹'deki absorpsiyon bantları, PEG'nin tekrarlanan -OCH₂CH₂- birimlerinin karakteristik C-O-C germe titreşimlerine atfedilir. 2864,69 – 2939,35 cm⁻¹'deki maksimumlar C-H gerilmelerini temsil eder. 3508,65 cm⁻¹'deki absorpsiyon bandı kopolimerdeki terminal hidroksil gruplarına (-OH) atanır.

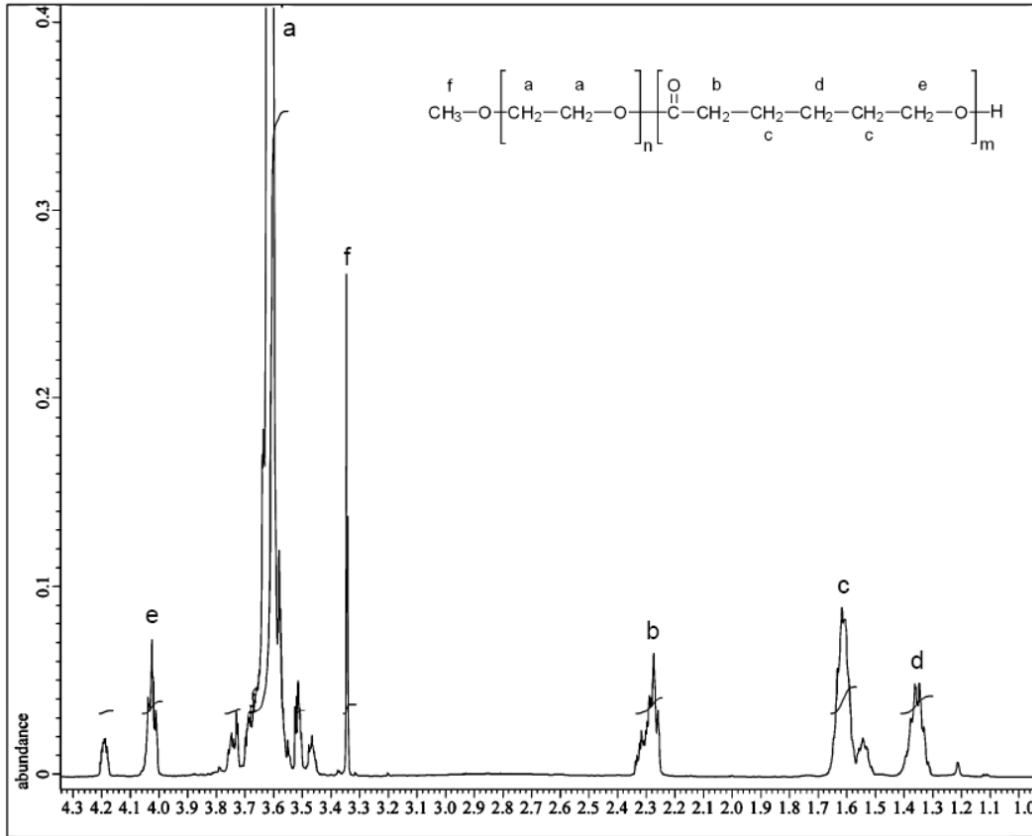


Şekil 4: a) mPEG-*b*-PCL AB tipi diblok kopolimerin b) PCL-*b*-PEG-*b*-PCL BAB tipi triblok kopolimerlerin FTIR spektrumları

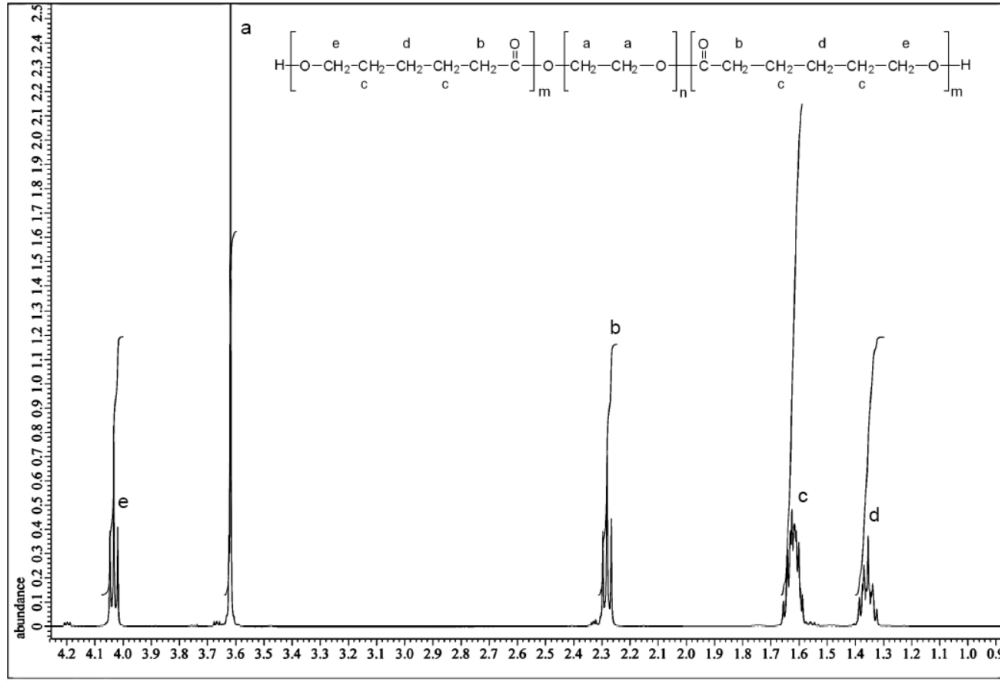
A.2. mPEG-*b*-PCL ve PCL-*b*-PEG-*b*-PCL Blok Kopolimerinin ¹H NMR Sonuçları

mPEG-*b*-PCL diblok kopolimerinin oluşumunu doğrulamak için, ¹H NMR analizleri de gerçekleştirilmiştir. Diblok kopolimerin ¹H NMR spektrumları blok kopolimerdeki PEG ve PCL bloklarına ait karakteristik pikleri kapsamaktadır (Şekil 5). 3,65 ppm'deki keskin pik PEG ünitelerindeki metilen protonlarını (-CH₂CH₂O-) gösterdi. 1,38, 1,65, 2,30 ve 4,06 ppm'deki pikler PCL ünitelerindeki metilen protonlarına aittir. Ayrıca 3,32 ppm'deki pik uçtaki O-CH₃ protonlarına aittir.

PCL-*b*-PEG-*b*-PCL triblok kopolimerinin ¹H NMR spektrumu blok kopolimer yapısının oluştuğunu ispatlamıştır (Şekil 6). 3,65 ppm'deki keskin pik PEG ünitelerindeki metilen protonlarını (-CH₂CH₂O-) gösterdi. 1,38, 1,65, 2,31 ve 4,06 ppm'deki pikler PCL ünitelerindeki metilen protonlarına aittir.



Şekil 5: m PEG-*b*-PCL AB tipi diblok kopolimerin ¹H NMR spektrumu (Tablo 1'deki AB1)



Şekil 6: PCL-b-PEG-b-PCL BAB tipi triblok kopolimerin ¹H NMR spekturumu (Tablo 2'deki BAB1)

A.3. mPEG-b-PCL ve PCL-b-PEG-b-PCL Blok Kopolimerinin GPC Sonuçları

mPEG-b-PCL diblok kopolimerinin sentezi için deney koşulları ve sonuçları Tablo 1'de, PCL-b-PEG-b-PCL triblok kopolimerlerinin sentezi için deney koşulları ve sonuçları Tablo 2'de listelenmiştir. Bütün koşullarda polimerizasyonlarda yüksek dönüşüm oranlarına bağlı olarak yüksek verim elde edilmiştir.

Blok kopolimerlerin GPC kromatogramlarının monomodal olduğu ve dispersite (Đ) değerlerinin diblok durumunda 1,09-1,72 arasında; triblok durumunda 1,29-1,65 arasında değiştiği görülmüştür. Đ değerleri bütün blok kopolimerler için oldukça dar bir dağılım sergilemiştir.

Tablo 1. mPEG-b-PCL AB tipi diblok kopolimerinin sentezi

Deney No	mPEG (Mn/g)	n ε-CL/n mPEG	Süre (Saat)	Verim (g/%)	GPC (g/mol)	GPC (Đ)
AB1 ^a	2000/10	9:1	24	12,86/85	3832	1,09
AB5 ^a	2000/10	50:1	24	37,40/96	7089	1,09
AB6 ^a	2000/10	50:1	48	32,23/83	8890	1,38
AB9 ^b	5000/1	440:1	24	11,04/99	24947	1,72
AB10 ^b	5000/1	440:1	48	11,08/99	20548	1,65

^an_{CL}/n_{Sn(oct)2}=1000, toluen; ^bn_{CL}/n_{Sn(oct)2}=713, diklorometan

Tablo 2. PCL-b-PEG-b-PCL triblok kopolimerlerinin sentezi

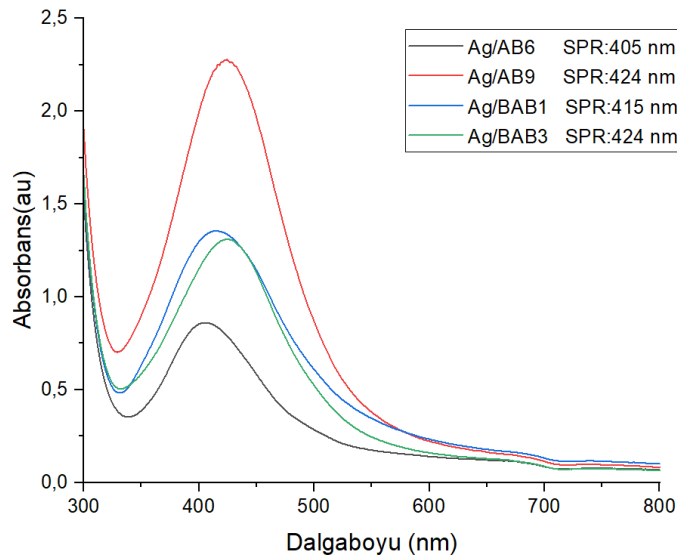
Deney No	PEG (Mn/g)	n ϵ -CL /n PEG	Süre (Saat)	Verim (g/%)	GPC (g/mol)	GPC (Đ)
BAB 1 ^a	2000/5	50:1	24	18,77/99	12460	1,35
BAB 2 ^a	4000/5	50:1	24	12,00/99	10650	1,29
AB 3 ^b	2000/1	176:1	24	10,65/96	24722	1,56
BAB 4 ^b	4000/1	352:1	24	10,58/96	27187	1,65

^an_{cL} / n_{Sn(oct)2}=1000, toluen; ^b n_{cL} / n_{Sn(oct)2}=713, diklorometan

B. ORGANİK İNORGANİK HİBRİTLERİN KARAKTERİZASYONU

B.1. Ag/ mPEG-b-PCL ve Ag/ PCL-b-PEG-b-PCL UV-Görünür Bölge Spektrumları

AB ve BAB di-blok ve tri-blok kopolimerler içerisindeki Ag nanoparçacıkları içeren koloidal çözeltilerin, UV-Görünür bölge absorpsiyon spektrumu Şekil 7’de verilmiştir. Şekil 7; Ag/AB6, Ag/AB9, Ag/BAB1 ve Ag/BAB3 örnekleri için sırasıyla 405, 424, 415 ve 424 nm’de gümüş nanoparçacıklara ait karakteristik yüzey plazmon rezonans (SPR) dalga boyu değerleri vermiştir bu değerler 100 nm’den küçük gümüş nanoparçacıkların varlığını göstermektedir. Literatür de, gümüş nanoparçacıkların boyut ve yapısına bağlı SPR dalgaboyu değerleri verilmiştir, sonuçlar uyumlu olarak elde edilmiştir [65]. Gümüş nanoparçacıklar, elektromanyetik ışınla etkileşime girdiklerinde, iletkenlik elektronları ortaklaşa bir titreşim gerçekleştirir ve bunun sonucunda yüzey plazmon rezonans spektrumları (SPR) ortaya çıkar, absorpsiyon bantları metal ve yarı iletken nanoparçacıkların çapı ve en boy oranı (küresel, çubuk gibi.) ile ilgilidir. [66,67]. UV- Görünür bölge absorpsiyon spektroskopisi, nanoparçacıkların optik özelliklerini ve elektronik yapılarını karakterize etmek için en yaygın kullanılan yöntemdir, çünkü nanoparçacıkların yüzey plazmon rezonansı küçük boyutlarının bir sonucudur, ancak çok sayıda faktörden etkilenebilir, özellikle solvent ve yüzey işlevselleştirmeleri, bandın frekansına ve yoğunluğuna katkı sağlamaktadır [68].

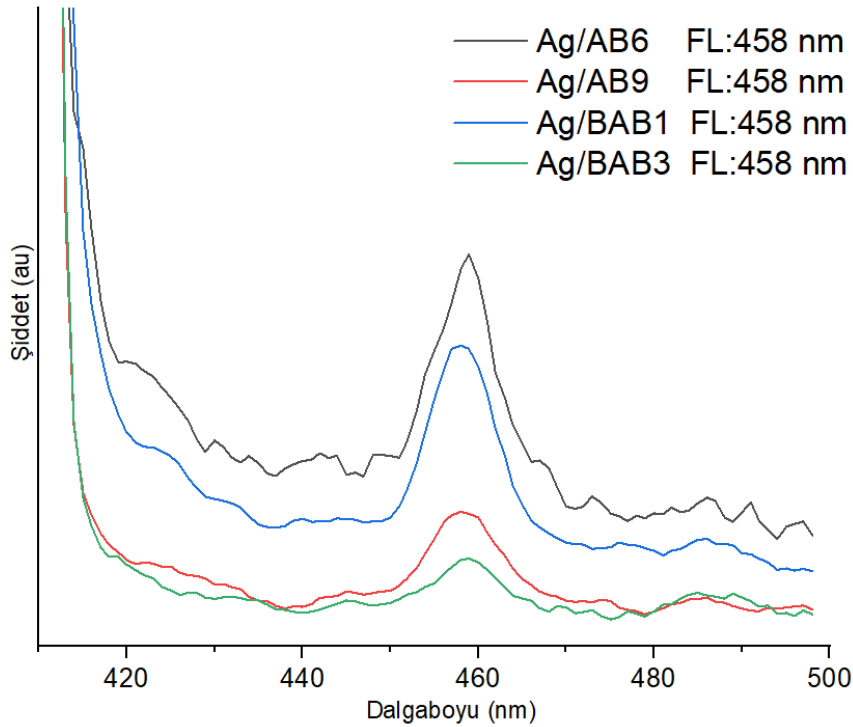


Şekil 7: Ag/AB ve Ag/BAB koloidal çözeltilerinin UV-Görünür Bölge Spektrumları

Şekil 7’de verildiği gibi, aynı miktarda AgNO₃ ve NaBH₄ ilavesi içeren organik inorganik hibrit nanomalzemelerin SPR değerlerinde küçük kaymalar olmuştur. Tablo 1 ve Tablo 2’de verildiği üzere bu kaymalar blok kopolimer yapılarının farklılığından kaynaklı olabilmektedir. Kong ve arkadaşları, gümüş nanoparçacık içeren polivinil alkol-polimetil metakrilat (PVA-PMMA) nanofiberleri sentezlediler ve gümüş iyon/PVA oranına göre parçacık boyutunun değiştiğini gözlemlediler [69].

B.1. Ag/ mPEG-*b*-PCL ve Ag/ PCL-*b*- PEG-*b*-PCL Floresans Emisyon Spektrumları

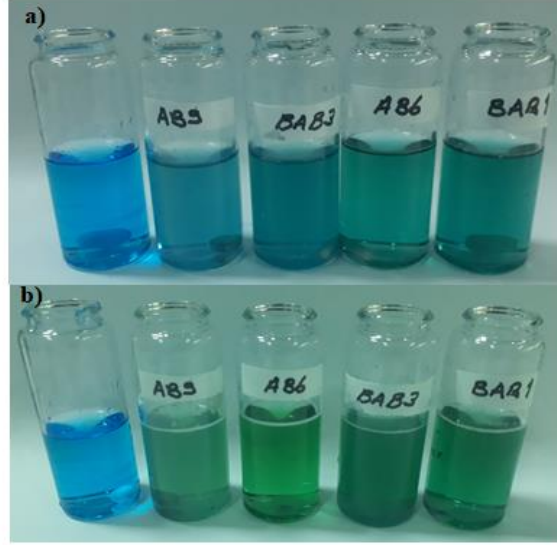
Organik inorganik hibrit nanomalzemelerin koloidal çözeltilerinin floresans emisyon spektrumları Şekil 8'de gösterilmektedir. Ag nanoparçacıklarının farklı AB ve BAB tipi blok kopolimer örnekleri için emisyon spektrumu, 400 nm uyarım ile 458 nm'de pik vermiştir. Gümüş nanoparçacıklarda, d-bandı ile sp-iletkenlik bandı arasındaki elektron boşluk çiftinin Fermi seviyesinin üzerindeki rekombinasyonu bu emisyon değerini üretmiştir. Jiang ve arkadaşları suda silver nanoparçacıkların floresans emisyon dalgaboyu değerini 465 nm olarak önermişlerdir [70]. Smitha ve arkadaşları, gümüş nanoparçacıklar için floresans emisyon dalgaboyunun partikül boyutundan bağımsız olduğu, parçacık boyutunun azalması ile floresans şiddetinin keskin bir şekilde arttığı tespit etmişlerdir [68]. Ancak, gümüş nanoparçacıkların floresans şiddeti, stabilize edici ajanlar, metalik öncü konsantrasyonları ve çözücüler gibi çeşitli mikro ortamlardan etkilenebilmektedir [71]. Buna göre, AB ve BAB polimerlerinin varlığı ile floresans emisyon dalgaboyu şiddetindeki değişim açıklanabilir.



Şekil 8: Ag/AB ve Ag/BAB koloidal çözeltilerinin Floresans Emisyon Spektrumları

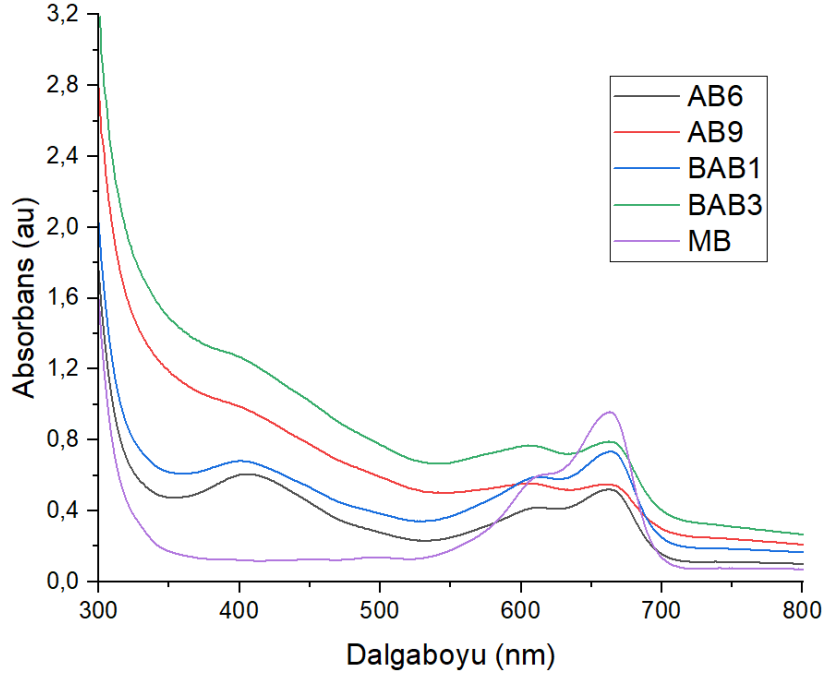
C. KOLLOİDAL ÇÖZELTİLERİN METİLEN MAVİSİ İNDİRGEMESİ

Ag nanoparçacık içeren Ag/AB ve Ag/BAB koloidal çözeltilerinin katalitik aktivitelerini incelemek için NaBH₄ ilave edilmiş olan metilen mavisinin 663 nm'de bulunan absorpsiyon dalga boyu değişimi takip edildi. Her örnek için hazırlanan stok çözeltiler içerisine pastör pipet ile damlatılan 0,4 mL Ag/AB ve Ag/BAB di-blok ve tri-blok koloidal çözeltileri eklendiğinde, stok çözeltiye göre olan anlık değişim Şekil 9'da gösterilmiştir. Şekil 9a, gümüş nanoparçacık içeren AB ve BAB tipi koloidal çözeltiler, metilen mavisine + NaBH₄ çözeltisine, 0.2 mL ilave edildiğinde olan renk değişimini göstermektedir. İlave edilen çözelti seviyesi 0,4 mL'ye ulaştıktan sonra zaman içinde reaksiyon devam etmemiştir.



Şekil 9: Ag/AB ve Ag/BAB kolloidal çözeltilerinin metilen mavisini indirgenme çözeltileri

Ag/AB ve Ag/BAB içerisinde yer alan gümüş nanoparçacıklar, metilen mavisinin indirgenmesini hızlandırmada kritik bir rol oynar. Ag nanoparçacıklar, BH^4 vericisi ile Metilen mavisini alıcısı arasındaki elektron transferini kolaylaştırmak için reaksiyonu katalize ederler [72,73]. Mallick ve arkadaşları, nanoparçacıkların redoks tipi bir reaksiyona karşı termodinamik hareketini ve katalitik etkisini araştırdılar. Bir katalitik reaksiyon içerisinde yer alan küçük gümüş kümelerin enerji seviyesi donör (Polimer) ve akseptör (MV) seviyelerin arasında yer alır ise katalitik reaksiyonun gerçekleşeceğini, gümüş kümelerin enerji seviyesinin akseptör seviyesinin üstüne çıkması durumunda duracağını belirttiler ve bu durumu elektron rölesi olarak tanımladılar [74].



Şekil 10: Ag/AB ve Ag/BAB kolloidal çözeltilerinin Metilen Mavisini+NaBH₄ indirgenmesi

Buna göre, gümüş nanoparçacıklar içeren Ag/AB ve Ag/BAB kolloidal çözeltilerinin metilen mavisini+NaBH₄ çözeltisine ilave edilmesi ile çözelti içerisinde yer alan küçük gümüş kümeleri, elektron rölesi görevi görerek, anlık olarak reaksiyonu hızlandırdılar. Bu sonuç, Şekil 8 ile verilen Floresans emisyon spektrumu ile uyumludur. Şekil 8' de en yüksek şiddet değerine Ag/AB6 ve

Ag/BAB1 sahiptir. Şekil 10 incelendiğinde Ag/AB6 ve Ag/BAB1 örnekleri için, çözelti içerisinde yer alan gümüş kürelerinin elektron transfer mekanizmasının çalıştığı ve donör akseptör seviyeleri arasında elektron alışverişi yolu ile nanoparçacık yapı oluşumunun varlığı yaklaşık 400 nm'deki absorbands değeri ile görülmektedir. Ayrıca, Tan ve arkadaşları, polimerin yapısının, boya molekülü yükleme derecesi, nanomalzemenin yüzey yapısının ve boyutunun, ligand değişim etkileşimlerinin etkisinin de sistemin katalitik performansını etkilediğini belirttiler [75].

IV. SONUC

mPEG-*b*-PCL (AB Tipi) diblok kopolimeri ve PCL-*b*-PEG-*b*-PCL (BAB tipi) triblok kopolimeri kullanışlı ve basit bir reaksiyon yoluyla sentezlenmiştir. AB ve BAB tipi polimer örneklerinde gümüş metal tuzlarının indirgenmesiyle gümüş nanoparçacık içeren organik inorganik hibrit nanomalzemeler sentezlenmiştir. Mie teorisine dayanarak, koloidal özelelerin SPR dalga boyu değerinden 100 nm'den küçük küresel gümüş nanoparçacıkların varlığı, UV-Görünür bölge absorbands spektrumundan tespit edilmiştir. Çözelti renkleri de bu durumu desteklemektedir.

Organik-inorganik yapının katalitik aktivitesinin incelenmesinde, Metilen mavisinin indirgenmesi üzerinde çözelti içerisinde yer alan gümüş kümelerin reaksiyonu hızlandırdığı ve bir redox potansiyeli gerçekleştirdiği belirlenmiştir. Koloidal çözelti miktarının artırılması bu reaksiyon sürecini etkilememiştir. mPEG-*b*-PCL (AB Tipi) ve PCL-*b*-PEG-*b*-PCL (BAB tipi) polimerleri içerisinde yer alan PEG ve PCL bileşenlerinin varlığının, katalitik özelliklere sahip gümüş nanoparçacıklar üzerindeki etkisi yeni çalışmalar ile aydınlatılabilir.

TEŞEKKÜR: Bu çalışma Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından desteklenmiştir (Proje no: **2016-72118496-07**)

V. KAYNAKLAR

- [1] S. Mehta, A. Suresh, Y. Nayak, R. Narayan, U. Y. Nayak, "Hybrid nanostructures: Versatile systems for biomedical applications," *Coordination Chemistry Reviews*, vol: 460, pp.214482, 2022.
- [2] D. C. F. Soares, S. C. Domingues, D. B. Viana, M. L. Tebaldi, "Polymer-hybrid nanoparticles: Current advances in biomedical applications," *Biomedicine & Pharmacotherapy*, vol: 131, pp. 110695, 2020.
- [3] W. Parka, H. Shinb, B. Choic, W. K. Rhimc, K. Naa, D. K. Hanc. "Advanced hybrid nanomaterials for biomedical applications," *Progress in Materials Science*, vol: 114, pp. 100686, 2020.
- [4] G. Chen, Y. Qian, H. Zhang, A. Ullah, X. He, Z. Zhou, H. Fenniri, J. Shen, "Advances in cancer theranostics using organic-inorganic hybrid Nanotechnology," *Applied Materials Today*, vol: 23, pp. 101003, 2021.
- [5] G. Yang, S. Zeng, F. Phua, A. K. Bindra, Y. Zhao, "Degradability and Clearance of Inorganic Nanoparticles for Biomedical Applications," *Adv. Mater.*, vol. 31, pp. 1805730, 2019.
- [6] A. Jouybana, E. Rahimpoura, "Optical sensors based on silver nanoparticles for determination of pharmaceuticals: An overview of advances in the last decade," *Talanta*, vol. 217, pp. 121071, 2020.
- [7] N. Tepale, V. V. A. Fernández-Escamilla, C. Carreon-Alvarez, V.J. González-Coronel, J. Aguilar, "Nanoengineering of Gold Nanoparticles: Green Synthesis, Characterization, and Applications," *Crystals*, vol. 9, pp.612, 2019.

- [8] S. K. Bajpai, Y. M. Mohan, M. Bajpai, R. Tankhiwale, V. Thomas, "Synthesis of Polymer Stabilized Silver and Gold Nanostructures," *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, vol.7, pp. 1–17, 2007.
- [9] B. Sarkar, P. Alexandridis, "Block copolymer–nanoparticle composites: Structure, functional properties, and processing," *Progress in Polymer Science*, vol.40, pp.33-62, 2015.
- [10] C. Saldías, S. Bonardd, C. Quezada, D. Radic, A. Leiva, "The Role of Polymers in the Synthesis of Noble Metal Nanoparticles: A Review," *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, vol. 16, pp.1–28, 2016.
- [11] X. Wei, C. Gong, M. Gou, S.Fu, Q. Guo, S. Shi, F. Luo, G. Guo, L. Qiu, Z. Qian, "Biodegradable poly(epsilon-caprolactone)-poly(ethylene glycol) copolymers as drug delivery system," *International Journal of Pharmaceutics*, vol. 381, pp. 1-18, 2009.
- [12] B. Bogdanov, A. Vidts, A. Van Den Bulcke, R. Verbeeck, E. Schacht, "Synthesis and thermal properties of poly(ethylene glycol)-poly(ε-caprolactone) copolymers," *Polymer*, vol: 39, pp. 1631-1636, 1998.
- [13] K. Jette, D. Law, E. Schmitt, G. Kwon, "Preparation and Drug Loading of Poly(Ethylene Glycol)-blok-Poly(ε-Caprolactone) Micelles Through the Evaporation of a Cosolvent Azeotrope," *Pharmaceutical Research*, vol. 21, pp. 7, 2004.
- [14] C. Shen, S. Guo, C. Lu, "Degradation behaviors of monomethoxy poly(ethylene glycol)-b-poly(ε-caprolactone) nanoparticles in aqueous solution," *Polym. Adv. Technol.*, vol. 19, pp. 66-72, 2008.
- [15] M. Gou, X. Zheng, K. Men, J. Zhang, L. Zheng, X. Wang, F. Luo, F. Y. Zhao, X. Zhao, Y. Wei, Z. Qian. "Poly(ε-caprolactone)/Poly(ethylene glycol)/Poly(ε-caprolactone) Nanoparticles : Preparation, Characterization, and Application in Doxorubicin Delivery," *J. Phys. Chem. B*, vol. 113, pp. 12928-12933, 2009.
- [16] R. Diab, M. Hamoudeh, O. Boyron, A. Elaissari, H. Fessi, "Microencapsulation of cytarabine using poly(ethylene glycol)-poly (ε-caprolactone) diblock copolymers as surfactant agents," *Drug Development and Industrial Pharmacy*, vol. 36, no:4, pp. 456-469, 2010.
- [17] J. Sun, C. He, X. Zhuang, X. Jing, X. Chen, "The crystallization behavior of poly(ethylene glycol)- poly(ε-caprolactone) diblock copolymers with asymmetric block compositions," *J. Polym Res.*, vol. 18, pp. 2161-2168, 2011.
- [18] S. Bhatt, J. Pulpytel, M. Mirshahi, F. Arefi-Khonsari, "Catalyst-Free Plasma-Assisted Copolymerization of Poly(ε-caprolactone)-poly(ethylene glycol) for Biomedical Applications," *ACS Macro Lett.*, vol. 1, pp.764-767, 2012.
- [19] B. Zhang, H. Zhang, Y. Li, J. N. Hoskins, S. M. Grayson, "Exploring the Effect of Amphiphilic Polymer Architecture: Synthesis, Characterization, and Self-Assembly of Both Cyclic and Linear Poly(ethylene glycol)-b-polycaprolactone," *ACS Macro Lett.*, vol. 2, pp. 845-848, 2013.
- [20] G. Yin, G. Chen, Z. Zhou, Q. Li, "Modification of PEG-b-PCL block copolymer with high melting temperature by the enhancement of POSS crystal and ordered phase structure," *RSC Adv.*, vol. 5, 33356, 2015.
- [21] A. Mohanty, U. Jana, P. Manna, G. Mohanta, "Synthesis and evaluation of MePEG-PCL diblock copolymers: surface properties and controlled release behavior," *Prog. Biomater.*, vol. 4, pp. 89-100, 2015.

- [22] M. Hwang, J. Suh, Y. Bae, S. Kim, B. Jeong, "Caprolactonic Poloxamer Analog: PEG-PCL-PEG," *Biomacromolecules*, vol. 6, pp. 885-890, 2005.
- [23] C. Gong, S. Shi, P. Dong, B. Kan, M. Gou, X. Wang, X. Li, F. Luo, X. Zhao, Y. Wei, Z. Qian, "Synthesis and characterization of PEG-PCL-PEG thermosensitive hydrogel," *International Journal of Pharmaceutics*, vol. 365, pp. 89-99, 2009.
- [24] N. Cuong, J. Jiang, Y. Li, J. Chen, S. Jwo, M. Hsieh, "Doxorubicin-Loaded PEG-PCL-PEG Micelle Using Xenograft Model of Nude Mice: Effect of Multiple Administration of Micelle on the Suppression of Human Breast Cancer," *Cancers*, vol. 3, pp. 61-78, 2011.
- [25] Z. Luo, L. Jin, L. Xu, Z. Zhang, J. Yu, S. Shi, X. Li, H. Chen, "Thermosensitive PEG-PCL-PEG (PECE) hydrogel as an in situ gelling system for ocular drug delivery of diclofenac sodium," *Drug Deliv.*, vol. 23, no.1, pp. 63-68, 2016.
- [26] T. Shiomi, K. Imai, K. Takenaka, H. Takeshita, H. Hayashi, Y. Tezuka, "Appearance of double spherulites like concentric circles for poly(ϵ -caprolactone)-block-poly(ethylene glycol)-block-poly(ϵ -caprolactone)," *Polymer*, vol. 42, pp. 3233-3239, 2001.
- [27] Y. Hu, L. Zhang, Y. Cao, H. Ge, X. Jiang, C. Yang, "Degradation Behavior of Poly(ϵ -caprolactone)-b-poly(ethylene glycol)-b-poly(ϵ -caprolactone) Micelles in Aqueous Solution," *Biomacromolecules*, vol. 5, pp.1756-1762, 2004.
- [28] S. Bae, M. Joo, Y. Jeong, S. Kim, W. Lee, Y. Sohn, B. Jeong, "Gelation Behavior of Poly(ethylene glycol) and Polycaprolactone Triblock and Multiblock Copolymer Aqueous Solutions," *Macromolecules*, vol. 39, pp. 4873-4879, 2006.
- [29] M. Huang, M. Gou, Z. Qian, M. Dai, X. Li, M. Cao, K. Wang, J. Zhao, J. Yang, Y. Lu, M. Tu, Y. Wei, "One-step preparation of poly(ϵ -caprolactone)-poly(ethylene glycol)-poly(ϵ -caprolactone) nanoparticles for plasmid DNA delivery," vol. 86, no. 4, pp. 979-986, 2008.
- [30] Y. Zhang, S. Guo, C. Lu, L. Liu, Z. Li, J. Gu J, "Poly(ϵ -caprolactone)-b-Poly(ethylene glycol)-b-Poly(ϵ -caprolactone) Triblock Copolymers: Synthesis and Self-Assembly in Aqueous Solutions," *Journal of Polymer Science: Part A: Polymer Chemistry*, vol. 45, pp. 605-603, 2007.
- [31] G. Ma, B. Miao, C. Song, "Thermosensitive PCL-PEG-PCL Hydrogels: Synthesis, Characterization, and Delivery of Proteins," *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 116, pp. 1985-1993, 2010.
- [32] Y. Wang, C. Wang, S. Fu, Q. Liu, D. Dou, H. Lv, M. Fan, G. Guo, F. Luo, Z. Qian, "Preparation of Tacrolimus loaded micelles based on poly(ϵ -caprolactone)-poly(ethylene glycol)-poly(ϵ -caprolactone)," *International Journal of Pharmaceutics*, vol. 407, pp. 184-189, 2011.
- [33] R. Feng, Z. Song, G. Zhai, "Preparation and in vivo pharmacokinetics of curcumin-loaded PCL-PEG-PCL triblock copolymeric nanoparticles," *International Journal of Nanomedicine*, vol. 7 pp. 4089-4098, 2012.
- [34] Y. Huang, L. Li, G. Li, "An enzyme-catalysed Access to amphiphilic triblock copolymer of PCL-b-PEG-b-PCL:synthesis, characterization and self-assembly properties," *Designed Monomers and Polymers*, vol.18, pp. 799-806, 2015.
- [35] L'H. Azouz, F. Dahmoune, F. Rezgui, C. G'Sell, "Full factorial design optimization of anti-inflammatory drug release by PCL-PEG-PCL microspheres" *Materials Science and Engineering C*, vol. 58, pp. 412-419, 2016.

- [36] N. Mohamed, H. Salama, M. Sabaa, G. Saad, "Synthesis and characterization of biodegradable copoly(ether-ester-urethane)s and their chitin whisker nanocomposites," *J. Therm. Anal. Calorim.*, vol. 125, pp. 163-173, 2016.
- [37] C. Lagunas, X. Fernández-Francos, F. Ferrando, M. Flores, A. Serra, J. Morancho, J. Salla, X. Ramis, "New epoxy thermosets modified with amphiphilic multiarm star polymers as toughness enhancer," *Reactive & Functional Polymers*, vol. 83, pp. 132-143, 2014.
- [38] Y. Zhang, Q. Zhao, H. Shao, S. Zhang, X. Han, "Synthesis and Characterization of Star-Shaped Block Copolymers PCL-b-PEG-GA," *Hindawi Publishing Corporation Advances in Materials Science and Engineering*, no.107375, 2014.
- [39] F. Bahadori, A. Dag, H. Durmaz, N. Cakir, H. Onyuksel, U. Tunca, G. Topcu, G. Hizal, "Synthesis and Characterization of Biodegradable Amphiphilic Star and Y-Shaped Block Copolymers as Potential Carriers for Vinorelbine," *Polymers*, vol. 6, pp. 214-242, 2014.
- [40] M. Zhang, H. Liu, W. Shao, K. Miao, Y. Zhao, "Synthesis and properties of Multicleavable Amphiphilic Dendritic Comblike and Toothbrushlike Copolymers Comprising Alternating PEG and PCL grafts," *Macromolecules*, vol. 46, pp. 1325-1336, 2013.
- [41] Y. Liu, J. Nguyen, T. Steele, O. Merkel, T. Kissel, "A new synthesis method and degradation of hyper-branched polyethylenimine grafted polycaprolactone block mono-methoxyl poly(ethylene glycol) copolymers (hy-PEI-g-PCL-b-m PEG) as potential DNA delivery vectors," *Polymer*, vol. 50, pp. 3895-3904, 2009.
- [42] B. Ajitha, C.W. Ahn, P.V. K. Yadav, Y. A. K. Reddy, "Silver nanoparticle embedded polymethacrylic acid/ polyvinylpyrrolidone nanofibers for catalytic application" *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 9, pp. 106291, 2021.
- [43] N.S. Al-Radadia, A. M. Abu-Dief, "Silver nanoparticles (AgNPs) as a metal nano-therapy: possible mechanisms of antiviral action against COVID-19," *Inorganic and Nano-metal Chemistry*, <https://doi.org/10.1080/24701556.2022.2068585>.
- [44] S.S. Eliçora, D. Erdem, A.E. Dinc, O.A. Kalaycı, B. Hazer, G. Yurdakan, C. Külah, "Effects of polymer-based, silver nanoparticle-coated silicone splints on the nasal mucosa of rats," *Eur. Arch. Otorhinolaryngol*, vol. 274, pp. 1535–1541, 2017.
- [45] H. Koc, E. Kilicay, Z. Karahaliloglu, B. Hazer, E.B. Denkbaz, E.B. "Prevention of catheter related infections via the urinary catheter modified with polystyrene - ricinoleic acid copolymers containing Ag nanoparticles," *J. Biomaterials Applications*, vol. 36, no. 3, pp. 385-405, 2021.
- [46] T. P. Pivetta, C.E. A. Botteon, Paulo A. Ribeiro, P. D. Marcato, M. Raposo, "Nanoparticle Systems for Cancer Phototherapy: An Overview," *Nanomaterials*, vol.11, pp.3132, 2021.
- [47] P. Tan, H. S. Li, J. Wang, S. C.B. Gopinath, "Silver nanoparticle in biosensor and bioimaging: Clinical perspectives" *Biotechnology and Applied Biochemistry*, DOI: 10.1002/bab.2045.
- [48] D. C. Lekha, R. Shanmugam, K. Madhuri, L. P. Dwarampudi, M. Bhaskaran, D. Kongara, J. L. Tesfaye, N. Nagaprasad, V. L. N. Bhargavi, R. Krishnaraj, "Review on Silver Nanoparticle Synthesis Method, Antibacterial Activity, Drug Delivery Vehicles, and Toxicity Pathways: Recent Advances and Future Aspects," *Hindawi Journal of Nanomaterials*, Article ID 4401829, 2021.
- [49] P. Makvandi, U. Josic, M. Delfi, F. Pinelli, V. Jahed, E. Kaya, M. Ashrafzadeh, A. Zarepour, F. Rossi, A. Zarrabi, T. Agarwal, E. N. Zare, M. Ghomi, T. K. Maiti, L. Breschi, F. R. Tay, "Drug

Delivery (Nano) Platforms for Oral and Dental Applications: Tissue Regeneration, Infection Control, and Cancer Management” *Adv. Sci.*, vol.8, pp. 2004014, 2021.

[50] S. Iravani, H. Korbekandi, S.V. Mirmohammadi, B. Zolfaghari, “Synthesis of silver nanoparticles: chemical, physical and biological methods” *Res Pharm Sci.*, vol.9, no.6, pp: 385-406, 2014.

[51] K. Shameli, M. B. Ahmad, S. D. Jazayeri, P. Shabanzadeh, P. Sangpour, H. Jahangirian, Y. Gharayebi, “Investigation of antibacterial properties silver nanoparticles prepared via green method,” *Chemistry Central Journal*, vol.6, pp.73, 2012.

[52] C. Saldias, A. Leiva, S. Bonardd, C. Quezada, S. Saldias, M. Pino, D. Radic, “A facile one-step synthesis of noble metal nanoparticles in DMSO using poly(ethylene glycol)-poly(ϵ -caprolactone) block copolymers,” *Reactive and Functional Polymers*, vol. 96, pp. 78-88, 2015.

[53] K.T. Shalumon, C. Sheu, C.H. Chen, S.H. Heng Chen, G. Jose, C.Y. Kuo, J.P. Chen, “Multi-functional electrospun antibacterial core-shell nanofibrous membranes for prolonged prevention of post-surgical tendon adhesion and inflammation,” *Acta Biomaterialia*, vol. 72, pp. 121-136, 2018.

[54] R.V. M. Madhavan, M.J. Rosemary, M. A. Nandkumar, K. V. Krishnan, L. K. Krishnan, “Silver Nanoparticle Impregnated Poly (e-Caprolactone) Scaffolds: Optimization of Antimicrobial and Noncytotoxic Concentrations,” *Tissue Engineering: Part A*, vol. 00, pp.00, 2010.

[55] T. Sakai, A. Ishihara, P. Alexandridis, “Block copolymer-mediated synthesis of silver nanoparticles from silver ions in aqueous media” *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*, vol. 487, pp.84-91, 2015.

[56] Q. Zhong, H. Long, W. Hu, L. Shi, F. Zan, M. Xiao, S. Tan, Y. Ke, G. Wu, H. Chen, “Dual-Function Antibacterial Micelle via Self-sembling Block Copolymers with Various Antibacterial Nanoparticles,” *ACS Omega*, vol.5, pp. 8523-8533, 2020.

[57] F. Yemiş, N. Yenil, “Metilen Mavisi ve Alizarin’in lüminesans spektrometresi ile Asitlik Tayini ve Bazı Metal Duyarlılıklarının İncelenmesi,” *Selcuk Univ. J. Eng. Sci. Tech.*, v.6, n.2, pp. 317-330, 2018.

[58] B.H. Vilsinski, P.R. Souza, A. C. Oliveira, C. M.C. Filho, A. J. M. Valente, E. C. Muniz, O. Borges, A. P. Gerola, Wilker Caetano, A. F. Martins, “Photophysics and drug delivery behavior of methylene blue into Arabic-gum based hydrogel matrices,” *Materials Today Communications*, vol. 26, no. 101889, 2021.

[59] Y. Orooji, R. Akbari, Z. Nezafat, M. Nasrollahzadeh, T. A. Kamali, “Recent signs of progress in polymer-supported silver complexes/nanoparticles for remediation of environmental pollutants,” *Journal of Molecular Liquids*, vol. 329, pp. 115583, 2021.

[60] J. Saha, A. Begum, A. Mukherjee, S. Kumar, “ A novel green synthesis of silver nanoparticles and their catalytic action in reduction of Methylene Blue dye,” *Sustainable Environment Research*, vol. 27, pp. 245e250, 2017.

[61] A. Rohaizad, S. Shahabuddin, M. M. Shahid, N. M. Rashid, Z. A. M. Hir, M. M. Ramly, K. Awang, C. W. Siong, Z. Aspanut, “Green synthesis of silver nanoparticles from *Catharanthus roseus* dried bark extract deposited on graphene oxide for effective adsorption of methylene blue dye” *J. Environ. Chem. Eng.*, vol.8(4), pp. 103955, 2020.

[62] N. K. Yetim, E. H. Ozkan, “Synthesis of Au-doped magnetic nanocomposites: structural, magnetic, and catalytic properties,” *J Mater Sci: Mater Electron*, vol.32, pp. 24766–24774, 2021.

- [63] Z. Draoua, A. Harrane, M. Adjdir, "Preparation, characterization and application of the nanocomposite PCL-PEG-PCL/Bentonite for the removal of methylene blue (MB) dye," *Research on Chemical Intermediates*, vol. 47, p. 4635–4655, 2021.
- [64] O.A. Kalaycı, F.B. Cömert, B. Hazer, B., Atalay, T., Cavicchi, K.A., Cakmak, M, "Synthesis, characterization, and antibacterial activity of metal nanoparticles embedded into amphiphilic comb-type graft copolymers," *Polym. Bulletin*, vol. 65, pp. 215-226, 2010.
- [65] Y. Sun, Y. Xia, "Gold and silver nanoparticles a class of chromophores with colors tunable in the range from 400-750 nm.," *Analyst*, vol.128, pp: 686-691, 2003.
- [66] H. Horvath, "Gustav Mie and the scattering and absorption of light by particles: Historic developments and basics" *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer*, vol.110, pp. 787-799, 2009.
- [67] C. Burda, X. Chen, R. Narayanan, M. A. El-Sayed, "Chemistry and Properties of Nanocrystals of Different Shapes" *Chem. Rev.*, vol.105, pp.1025-1102, 2005.
- [68] S.L. Smitha, K.M. Nissamudeen, D. Philip, K.G. Gopchandran, "Studies on surface plasmon resonance and photoluminescence of silver nanoparticles," *Spectrochimica Acta Part A*, vol. 71, 186–190, 2008.
- [69] H. Kong and J. Jang, "One-step fabrication of silver nanoparticle embedded polymer nanofibers by radical-mediated dispersion polymerization," *Chem. Commun.*, pp. 3010-3012, 2006.
- [70] Z. Jiang, W. Yuan, H. Pan, "Luminescence effect of silver nanoparticle in water phase," *Spectrochimica Acta Part A*, vol. 61, pp.2488-2494, 2005.
- [71] R. Das, S. S. Nath, D. Chakdar, G. Gope, R. Bhattacharjee, "Synthesis of silver nanoparticles and their optical properties," *Journal of Experimental Nanoscience*, vol.5, no. 4, pp. 357–362, 2010.
- [72] J. L. Li, X. Q. An, Y. Y. Zhu, "Controllable synthesis and characterization of highly fluorescent silver nanoparticles," *J. Nanopart Res* vol:14, pp.1325, 2012.
- [73] J. Saha, A. Begum, A. Mukherjee, S. Kumar, "A novel green synthesis of silver nanoparticles and their catalytic action in reduction of Methylene Blue dye," *Sustainable Environment Research*, vol.27, no. 245e250, 2017.
- [74] L. Du, Q. Xu, M. Huang, L. Xian, J. X. Feng, "Synthesis of small silver nanoparticles under light radiation by fungus *Penicillium oxalicum* and its application for the catalytic reduction of methylene blue," *Materials Chemistry and Physics*, vol.160, no. 40e47, 2015.
- [75] J. Tan, X. Li, J. He, Q. Xu, Y. Zhang, X. Dai, L. Yu, R. Zeng, L. Zhang. "Carboxylfunctionalized polymeric microspheres prepared by one-stage photoinitiated RAFT dispersion polymerization," *Polymers*, vol.9, pp.681, 2017.



Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

Polylactic Acid-Activated Coal Electrospun Mat Production and Characterization

 Erdi BULUŞ^{a,*},  Gülseren SAKARYA BULUŞ^b,  Merve DANDAN DOĞANCI^c,  Erdi DOĞANCI^c

^{a,*} *Polymer Technologies and Composite Application and Research Center, Istanbul Arel University, Istanbul, TURKEY,*

^b *Department of Transportation Services Civil Aviation Cabin Services Program, Vocational School, Istanbul Arel University, Istanbul, TURKEY,*

^c *Istanbul Provincial Health Directorate, Istanbul, TURKEY,*

^c *Department of Chemistry and Chemical Processing Tech, Kocaeli University, Kocaeli, TURKEY,*

* *Corresponding author's e-mail address: erdibulus@arel.edu.tr*

DOI:10.29130/dubited.1103799

ABSTRACT

Polylactic acid (PLA) is used as a potential polymer for consumer products and biomedical applications. With the increasing environmental and sustainability concerns associated with traditional petrochemical-based polymers, PLA applications continue to increase day by day. Activated carbon (AC) is a substance obtained by carbonization of softwood parts such as linden and willow and is used as an antidote in industrial applications as it absorbs the toxin and prevents the absorption of toxins from the small intestine into the blood. Due to its adhesion to surfaces, it is toxin absorbent. The biggest problem for AC is the gradual filling of the adsorption surfaces of the AC by gaseous pollutants over time. In this study, PLA composite nanofibers reinforced with AC were obtained by electrospinning technique. The material properties of the produced composite membranes were determined by performing structural (FTIR, Fourier-Transform Infrared Spectroscopy), morphological (FEGSEM, Field Emission Gun Scanning Electron Microscopy), mechanical (Tensile Test) and biological (Cell Test) characterization studies. With the obtained biocomposites, it will be the ideal filtration material with a longer life and large surface area that can be used in health sector applications.

Keywords: *Polylactic acid, Activated carbon, Electrospinning, Clean air filtration*

Polilaktik Asit-Aktif Kömür Elektrospun Mat Üretimi ve Karakterizasyonu

ÖZ

Polilaktik asit (PLA), tüketici ürünleri ve biyomedikal uygulamalar için potansiyel bir polimer olarak kullanılır. Geleneksel petrokimya bazlı polimerlerle ilişkili artan çevresel ve sürdürülebilirlik endişeleri ile PLA uygulamaları her geçen gün artmaya devam ediyor. Aktif karbon (AK), ıhlamur ve söğüt gibi yumuşak ağaç kısımlarının karbonizasyonu ile elde edilen bir maddedir ve toksini emdiği ve toksinlerin ince bağırsaktan kana emilimini engellediği için endüstriyel uygulamalarda panzehir olarak kullanılır. Yüzeyle yapışması nedeniyle toksin emicidir. Klima için en büyük sorun, iklimin adsorpsiyon yüzeylerinin zamanla gaz kirleticiler tarafından kademeli olarak doldurulmasıdır. Bu çalışmada, elektroçirme tekniği ile AK ile güçlendirilmiş PLA kompozit nanolifler elde edilmiştir. Üretilen kompozit membranların malzeme özellikleri, yapısal (FTIR, Fourier-Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi), morfolojik (FEGSEM, Alan Emisyon Tabancası Taramalı Elektron

Mikroskobu), mekanik (Çekme Testi) ve biyolojik (Hücre Testi) karakterizasyon çalışmaları yapılarak belirlendi. Elde edilen biyokompozitler ile sağlık sektörü uygulamalarında kullanılacak daha uzun ömürlü ve geniş yüzey alanına sahip ideal filtrasyon malzemesi olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Polilaktik asit, Aktif karbon, Elektroçirime, Temiz hava filtrasyonu

I. INTRODUCTION

The excessive consumption of fossil fuels and the accidents caused by consecutive oil spills seriously affect today's ecosystem. It has been determined that it causes a series of water and air pollution problems, especially oily wastewater. It is desirable to treat oily wastewater from functional materials with high adsorption capacity. Inorganic adsorbents are divided into three as natural fiber adsorbents and synthetic organic adsorbents. A large number of adsorbents were widely used in the ecosystem and brought with them various disadvantages. There are some disadvantageous situations that still need to be overcome, such as secondary environmental pollution from complex production processes and post-use waste [1].

Filtration or filtration is defined as any of various mechanical, physical or biological processes that separate solids from liquids (liquids or gases) by adding a medium through which only liquid can pass. It is also called the filtrate of the passing liquid. In physical filters, solids in large liquids, particles in biological filters are retained, swallowed, metabolites are retained and removed. The filtration system takes place in nature and engineering systems; It has biological, geological and industrial forms. For example, in animals (including humans), renal physiology filtration removes waste from the blood, while in water purification and wastewater treatment, unwanted components are removed by absorbing them into a biological film grown on or on the filter media, as in slow sand. There are different filtration systems, cold and hot. Particulate removal processes are tedious and the filter pores fill up and cannot filter adequately [2]. Electrospinning system, which is a nanotechnological method, and new generation filter system studies with polymer additives for this problem were determined by literature research. In the electrospinning system, nanofiber membranes are obtained from polymer solutions with the help of electric field, and these membranes are a new generation, more efficient, inexpensive, effective and functional system that can easily reach filtration efficiency up to 99.999% [3]. When the filtration system studies were examined, it was determined that polylactic acid (PLA) based polymeric filter systems were also used. Today, activated carbon (AC) has a wide range of use in filter systems and in the health sector.

Polylactic acid (PLA) is an environmentally friendly thermoplastic polymer. Aliphatic polyesters such as PLA are a biocompatible polymer with mechanical properties, transparency and non-toxic properties. With these properties, it is used in consumer products such as packaging, automobile, furniture, filtration, food, textile and pharmaceutical sector [4]. The chemical formula of PLA ($C_3H_4O_2$) is shown as n. The chemical structure of PLA is shown in Figure 1.

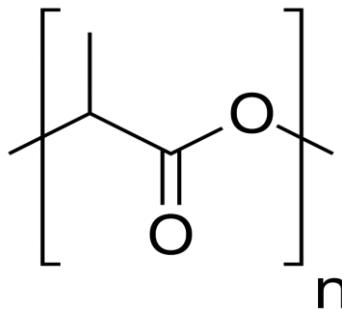


Figure 1. Chemical structure of PLA [4]

As a consumer product manufactured using PLA; clothes, utensils and food packages can be counted. PLA used in the medical sector; It can also be used in diapers, feminine hygiene products, medical sutures, stents and pharmaceutical applications. According to Ray et al. [5] studied a series of

PLA/organoclay based biocomposites and found that the PLA biocomposite was completely degraded and destroyed within two weeks. Kakroudi et al. [6] determined the gas permeability properties of PLA films using the microfibrillation process. According to Dasan et al. [7] improved the oxygen barrier properties of PLA/Poly (3-hydroxybutyric acid-co-3-hydroxyvaleric acid) (PHBV) polymer films prepared using nanocrystalline cellulose.

ACs can separate Volatile organic compounds (VOCs), odors and other gaseous pollutants from the air. They perform this cleaning differently than HEPA filters or other air cleaning filters that capture only particles from the air. Filters do this by trapping gas molecules in coal beds. They are the most commonly used filters to capture gases. They are generally used to filter volatile organic compounds released into the external environment. It is also preferred to remove odors in the air such as the smell of cigarette smoke. However, they cannot remove particles such as mold, dust and pollen from the air. Filters are carbons that have undergone some additional processing to better filter gas molecules. First, a lattice structure of small pores is created by the hot air supplied to the carbon, and then carbon dioxide (CO₂) or steam is injected to greatly increase the surface area. This provides more space for gas molecules to trap and makes the carbon more effective as a filter area. AC's were used in World War I to filter certain deadly gases used in gas masks against enemy troops, but this filter system was only effective against certain toxins. After World War II, the use of the AC increased, eventually contributing to the development of modern air and water filters. The adsorption process allows it to filter or capture organic chemicals (gases) in the air. The biggest problem with the air conditioner bed is that over time gaseous pollutants slowly fill the adsorption surfaces of the AC. When the bed is saturated, the filter can no longer hold the contaminants. AC the working system of the filters is given in Figure 2 [8, 9].

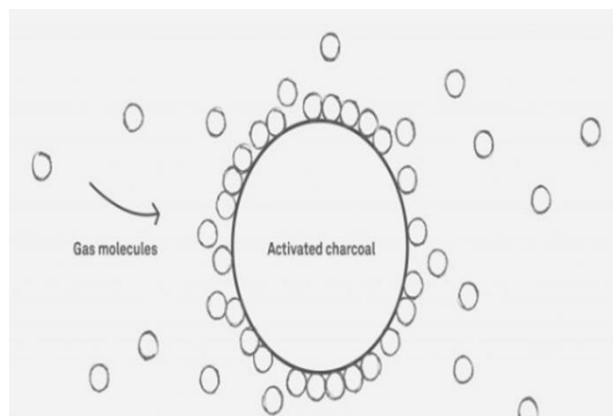


Figure 2. AC filters working principle [8,9].

Electrospinning system is a nanofiber production technique from polymer solutions with the help of electric field. It basically consists of syringe pump, high voltage power supply and collector system. In the electrospinning system, additives enlarge the surface area by wrapping around the polymer fibers, and fiber production consisting of tightly packed fibers is carried out. The non-existent material properties of the polymer can be enhanced by the use of additives and electrospinning systems. In addition to the fibers, the pore size between the fibers directly affects the material properties. As the pore ratio increases, the strength values of the material decrease [10]. There are many studies in the literature on clean air filtration from PLA and AC composite nanofiber membranes using electrospinning technique. The filtration efficiency was measured by producing composite membranes with fresh air filtration over clean air filtration [11-14]. Nanofiber membranes produced by electrospinning method have high specific surface area and porous structure. Along with good adsorption properties, their thin size makes it difficult to remove adsorbents after use. Membranes obtained by the use of electrospinning technique are recognized as a versatile and effective method for making absorbent materials with high surface to volume ratio and large porosity, which can significantly improve adsorption performance [15].

Wang et al. [1] investigated that a large amount of oily wastewater is generated from various sources with the rapid industrial and urbanization development and that these wastewaters affect human health mutagenic and carcinogenic and seriously damage the ecosystem. PLA/ Hybrid nanoparticles (ZIF-8@C600) nanofibers were prepared by electrospinning technique for oil adsorption. They determined that the addition of ZIF-8@C600 could adjust the diameter, porosity, pore size and hydrophobicity of the composite electrospun nanofibers. PLA/ZIF-8@C600 porous membranes were found to have good oil absorption properties in oil-water mixture and emulsion. They found that PLA/ZIF-8@C600 fibers are good candidates as oil adsorbents. The adsorption kinetics of the membranes on paraffin liquid were found to be compatible with pseudo-second-order kinetics, and the addition of hybrid ZIF-8@C600 increased the hydrophobic properties and oil adsorption capacity of PLA/ZIF-8@C600 porous membranes. They suggested that composite membranes based on PLA could prevent secondary pollution, since the PLA they used in their study is an environmentally friendly polymer. According to Nugraha et al. [16] investigated the change of wettability behavior of electrospun PLA fiber by electrospinning technique by adding tungsten oxide (WO_3)/amino-functionalized carbon quantum dots (N-CQD) to the polymer matrix. The modified PLA/ WO_3 /N-CQDs fibers showed significantly improved hydrophobicity of the fibers while maintaining the surface super-oleophilicity. These behaviors were obtained by varying the surface contact angle and surface morphology of the composite PLA fiber using Tungsten trioxide (WO_3). After obtaining a composite membrane by using WO_3 /N-CQDs as filler, PLA/ WO_3 /N-CQDs EDA fiber has the highest water contact angle of 132.37° for n-hexane and an oil absorption capacity of 35,752 g/g. It exhibits oil separation performance at $8,326,048 \text{ L m}^{-2} \text{ h}^{-1}$. They provided decolorization of methylene blue (MB) at $11,961,364 \text{ L m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ and 91.80% for n-hexane and n-heptane. PLA/ WO_3 /N-CQDs electrospun fibers provided excellent separation performance and durability after ten cyclic separation performance tests in their studies. With their work, they contribute to a potential application in the field of oily wastewater treatment. According to Piloni et al. [17] produced Spirulina biochar from rapid pyrolysis and obtained it as an alternative to commercial activated carbon for lactic acid (LA) purification from fermentation broth. They tested activated Spirulina biochars by rapid pyrolysis to thermally treat the biochar in a nitrogen (N_2) atmosphere at 350 and 400 °C for 4 hours and chemically impregnate the algae material with potassium hydroxide (KOH) solution to obtain the biochar. Two purification methodologies were evaluated: filtration and mixing. The mixing method was found to be simpler, faster and more disintegrating with excellent purification results. All evaluated biochars performed comparable to activated carbon in the mixing methodology. Spirulina biochars and KOH activated biochar had the best results, with LA recovery of 92% and 82% and protein removal efficiency of 82% and 90%, respectively. He proposes biochars from Spirulina as an alternative material for purification of lactic acid from the fermentation broth. According to Sattar et al. [18] highlighted that there is great interest in the preparation of porous materials using biodegradable materials and environmental pollution control. A non-toxic, user-friendly and inexpensive adsorbent bead was prepared using a phase inversion technique from PLA and AC. The porous structure of PLA/AC. They were characterized by bead scanning electron microscopy and nitrogen adsorption-desorption methods. A kinetic adsorption study at 60 at 1°C at pH 4 found that Rhodamine B molecules diffuse very rapidly into interconnected pores of 5% by weight PLA/AC. They are very well compatible with the beads and intraparticle diffusion model. The negative value of Gibb's free energy revealed a spontaneous adsorption process and the enthalpy change ($23.92 \text{ kJ mol}^{-1}$) revealed an endothermic adsorption process. Desorption studies of PLA-AC containing composites observed that the percentage of Rhodamine B solution desorbed increased with decreasing pH. The beads will provide a new alternative granular adsorbent for removing contaminating cationic dyes from water.

Borojeni et al. [19] within the scope of their studies, they emphasized that air filtration provides a significant increase in the global market due to the COVID-19 epidemic and that nanofiber non-woven mats can reach certain efficiencies with low pressure drop. It has a very high surface area to volume ratio, will be able to filter out submicron particles and customize the fiber material to better suit its purpose. Although nonwoven mats produced by the electrospinning technique have been very well studied and tested and reported, it has been determined that there are not many studies combining them. In this review, they refer to various ways of producing nonwoven fibers for use as air filters, the mechanisms by which the fibrous nonwoven air filter stops particles from passing through, and the methods by which nonwoven mats can be modified by morphology, with an emphasis on

electrospinning. Besides the structure and material parameters, metallic, ceramic and organic nanoparticle coatings as well as electrospinning solutions with the same materials and the properties of the fibers and the effects of air filtration were investigated. Buluş et al. [20] activated carbon added PLA-AC composite membranes were produced by electrospinning technique. They examined the filtration efficiency by characterizing the filter system they developed for the COVID 19 pandemic. They found that the filtration efficiency increased with the additive and the efficiency increased as the amount increased. They determined that they provide 99.999% particle filtration. They revealed that the nanofiber membranes they obtained have potential to be used as a protective material in the COVID 19 pandemic.

In the light of literature research, in studies on oil spillage, water pollution and oil removal in general, AC and PLA is more preferred. AC reinforced PLA nanofiber biocomposites were produced, characterization studies of nanofiber biocomposites were provided and it was aimed to be used as an alternative clean air filtration material in the health sector, especially in the COVID 19 pandemic.

II. EXPERIMENTAL SECTION

A. EXPERIMENTAL

A.1. Materials

10-15 kDa polylactic acid (PLA) (Resinex-BMY Joint Stock Company) and 20-40 µm particle size activated carbon (AC) measured by Gel Permeability Chromatography were obtained from Kocaeli University, Faculty of Engineering, Department of Chemical Engineering. Waxed paper was used as support material in the electrospinning step and dimethylformamide (DMF) (Sigma/Aldrich, England) was used to dissolve the polymer.

A.2. Method

A.2.1. Preparation of Biocomposite Solutions

10 g of PLA granules were added to a 100 ml mixture of DMF solvent. PLA polymer solution was prepared according to the desired temperature and mixing speed with the help of a heated magnetic stirrer. 10 ml of PLA solution was taken into a beaker and 1%, 5% and 8% of AC four different compositions were obtained. The solutions were subjected to the values given in Table 1. and made suitable for nanofiber production by electrospinning method. Table 1 shows the preparation values of the biocomposite solutions.

Table 1. Preparation values of biocomposite solutions

Sample name	Solution mixing time (minutes)	Solution mixing temperature (°C)
10% PLA	60	80
10% PLA-1% AC	65	80
10% PLA-5% AC	70	85
10% PLA-8% AC	70	85

A.2.2. Biocomposite Production

Prepared 10% PLA, 10% PLA-1% AC, 10% PLA-5% AC and 10% PLA-8% AC nanofiber membrane production from biocomposite solutions was produced by Inovenso brand NS24XPpro model electrospinning method based on the values in Table 2. Production stages of biocomposites with electrospinning technique are shown in the Figure 3.

Table 2. Electrospinning process parameters

Sample Name	Flow rate (ml/hour)	High voltage (kV)	Working distance (cm)	Collector rotation speed (rpm)
10% PLA	3.5	24.0	16	200
10% PLA-1% AC	3.5	24.0	16	200
10% PLA-5% AC	4.0	35	16	200
10% PLA-8% AC	4.0	35	16	200

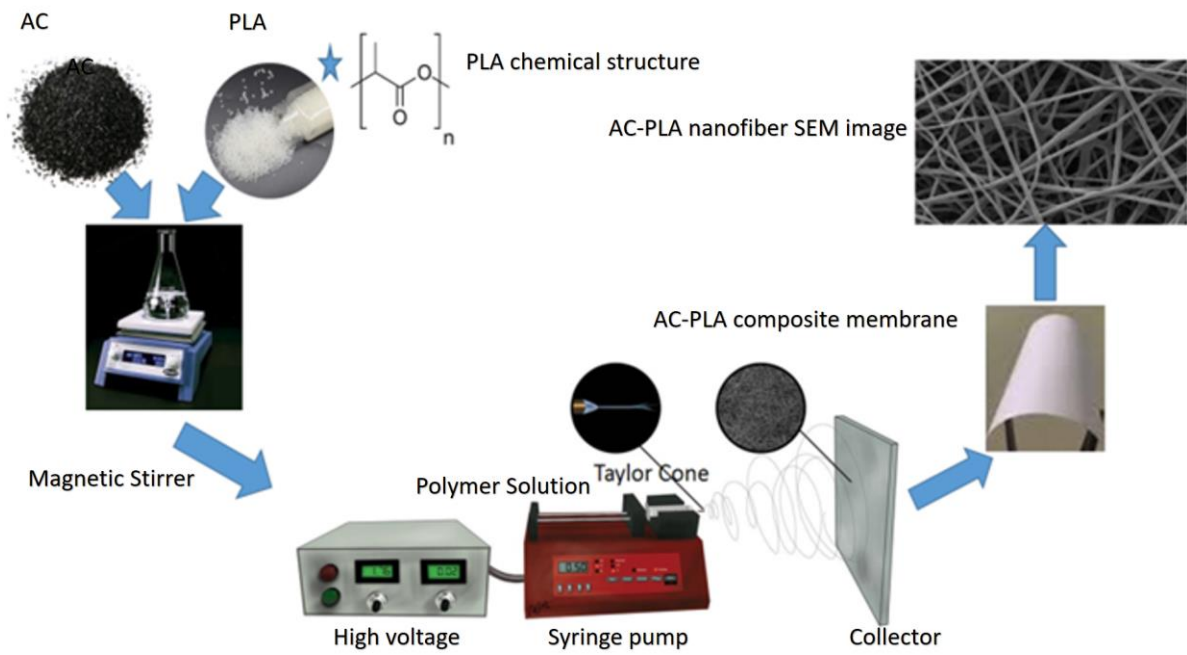


Figure 3. Process steps of the production of biocomposites with electrospinning technique

A.2.3. Characterization Method

Structural (FTIR) analyzes of biocomposites were performed on a Jasco 6600 model FTIR device in the wavelength range of 400 to 4000 cm^{-1} . Depending on the percent transmittance (T%) determined in the wavelength range of 400-4000 cm^{-1} , the functional bonds in the structures of the samples were determined. Tissues placed in holders were examined and visualized with the FEI FEG QUANTA 450 SEM microscope. During the examination of the diameter and dimensions of the produced composite nanofibers, images were examined at 5 kV potential at three different magnifications such as 3000x, 6000x and 12000x for FEGSEM analysis. The surface morphology of the biocomposite nanofibers was determined by the measurements made on the FEI brand FEG QUANTA 450 model Scanning Electron Microscope (SEM). The arithmetic mean fiber distribution range was determined by providing the mean diameter thickness of nanofibers and 40 different fiber diameter measurements taken from SEM images. The mechanical (tensile) test was carried out by cutting the membranes produced by electrospinning technique in 1x5 cm length according to ASTM standard and repeated 3 times under 500 Newton load. Biological (Cell culture) analysis; 3T3 cells cultured in DMEM-F12 containing 10% FBS, 1% pen strep were removed with a cell scraper, then centrifuged and cell counted. Cells incubated in a 37°C incubator with 5% CO₂ were cultured for 72 hours. Counting Cells and Determining Vitality: Counting was performed after coverslip placement on a sample of Thoma slides on a 0.1 mm³ volume count (0.1 mm high liquid). Each frame has 16 large squares and 400 small squares. Cells were counted by this counting method. The number of cells was calculated from the formula $\text{ml} = 16 \times 104 \times \text{number of cells} \times \text{dilution factor}$. It is used continuously to convert the count result in a volume of 104 = 0.1 mm³ to the number in 1 ml. Total number of cells = number of cells in ml x calculated from the formula for total volume. After centrifugation, 4% trypan blue solution was mixed with suspended cells at a ratio of 1:1. After waiting 5 minutes, Thoma was counted on the slide. Since the membrane integrity and permeability of living cells are not impaired, they cannot take the dye into the cell. Based on this feature, the percentage of stained and unstained cells and viability (%) were calculated.

III. RESULTS AND DISCUSSION

A.3. The Results of The Analysis

A.3.1. Structural (FTIR) Analysis

The PLA peak observed at 1452 cm^{-1} is stronger than the saturated CH groups (CH₃, CH₂, CH) and the carbonyl group (C=O) at 1751 cm^{-1} . Strong ester groups (C-O-C) of ether bonds at 1065-1182 cm^{-1} , weak wave number of C-H group 2946-2994 cm^{-1} and peak O-H group 3327-3727 cm^{-1} were determined [21]. When the PLA membrane was examined, the AC-PLA peak intensities decreased. AC the peaks coincided with the PLA peaks. Peak formations overlapped. The peak intensity softening in PLA showed that composite membrane fabrication was successful [22]. PLA-AC FTIR spectra of biocomposites are given in Figure 4.

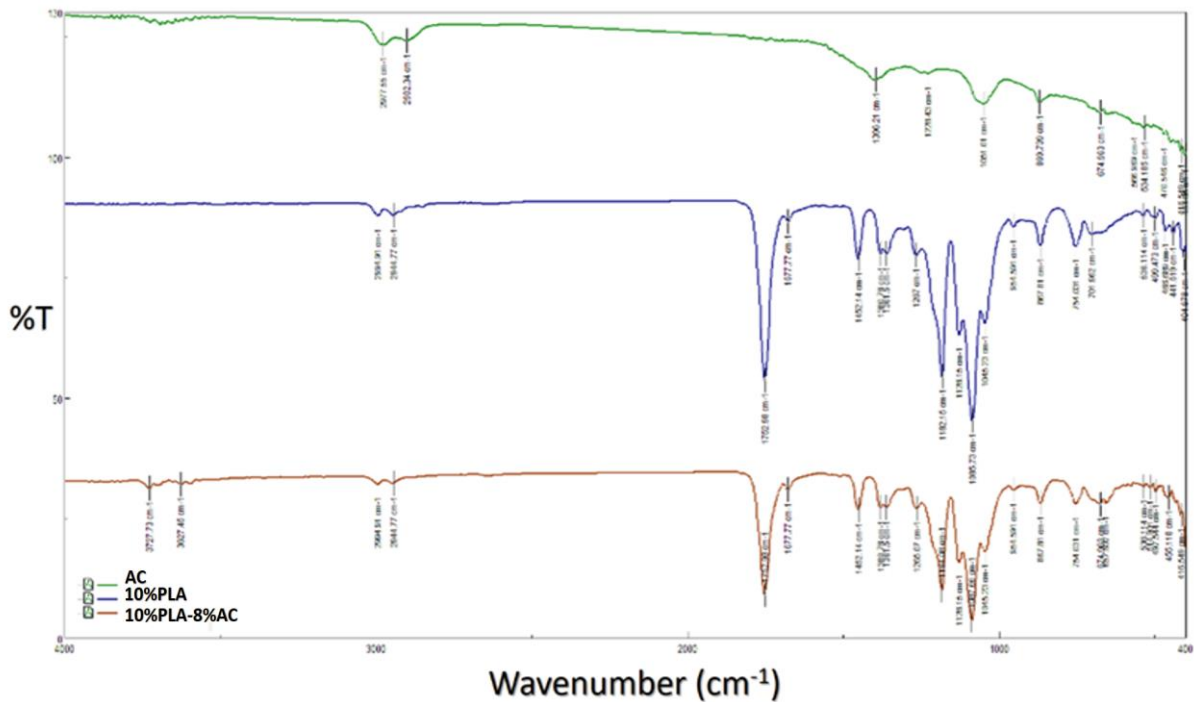


Figure 4. PLA-AC FTIR spectra of biocomposites

A.3.2. Morphological (FEGSEM) Analysis

The nanofiber distribution and fiber diameters of the membranes produced by the electrospinning technique were determined by FEGSEM analysis. By taking FEGSEM images at 3000x, 6000x and 12000x magnifications, fiber diameter distribution ranges were determined based on 40 nanofiber measurements on the image. The fiber diameter distribution was determined by taking the arithmetic average of these measurements. Table 3 shows the average values of nanofibers measured in FEGSEM images. 10% PLA, 10% PLA-1% AC, 10% PLA-5% AC and 10% PLA-8% AC FEGSEM biocomposite images are shown in Figure 5, Figure 6, Figure 7 and Figure 8. In the study, fiber orientations were 10% PLA- 8% AC composite was determined by FEGSEM image examinations. Tensile test was applied from the region where these nanofibers were oriented and the obtained values were higher than other biocomposites [23]. The main reason for this is AC It is the case that the material wraps the PLA fibers homogeneously.

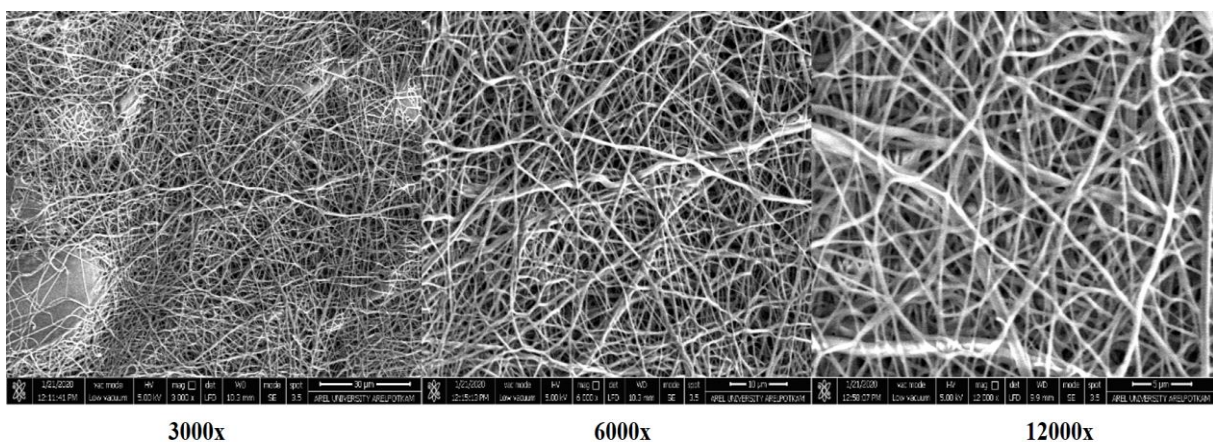


Figure 5. Image of 10% PLA 3000x, 6000x and 12000x FEGSEM

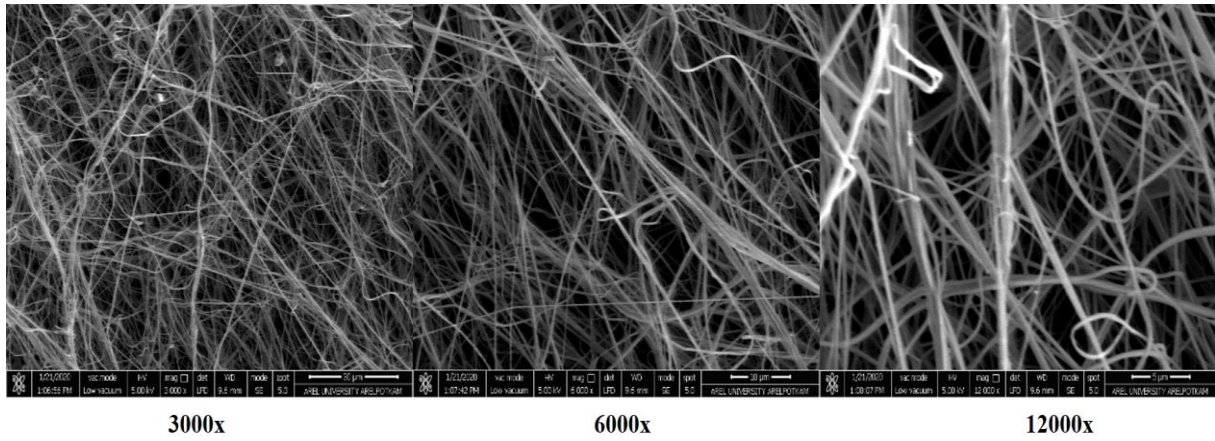


Figure 6. Image of 10% PLA-1% AC 3000x, 6000x and 12000x FEGSEM

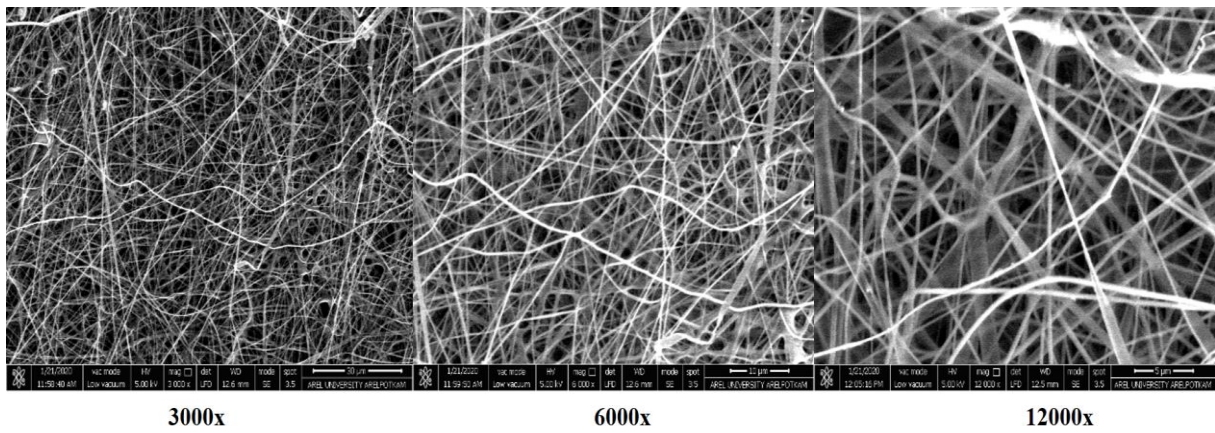


Figure 7. Image of 10% PLA-5% AC 3000x, 6000x and 12000x FEGSEM

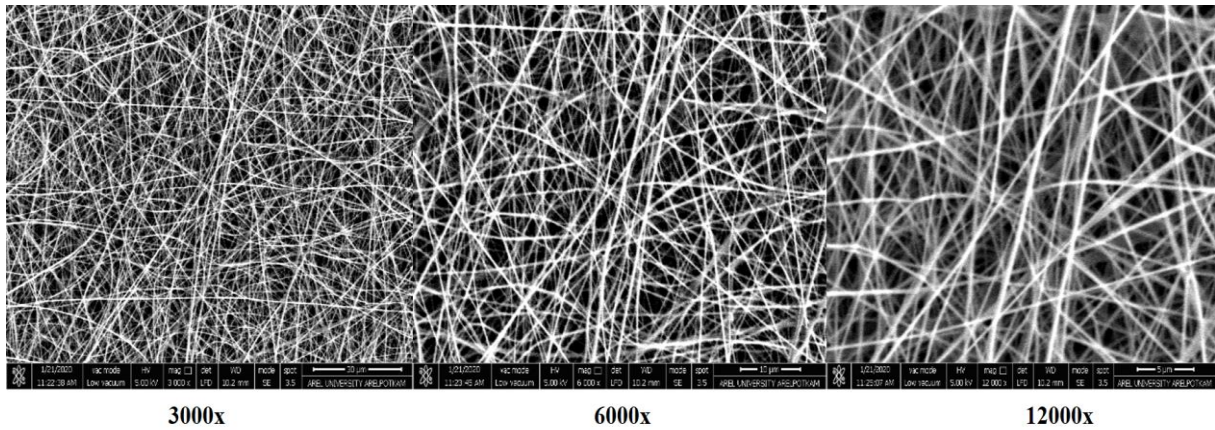


Figure 8. Image of 10% PLA-8% AC 3000x, 6000x and 12000x FEGSEM

Table 3. Nanofiber average diameter ranges of electrospun mats

Sample name	Average diameter ranges of nanofibers (nm)
10% PLA	160-400
10% PLA-1% AC	120-600
10% PLA-5% AC	95-270
10% PLA-8% AC	60-200

A.3.3. Mechanical (Tensile) Analysis

Tensile tests of biocomposite mats were prepared according to ASTM standard and analysis was performed. Thickness measurements of electrospun mats were provided with micrometer and these values were entered to tensile tester and required values were entered for analysis [24]. The strength value of PLA membrane is 29.2 MPa. PLA strength increased as it joined AC, and as the amount of AC increased in the composite structure in which it was produced with PLA, it provided a direct increase in strength. The source of this situation is related to the FEGSEM morphological analysis results. Pure PLA fiber diameters are 160-400 nm. However, AC As it is added, it has increased the surface area by wrapping the PLA fibers homogeneously. With this increase, tightly packed material structures have emerged. Thus, the strength values increased linearly. In this study, the highest tensile strength value was 10% PLA-8% AC with a value of 69.6 MPa. It was determined that it belonged to the composite membrane. Table 4 shows the tensile strength values of biocomposite mats.

Table 4. Viable / dead cell amounts after 72 hours after cell cultivation of electrospun mats

Sample name	Mat thickness (mm)	Tensile strength (MPa)
10% PLA	0.22	29.2
10% PLA-1% AC	0.30	40.9
10% PLA-5% AC	0.35	46.1
10% PLA-8% AC	0.35	69.6

A.3.4. Biological (Cell Culture) Analysis

3T3 fibroblast cell cultivation was performed on electrospun mats and cell counting was performed after 72 hours [25]. When the cell culture live/dead status was examined, 75% live and 25% dead cell status was observed on the PLA membrane in 3T3 cells. AC as the amount increases, cell viability increases in parallel with 3T3 cells. AC it was determined that the substance was good for 3T3 cells and the cells remained alive. In the study, the highest cell viability was 10% PLA-8% AC found in the composite membrane. Table 5 shows the amount of viable / dead cells after 72 hours of electrospun mats.

Table 5. Viable / dead cell amounts after 72 hours after cell cultivation of electrospun mats

Sample name	Live cell (%)	Dead cell (%)
10% PLA	75	25
10% PLA-1% AC	88	12
10% PLA-5% AC	95	5
10% PLA-8% AC	97	3

IV. CONCLUSION

Biocomposite membranes have been successfully produced by the electrospinning technique. When the structural (FTIR) analysis results of the produced materials are examined, AC peaks, AC and PLA peaks decreased due to the increase in their amounts. Morphological (FEGSEM) analysis shows that nanofibers become thinner as the amount of additive AC increases. When the arithmetic average of 40 nanofiber measurements made on FEGSEM images was taken, the average nanofiber diameter range was found to be 60-200 nm. The finest fibers in the study were 10% PLA-8% AC biocomposite. Mechanical (Tensile) analyzes of the membranes were made according to the ASTM standard and 10% PLA-8 AC with the highest tensile strength value of 69.6 MPa. in the biocomposite. When

biological (cell culture) studies were examined, cell live/dead counts were made as a result of culturing 3T3 fibroblast cells. When the number of live/dead cells was examined, 97% viability and 3% mortality rate were determined. When the results of the study are evaluated, PLA-AC composite membrane will be an ideal material candidate in clean air filtration systems. In addition, considering the industrial use properties of the substances in the study, they will have sectoral uses as innovative and value-added products that can appeal to different sectors such as health, cosmetics, food, textile. It is aimed to be used as an alternative clean air filtration material in the health sector, especially in the COVID 19 pandemic.

ACKNOWLEDGEMENTS: The author also would like to thank to Polymer Technologies and Composite Application and Research Center (AreIPOTKAM) for their help in material characterization.

V. REFERENCES

- [1] Y. Wang, X. Li, X. Dai, Y. Zhan, X. Ding, M. Wang, and X. Wang, "Hybrid electrospun porous fibers of poly (lactic acid) and nano ZIF-8@ C600 as effective degradable oil sorbents," *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, vol. 95, no. 3, pp. 730-738, 2020.
- [2] M. Zhu, J. Han, F. Wang, W. Shao, R. Xiong, Q. Zhang, ..., and C. Huang, "Electrospun nanofibers membranes for effective air filtration," *Macromolecular Materials and Engineering*, vol. 302, no. 1, 1600353, 2017.
- [3] Z. Wang and Z. Pan, "Preparation of hierarchical structured nano-sized/porous poly (lactic acid) composite fibrous membranes for air filtration," *Applied Surface Science*, vol. 356, pp. 1168-1179, 2015.
- [4] J. M. Anderson and M. S. Shive, "Biodegradation and biocompatibility of PLA and PLGA microspheres," *Advanced drug delivery reviews*, vol. 28, no. 1, pp. 5-24, 1997.
- [5] S. S. Ray and M. Bousmina, "Poly (butylene succinate-co-adipate)/montmorillonite nanocomposites: effect of organic modifier miscibility on structure, properties, and viscoelasticity," *Polymer*, vol. 46, no. 26, pp. 12430-12439, 2005.
- [6] A.R. Kakroodi, Y. Kazemi, M. Nofar, and C. B. Park, "Tailoring poly (lactic acid) for packaging applications via the production of fully bio-based in situ microfibrillar composite films," *Chemical Engineering Journal*, vol. 308, pp. 772-782, 2017.
- [7] Y. K. Dasan, A. H. Bhat, and F. Ahmad, "Polymer blend of PLA/PHBV based bionanocomposites reinforced with nanocrystalline cellulose for potential application as packaging material," *Carbohydrate polymers*, vol. 157, pp. 1323-1332, 2017.
- [8] <https://muhendistan.com/aktif-karbon-filtreler>
- [9] C. J. Kensler and S. Battista, "Components of cigarette smoke with ciliary-depressant activity: Their selective removal by filters containing activated charcoal granules," *New England Journal of Medicine*, vol. 269, no. 22, pp. 1161-1166, 1963.
- [10] G. H. Kim, "Electrospun PCL nanofibers with anisotropic mechanical properties as a biomedical scaffold," *Biomedical materials*, vol. 3, no. 2, 025010, 2008.

- [11] F. E. Che Othman, N. Yusof, J. González-Benito, X. Fan, and A. F. Ismail, "Electrospun composites made of reduced graphene oxide and polyacrylonitrile-based activated carbon nanofibers (rGO/ACNF) for enhanced CO₂ adsorption," *Polymers*, vol.12, no.9, 2117, 2020.
- [12] L. M. Valencia-Osorio and M. L. Álvarez-Láinez, "Global view and trends in electrospun nanofiber membranes for particulate matter filtration: A review," *Macromolecular Materials and Engineering*, vol. 306, no. 10, 2100278, 2021.
- [13] J. Xiao, J. Liang, C. Zhang, Y. Tao, G. W. Ling, and Q. H. Yang, "Advanced materials for capturing particulate matter: progress and perspectives," *Small Methods*, vol. 2, no. 7, 1800012, 2018.
- [14] M. Mirković, D. B. Stojanović, D. Mijailović, N. Barać, Đ. Janačković, and P. S. Uskoković, "Electrospun polyacrylonitrile fibers incorporated with microporous carbon for improved airborne PM_{2.5} filtration," *Materials Chemistry and Physics*, vol. 285, 126103, 2022.
- [15] V. V. Kadam, L. Wang, and R. Padhye, "Electrospun nanofibre materials to filter air pollutants—A review," *Journal of Industrial Textiles*, vol. 47, no.8, pp. 2253-2280, 2018.
- [16] M. W. Nugraha, M. D. H. Wirzal, F. Ali, L. Roza, and N. S. Sambudi, "Electrospun polylactic acid/tungsten oxide/amino-functionalized carbon quantum dots (PLA/WO₃/N-CQDs) fibers for oil/water separation and photocatalytic decolorization," *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 9, no. 5, 106033, 2021.
- [17] R. V. Piloni, L. F. Coelho, D. C. Sass, M. Lanteri, M. A. Z. Bertochi, E. L. Moyano, and J. Contiero, "Biochars from *Spirulina* as an alternative material in the purification of lactic acid from a fermentation broth," *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, vol.4, 100084, 2021.
- [18] M. Sattar, F. Hayeeye, W. Chinpa and O. Sirichote, "Preparation and characterization of poly (lactic acid)/activated carbon composite bead via phase inversion method and its use as adsorbent for Rhodamine B in aqueous solution," *Journal of environmental chemical engineering*, vol. 5, no. 4, pp. 3780-3791, 2017.
- [19] I.A. Borojeni, G. Gajewski, and R. A. Riahi, "Application of Electrospun Nonwoven Fibers in Air Filters," *Fibers*, vol. 10, no. 2, 15, 2022.
- [20] E. Buluş, G. S. Buluş, and F. Yakuphanoglu, "Production of polylactic acid-activated charcoal nanofiber membranes for COVID-19 pandemic by electrospinning technique and determination of filtration efficiency," *Journal of Materials and Electronic Devices*, vol. 4, no. 1, pp. 21-26, 2020.
- [21] Y. Zhao, L. Zhou, and Z. Wang, "Direct melting polycondensation and characterization of poly (ϵ -caprolactone-co-lactic acid)," *Frontiers of Chemistry in China*, vol. 2, no. 2, pp. 178-182, 2007.
- [22] J. Shen, G. Huang, C. An, X. Xin, C. Huang, and S. Rosendahl, "Removal of Tetrabromobisphenol A by adsorption on pinecone-derived activated charcoals: Synchrotron FTIR, kinetics and surface functionality analyses," *Bioresource technology*, vol. 247, pp. 812-820, 2018.
- [23] D. Li, M. W. Frey, and A. J. Baeumner, "Electrospun polylactic acid nanofiber membranes as substrates for biosensor assemblies," *Journal of Membrane Science*, vol. 279, no. 1-2, pp. 354-363, 2006.

- [24] W. Ke, X. Li, M. Miao, B. Liu, X. Zhang, and T. Liu, "Fabrication and Properties of Electrospun and Electrospayed Polyethylene Glycol/Poly(lactic Acid) (PEG/PLA) Films," *Coatings*, vol.11, no. 7, 790, 2021.
- [25] S. Ahmadian, M. Ghorbani, and F. Mahmoodzadeh, "Silver sulfadiazine-loaded electrospun ethyl cellulose/poly(lactic acid)/collagen nanofibrous mats with antibacterial properties for wound healing," *International Journal of Biological Macromolecules*, vol.162, pp.1555-1565, 2020.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Rasyonel Sayılarda Tanımlı Düzgün Yıldız Çokgenler ve Köşe Sayı Dizileri

 Mehmet ARSLAN^{a,*}

^a Milli Eğitim Bakanlığı, Malatya Bilim ve Sanat Merkezi, Malatya, TÜRKİYE

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

DOI:10.29130/dubited.1101987

ÖZ

Bu çalışmada, üzerinde yüzlerce yıldır çalışılan düzgün yıldız çokgenler konusu ele alınmıştır. Literatürde pozitif tam sayılar kümesinde çalışılmış olan düzgün yıldız çokgenler ilk kez rasyonel sayılar kümesinde tanımlanmış ve analiz edilmiştir. Düzgün yıldız çokgenleri ifade ederken kullandığımız iki değişken rasyonel sayılarda tanımlanmıştır. Bu durum düzgün yıldız çokgenlerin sarmal yapıda olup olmamasına göre incelenmiştir. En sade formlarının eşit bir açıyla üst üste gelmesiyle oluşan düzgün yıldız çokgenler için, bu açıyı veren bağıntı elde edilmiş ve sözsüz ispat tekniği ile ispatlanmıştır. Bu açı sarmal yapıdaki düzgün yıldız çokgenlerde de köşeler arası açıdır. Yine düzgün yıldız çokgenin sarmal yapıda olup olmamasına göre köşe noktalarına saat yönünün tersi yönde başlangıç 1 sayısı olmak üzere ardışık tam sayıları yerleştirip oluşum çizgilerini takip ederek bu sayılarla iki çeşit genel sayı dizisi oluşturulmuştur. Ayrıca düzgün yıldız çokgenlerin oluşum çizgilerinin izinde köşe noktalarına saat yönünün tersi yönde yine başlangıç 1 sayısı olmak üzere ardışık tam sayılar yerleştirilerek sırasıyla köşe noktalarındaki sayılarla sayı dizileri elde edilmiştir. Her iki yöntemle de düzgün yıldız çokgen şekli çizmeden sayı dizileri elde edilebilmektedir. Yapılan çalışma ile düzgün yıldız çokgenler için tanım aralığı rasyonel sayılar kümesine yükseltilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Düzgün yıldız çokgen, Sarmal yapı, Oluşum açısı

Regular Star Polygons Defined in Rational Numbers and Vertex Number Sequences

ABSTRACT

In this study, the subject of regular star polygons, which has been studied for hundreds of years, is discussed. Regular star polygons, which were studied in the set of positive integers in the literature, were defined and analyzed for the first time in the set of rational numbers. The two variables we use to express regular star polygons are defined in rational numbers. This situation has been investigated according to whether regular star polygons have a spiral structure or not. For regular star polygons formed by the overlapping of their simplest forms at an equal angle, the relation giving this angle was obtained and proved by the proof without words technique. This angle is also the angle between the vertices in regular star polygons in spiral structure. Again, depending on whether the regular star polygon is spiral or not, two kinds of general number sequences are formed with these numbers by placing consecutive integers, starting with the number 1, at the corner points in the counterclockwise direction and following the formation lines. In addition, on the traces of the formation lines of regular star polygons, successive integers, again starting with 1, were placed at the corner points in the counterclockwise direction, and number sequences were obtained with the numbers at the corner points, respectively. With both methods, number sequences can be obtained without drawing a regular star polygon shape. With the study, the definition range for regular star polygons has been increased to the set of rational numbers.

Keywords: Regular star polygon, Spiral structure, Angle of formation

I. GİRİŞ

Geometrinin önemli bir başlığı olan düzgün yıldız çokgenler üzerinde yüzlerce yıldır çalışmalar yapılmaktadır. Yıldız çokgenler, M.Ö. 540 civarında, pentagram adı verilen beş köşeli yıldızın Pisagor derneğine üyeliğin sembolü olarak kullanılmasıyla ortaya çıktı [1]. Daha sonra Euclid, Boethius, Bradwardine, Regio Mantanus, de Boulles, Kepler ve Schläfli gibi önemli matematikçiler konu üzerinde çalıştılar ve yıldız çokgenler üzerine çok ilginç özellikler keşfettiler [2]. On dördüncü yüzyılda Thomas Bradwardine “Geometria Speculativa” isimli çalışmasında yıldız çokgenlerden bahsetmiştir [3]. Daha sonra 1619 yılında Johannes Kepler “Harmonices Mundi” isimli çalışmasında bu konuda sistematik olarak ilerlemeler elde etmiştir [4]. Kepler düzgün çokgenin bir uyarlaması olarak yıldız çokgenleri tanımlamıştır [5]. Harold S. M. Coxeter ve Robert S. Wilson tarafından düzgün yıldız çokgenlerin tanım ve özellikleri üzerine çalışmalar yapılmıştır [6], [7]. Yıldız çokgenler basit olmayan çokgenlerdir. Düzgün çokgenler gibidirler, çünkü uç noktalarında kesişen düzlemdeki bölümlerin birleşiminden oluşurlar, ancak bitiş noktalarından başka noktalarda da kesişirler [1]. Ayrıca düzgün yıldız çokgenlerin geometrik süsleme sanatında geniş bir uygulama alanına sahip olduğu bilinmektedir [8], [9], [10], [11].

Çokgenlerin genel formundaki düzgün yıldız çokgenler çalışmaya değer bir konudur [12]. Bu çalışmada, literatürde pozitif tam sayılar kümesinde çalışılmış olan düzgün yıldız çokgenler ilk kez rasyonel sayılar kümesinde tanımlandı ve analiz edildi. Öncelikle düzgün yıldız çokgenleri ifade ederken kullanılan iki değişken rasyonel sayılarda tanımlandı. Bu durum düzgün yıldız çokgenlerin sarmal yapıda olup olmamasına göre incelendi. En sade formlarının eşit bir açıyla üst üste gelmesiyle oluşan sarmal yapıda olmayan düzgün yıldız çokgenler için bu açıyı veren bağıntı elde edildi ve görsellerle sözsüz ispat tekniği kullanılarak ispatlandı. Bu açı bağıntısı sarmal yapıdaki düzgün yıldız çokgenlerin aynı konumdaki açıları içinde doğru sonuç vermektedir. Yine düzgün yıldız çokgenlerin köşe noktalarına saat yönünün tersi yönde başlangıç 1 sayısı olacak şekilde ardışık tam sayılar yerleştirilip oluşum çizgileri takip edildiğinde düzgün yıldız çokgenin sarmal yapıda olup olmamasına göre iki çeşit genel sayı dizisi oluşturuldu. Son olarak düzgün yıldız çokgenlerin oluşum çizgilerinin izinde saat yönünün tersi yönde 1 sayısından başlayarak ardışık tam sayıları yerleştirip sırasıyla köşe noktalarındaki sayılarla sayı dizileri elde edildi. İki yöntemle de düzgün yıldız çokgen şekli çizmeden sayı dizilerinin elde edilebileceği metotlar ortaya çıkartıldı.

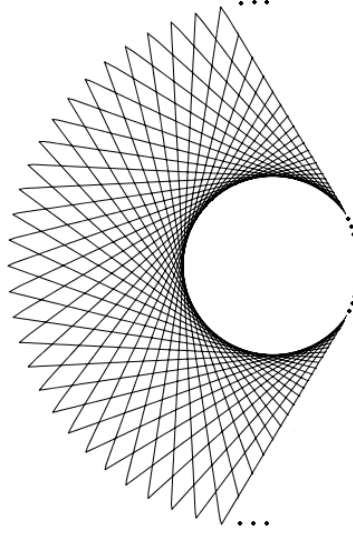
Bu çalışmada, herhangi bir $\{n/k\}$ düzgün yıldız çokgeninde köşe noktalarına karşılık gelecek sayı konumlarının şekil çizmeden belirlenebileceği yöntemlerin geliştirilmesi amaçlandı.

II. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada, düzgün yıldız çokgenler ile ilgili bilinen tanım ve özellikler incelenerek yeni sonuçlara ulaşılmıştır. Çalışma sürecinde çizimler Cabri II Plus, Desmos geometri programları kullanılarak elde edilmiştir.

A. DÜZGÜN YILDIZ ÇOKGEN TANIMI

$k \geq 1$, $n \geq 3$ ve $k, n \in \mathbb{N}$ olmak üzere bir daire üzerinde eşit aralıklı n nokta alıp herhangi bir noktadan itibaren her k . noktasını eş doğru parçaları ile bağlayarak oluşturulan şekle düzgün yıldız çokgen denir [6], [7], [12]. Her k . noktasının bağlı olduğu n köşeli düzgün yıldız çokgen Şekil 1’de görüldüğü gibi $\{n/k\}$ Schläfli sembolü ile ifade edilmektedir.



Şekil 1. $\{n/k\}$ Düzgün yıldız çokgeni.

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

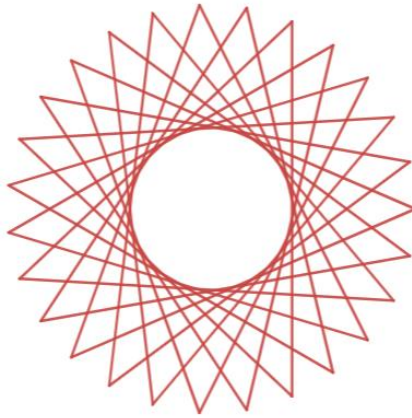
A. RASYONEL SAYILI DÜZGÜN YILDIZ ÇOKGENLER

Burada $k \geq 1$, $n \geq 3$ olmak üzere rasyonel sayılardan genişletilerek elde edilen k ve n tamsayıları çerçevesinde $\{n/k\}$ düzgün yıldız çokgenler analiz edilecektir. Literatürde karşılaşılmayan bu durumlar düzgün yıldız çokgenlerin sarmal yapıda olup olmamasına göre iki bölümde ele alınacaktır:

A.1. Uyarlama Katsayısı

$a \geq 1$, $b \geq 3$ ve $a, b \in Q$ olmak üzere a ve b rasyonel sayılarını $a.q$ ve $b.q$ tam sayılarına dönüştüren $q \in R$ değerine uyarlama katsayısı denir. $a, b \in R$ için $\{b/a\}$ düzgün yıldız çokgenlerini ifade etmek için $q \in R$ uyarlama katsayısına ihtiyaç duyarız. $a.q=k$ ve $b.q=n$ olmak üzere n ve k tam sayılarda aralarında asal ise $\{n/k\}$ düzgün yıldız çokgeni sarmal bir yapıdadır. Sarmal yapılar için,

$\{9/2, 5/3\} = \left\{ \frac{9}{2} \cdot 6, \frac{5}{3} \cdot 6 \right\} = \{27, 10\}$ olur. Şekil 2’de görülen $\{27, 10\}$ düzgün yıldız çokgeninde uyarlama katsayısı $q=6$ dır.



Şekil 2. $\{9/2, 5/3\} = \{27, 10\}$ düzgün yıldız çokgeni.

A.2. Oluşum Açısı

$a \geq 1$, $b \geq 3$ ve $a, b \in Q$ için $a.q=k$ ve $b.q=n$ olmak üzere n ve k tam sayılarda aralarında asal değilse $\{n/k\}$ düzgün yıldız çokgeni n ve k 'nın tam sayılarda en sade formundaki düzgün yıldız çokgeninin $Ebob(n, k)$ değeri kadar üst üste eşit açılarla yerleştirilmesi ile oluşur. Bu açığa oluşum açısı denir ve α sembolüyle gösterilir.

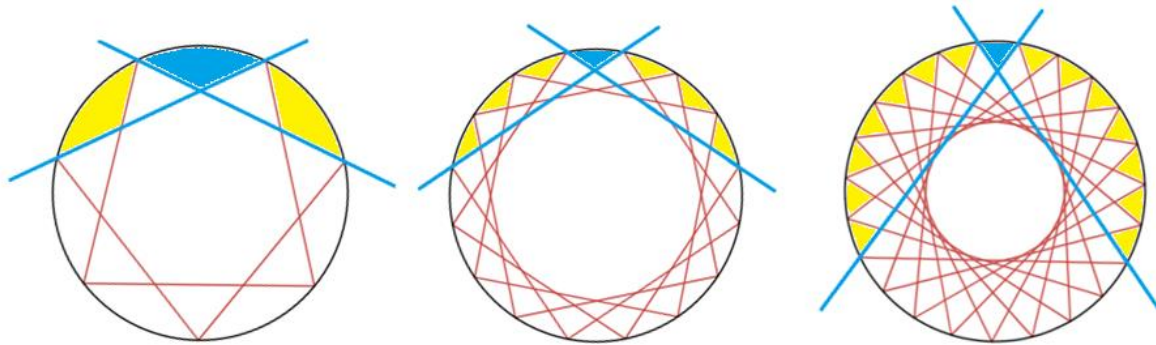
$\frac{n}{k}$ 'nin tam sayılarda en sade formu $\frac{c}{d}$ ve $Ebob(n, k) = \mu$ ise $\{n/k\}$ düzgün yıldız çokgeni $\{c/d\}$ düzgün yıldız çokgeninin α açısıyla μ sayıda tekrarı ile oluşur.

Bir çemberde iki kiriş arasındaki açının ölçüsü, açının iki taraftan karşısındaki yayların ölçülerinin toplamının yarısına eşittir. $\{n/k\}$ düzgün yıldız çokgenlerinde Şekil 3'te gösterilen kiriş açılar için açının gördüğü yaylar üzerinde bir genelleme oluşmadığından bu kapsamın dışında kalan açılar çalışılmıştır. α açısı hesaplanırken α açısını oluşturan iki çember kirişinin kapsamı dışında kalan açılar üzerinden sonuca gidilecektir.

$k \geq 1$, $n \geq 3$ ve $k, n \in N$ olmak üzere $\{n/k\}$ düzgün yıldız çokgeninde k değişkeninde kapsam dışı açı sayısı Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. $\{n/k\}$ düzgün yıldız çokgenlerinde kapsam dışı açı sayısı.

k	Kapsam Dışı Açı Sayısı	$(k-1)$
1	$2.0=0$	0
2	$2.1=2$	1
3	$2.2=4$	2
...
k	$2.(k-1)=2k-2$	$k-1$



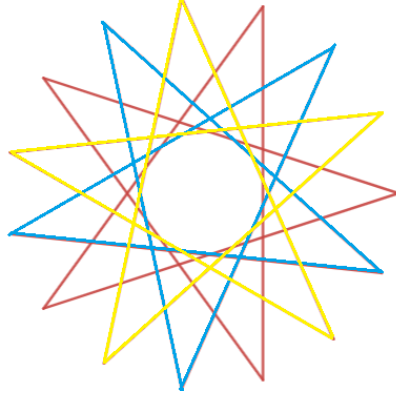
Şekil 3. $\{7/2\}$, $\{16/4\}$, $\{23/8\}$ düzgün yıldız çokgenlerinde α açısı ve kapsam dışı açılar.

$\{n/k\}$ düzgün yıldız çokgenini çevreleyen çemberin ölçüsünden iki taraflı kapsam dışı açılarının toplam ölçüsü çıkarılıp ikiye bölünerek α açısı hesaplanır. α açısını veren formül aşağıdaki gibidir.

$$s(\alpha) = \frac{360 - 2(k-1) \left(\frac{360}{n} \right)}{2} = 180 - 360 \frac{(k-1)}{n} \quad (1)$$

Elde edilen bağıntının kullanıldığı bir örnek aşağıda verilmiştir.

Örnek: $\{3, \frac{6}{5}\} = \{3.5, \frac{6}{5}.5\} = \{15, 6\}$ burada uyarlama katsayısı $q=5$ 'tir. $\text{Ebob}(15, 6) = 3$ olduğundan $\{15, 6\}$ düzgün yıldız çokgeni Şekil 4'te görüleceği gibi 3 tane $\{5, 2\}$ düzgün yıldız çokgeninin $s(\alpha) = 180 - 360 \frac{(6-1)}{15} = 180 - 120 = 60^\circ$ açılarla üst üste yerleştirilmesi ile oluşur.

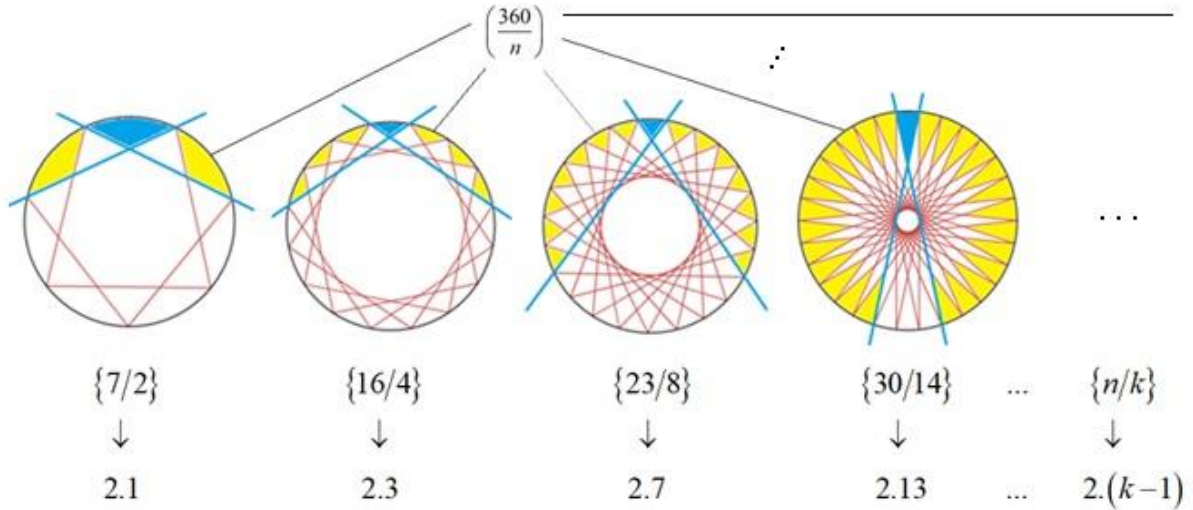


Şekil 4. $\{3, \frac{6}{5}\} = \{15, 6\}$ düzgün yıldız çokgeni.

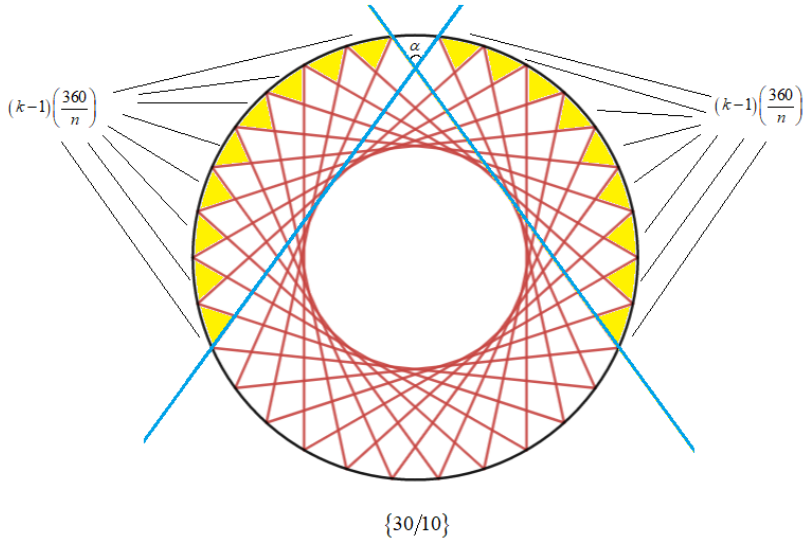
A.3. Düzgün Yıldız Çokgenlerde Oluşum Açısını Veren Formülün Sözsüz İspatı

A.3.1. Teorem: $k \geq 1$, $n \geq 3$ ve $k, n \in \mathbb{N}$ olmak üzere $\{n/k\}$ düzgün yıldız çokgenlerinde α oluşum açısı $180 - 360 \frac{(k-1)}{n}$ formülü ile hesaplanır.

İspat: $\{7/2\}$, $\{16/4\}$, $\{23/8\}$, $\{30/10\}$, $\{30/14\}$, ..., $\{n/k\}$ düzgün yıldız çokgenleri üzerinde α oluşum açısı için sözsüz ispat Şekil 5 ve Şekil 6'daki gibidir.



Şekil 5. Düzgün yıldız çokgenlerde kapsam dışı açı sayısı.



Şekil 6. Düzgün yıldız çokgenlerde kapsam dışı açılar ve a oluşum açısı.

B. DÜZGÜN YILDIZ ÇOKGENLERDE KÖŞE SAYI DİZİLERİ

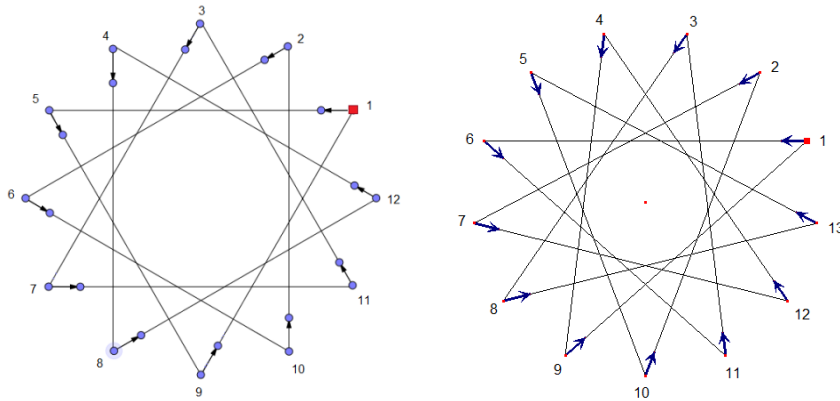
B.1. Oluşum Çizgilerinin İzinde Sayı Dizileri

$\{n/k\}$ düzgün yıldız çokgeni üzerinde herhangi bir köşesinden başlanarak tüm köşeler saat yönünün tersi yönde $1, 2, \dots, n$ sayıları ile işaretlenir. 1 sayısı ile başlanıp düzgün yıldız çokgen tanımına uygun olarak ok yönünde sayıları takip edildiğinde sayı dizileri elde edilir.

B.1.1. Teorem: $k \geq 1$, $n \geq 3$ ve $k, n \in \mathbb{N}$ olmak üzere $\{n/k\}$ düzgün yıldız çokgen şekli sarmal yapıda ise 1 ile başlanıp k kadar artarak devam eden sayı dizisinde n hariç tüm elemanlara $\text{mod}(n)$ uygulanır. 1 sayısına tekrar ulaşıldığında dizi tamamlanır. Sarmal yapıdaki $\{n/k\}$ düzgün yıldız çokgeni için

$$(1)_{\text{mod}(n)}, (1+k)_{\text{mod}(n)}, (1+2k)_{\text{mod}(n)}, \dots, n, \dots, (1+(n-2)k)_{\text{mod}(n)}, (1+(n-1)k)_{\text{mod}(n)}, (1)_{\text{mod}(n)} \quad (2)$$

genel formunda sayı dizisi elde edilir. Bu sayede düzgün yıldız çokgen şekline ihtiyaç duymadan sayı dizileri oluşturulabilir. Şekil 7’de $\{12/4\}$ ve $\{13/5\}$ düzgün yıldız çokgenlerinde sayı dizileri gösterilmiştir.



Şekil 7. $\{12/4\}$ ve $\{13/5\}$ düzgün yıldız çokgenlerinde sayı dizileri.

Örnek: $\{13/5\} \Rightarrow 1-6-11-3-8-13-5-10-2-7-12-4-9-1$

$\{26/9\} \Rightarrow 1-10-19-2-11-20-3-12-21-4-13-22-5-14-23-6-15-24-7-16-25-8-17-26-9-18-1$

B.1.2. Teorem: $j \geq 1, k \geq 1, n \geq 3$ ve $j, k, n \in \mathbb{N}$ olmak üzere $\{n/k\}$ düzgün yıldız çokgen şekli sarmal yapıda değil ise $\text{Ebob}(n, k)$ değeri kadar farklı sayı dizi grubu oluşur. Her sayı dizisi grup sıra numarası ile başlar ve sonlanır. $\{n/k\}$ düzgün yıldız çokgeni için $\text{Ebob}(n, k) = j$ olmak üzere

$$\begin{aligned} & (1)_{\text{mod}(n)}, (1+k)_{\text{mod}(n)}, (1+2k)_{\text{mod}(n)}, \dots, (1+(n-2)k)_{\text{mod}(n)}, (1+(n-1)k)_{\text{mod}(n)}, (1)_{\text{mod}(n)} / \\ & (2)_{\text{mod}(n)}, (2+k)_{\text{mod}(n)}, (2+2k)_{\text{mod}(n)}, \dots, (2+(n-2)k)_{\text{mod}(n)}, (2+(n-1)k)_{\text{mod}(n)}, (2)_{\text{mod}(n)} / \\ & \dots \\ & (j)_{\text{mod}(n)}, (j+k)_{\text{mod}(n)}, (j+2k)_{\text{mod}(n)}, \dots, n, \dots, (j+(n-2)k)_{\text{mod}(n)}, (j+(n-1)k)_{\text{mod}(n)}, (j)_{\text{mod}(n)} \end{aligned}$$

genel sayı dizisi elde edilir.

Verilen teoremler için; $\{n/k\}$ düzgün yıldız çokgeni tanımında ifade edilen, bir daire üzerinde eşit aralıklı n nokta alınıp herhangi bir noktadan itibaren her k . noktasının sırasıyla eş doğru parçaları ile bağlanarak düzgün yıldız çokgen olduğundan elde edilen iki genel formdaki sayı dizisinin ispatı açıktır. $\{n/k\}$ düzgün yıldız çokgen şekli sarmal yapıda değil ise $\{n/k\}$ düzgün yıldız çokgeni n ve k nin tam sayılarda en sade formundaki düzgün yıldız çokgeninin $\text{Ebob}(n, k)$ değeri kadar üst üste eşit açılarla yerleştirilmesi ile olduğundan buradaki genel sayı dizisi parçalı bir yapıdadır.

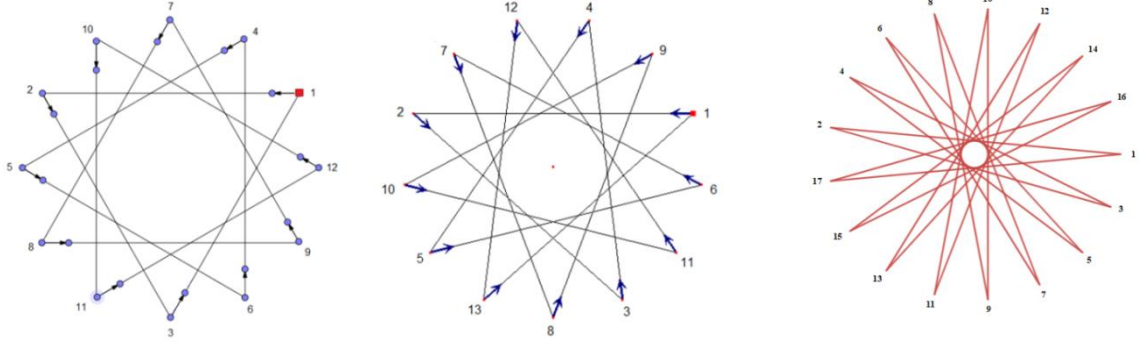
Örnek: $\{12/4\} \Rightarrow \text{Ebob}(12,4)=4 \Rightarrow \underline{1-5-9-1} / \underline{2-6-10-2} / \underline{3-7-11-3} / \underline{4-8-12-4}$
 $\{18/8\} \Rightarrow \text{Ebob}(18,8)=2 \Rightarrow \underline{1-9-17-7-15-5-13-3-11-1} / \underline{2-10-18-8-16-6-14-4-12-2}$

Elde edilen teoremler sayesinde bahse konu olan sayı dizisini ve dizinin herhangi sıradaki bir terimini düzgün yıldız çokgen şeklini çizmeden elde edebilmek mümkün olmaktadır.

B.2. Köşe Noktalarında Sayı Dizileri

$\{n/k\}$ düzgün yıldız çokgeni üzerinde herhangi bir noktadan başlanarak saat yönünün tersinde tanıma uygun olarak ok yönünde sarmal çizgiler takip edilip tüm köşeler $1, 2, \dots, n$ sayıları ile işaretlenir. Burada başlangıç noktasından saat yönünün tersinde ardışık köşelerdeki sayılarla sayı dizileri elde edilir.

Herhangi bir $\{n/k\}$ düzgün yıldız çokgeninde 1 sayısı ile başlayıp μ kadar artarak devam eden sayı dizileri, μ artış miktarına göre yorumlandığında, n hariç tüm elemanlara $\text{mod}(n)$ uygulanır. Tekrar 1 sayısına ulaşıldığında sayı dizisi tamamlanır. Şekil 8'de bu durum açıkça görülmektedir.



Şekil 8. $\{12/4\}$, $\{13/5\}$ ve $\{17/8\}$ düzgün yıldız çokgenlerinde sayı dizileri.

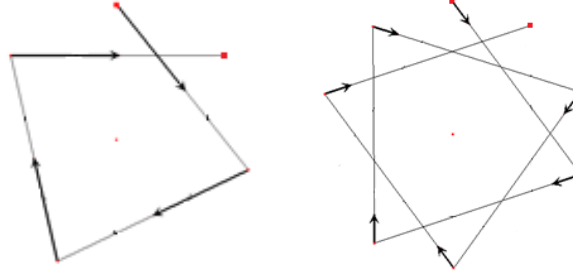
$\{12/4\}$, $\{13/5\}$ ve $\{17/8\}$ düzgün yıldız çokgenlerinde 1 ile başlayıp sırasıyla $\mu=3$, $\mu=8$ ve $\mu=15$ artarak devam eden sayı dizileri:

1, 4, 7, 10, 1, 2, 5, 8, 11, 2, 3, 6, 9, 12, 3 mod(12),

1, 9, 4, 12, 7, 2, 10, 5, 13, 8, 3, 11, 6, 1 mod(13) ve

1, 16, 14, 12, 10, 8, 6, 4, 2, 17, 15, 13, 11, 9, 7, 5, 3, 1 mod(17).

şeklindedir. Burada Şekil 9'da örneklendirilen μ artış miktarı, $\{n/k\}$ düzgün yıldız çokgeninde herhangi bir köşedeki noktanın saat yönünde veya tersinde devamındaki noktaya ulaşırken çizdiği oluşum çizgileri sayısıdır.



Şekil 9. $\{7/2\} \Rightarrow \mu=4$, $\{10/3\} \Rightarrow \mu=7$

B.2.1. Düzgün Yıldız Çokgen Şekli Çizmeden Sayı Dizilerinin Eldesi

Herhangi bir $\{n/k\}$ düzgün yıldız çokgenin köşelerinde oluşan n terimli sayı dizisi düzgün yıldız çokgen şekli çizilmeden elde edilebilir. Bu yöntem büyük n ve k değerleri için kolaylık sağlar. Burada öncelikle n , k 'ye bölünür.

$$\begin{array}{r|l} n & k \\ \hline & \delta \\ \hline \lambda & \end{array}$$

Bu bölme işleminde; δ , oluşan sayı dizisinin her biri $(k-1)$ adet sayıdan oluşan aralık sayısını ve $(\lambda-1)$ son aralıktan sonra gelen sayı adedini temsil etmektedir. Tablo 2'de de görüleceği gibi sayı dizisinde önce δ tane $(k-1)$ adet sayıya ait boşlukları oluşturacak biçimde 1'den $(1+\delta)$ 'ye ardışık sayılar

yerleştirilir. $(1+\delta)$ 'den sonra $(\lambda - 1)$ tane sayı gelecektir. Bu şekilde elde edilen $1, 2, \dots, \delta, \delta + 1$ dizi terimleri temel sınır noktalarını verir.

Tablo 2. $\{n/k\}$ düzgün yıldız çokgeninde sayı dizisi oluşumu

$\{n/k\}$	1	$(k-1)$ tane sayı	2	$(k-1)$ tane sayı	3	...	$(\delta + 1)$	$(\lambda - 1)$ tane sayı
		$(1 + \mu)$	$(1 + 2\mu)$			
Sıra No:	1	2	3	n

Dizideki temel sınır noktalarını belirledikten sonra; $(\delta + 2)$, $(\delta + 1)$ 'den sonraki k . adımdaki kutuda; $(\delta + 3)$, $(\delta + 2)$ 'den sonraki k . adımdaki kutudadır. Bu şekilde $(\delta + 2)$, $(\delta + 3)$, $(\delta + 4)$, ... , n belirlenebilir. Ayrıca oluşturmaya çalışılan sayı dizisindeki ardışık terimlerden ilk ortaya çıkan herhangi ikisinden dizinin μ artış miktarı elde edilirse, $\text{mod}(n)$ 'e göre ilk teriminden itibaren sırasıyla eklenerek sayı dizisi oluşturabilir.

Sayı dizilerini oluşturabilmek için diğer bir yöntem de n kutu için 1'den başlayıp 1'den sonra k . kutuya 2, 2'den sonra k . kutuya 3, 3'ten sonra k . kutuya 4, ..., n şeklindedir.

Burada sayı dizisini düzgün yıldız çokgeni çizmeden elde edebilmek mümkün olmaktadır.

Örnek: $\{18/5\}$ düzgün yıldız çokgeni için Tablo 3'te oluşan dizide $\text{mod}(18)$ için artış miktarı $\mu=11$ olur.

Tablo 3. $\{18/5\}$ düzgün yıldız çokgeninde sayı dizisi oluşumu.

$\{18/5\}$	1	$k-1=4$	2	$k-1=4$	3	$k-1=4$	$4=\delta + 1$	$\lambda - 1=2$										
	12	5	16	9	13	6	17	10	14	7	18	11	15	8				
Sıra No:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18

Oluşan, 1, 12, 5, 16, 9, 2, 13, 6, 17, 10, 3, 14, 7, 18, 11, 4, 15, 8, 1 dizisinde $\text{mod}(18)$ 'e göre artış miktarı $\mu = 11$ olur. Bu yöntemle $\{18/5\}$ düzgün yıldız çokgeni çizilmeden 18 terimli sayı dizisi elde edilebilir.

IV. SONUÇ

Bu çalışma kapsamında, pozitif tam sayılar kümesinde çalışılmış olan düzgün yıldız çokgenler ilk kez rasyonel sayılarda tanımlanmış ve analiz edilmiştir. Düzgün yıldız çokgenler Schläfli sembolü ile ifade edilirken kullanılan iki değişken için tanım aralığı rasyonel sayılar kümesine yükseltilmiştir. En sade formlarının eşit bir açıyla üst üste gelmesiyle oluşan düzgün yıldız çokgenler için bu açıyı veren bağıntı elde edilmiş ve görseller kullanılarak sözsüz ispat tekniği ile ispatlanmıştır. Düzgün yıldız çokgenler için oluşum çizgilerinin ya da köşe noktaları izinde genel sayı dizileri oluşturulmuştur. Düzgün yıldız çokgen şekli çizmeden sayı dizilerinin elde edilebileceği metotlar ortaya çıkartılmıştır.

V. KAYNAKLAR

- [1] R. R. Baumbach, "Star-Polygons." *Mathematics and Computer Education*, vol. 18, no. 1, pp. 111-18, 1984.
- [2] D. Danner, "Learning with LOGO: Learning about Star Polygons with LOGO" *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, vol. 3, no. 4, pp. 49-53, 1984.
- [3] T. Bradwardine, *Geometria speculativa*, Stuttgart, Germany: Steiner-Verl. Wiesbaden, 1989, pp. 5–10.
- [4] J. Kepler, *Harmonices Mundi*, Vol. 1, Gottfried Tampach, 1619; English transl., The Harmony of the World, USA: American Philosophical Society, 1997, pp. 6-35.
- [5] H.S.M. Coxeter, *Introduction to geometry, Star polygons*, 2nd ed., New York, USA: Wiley, 1969, pp.36-38.
- [6] H.S.M. Coxeter, *Regular Complex Polytopes*, London, England: Cambridge University Press, 1974, pp. 3-8.
- [7] R.S. Wilson, (2001). *Regular Star Polygons*, [Online]. Available: <http://web.sonoma.edu/users/w/wilsonst/papers/stars/default.html>.
- [8] B. Grunbaum, B. and G.C. Shephard, "Tilings by Regular Polygons", *Mathematics Magazine*, vol. 50, pp. 227–247 and vol. 51, pp. 205–206, 1977.
- [9] S. Mülayim, *Anadolu Türk Mimarisinde Geometrik Süslemeler*, Ankara, Türkiye: Kültür Bakanlığı Yayınları, 1982, ss. 50-59.
- [10] A. Khamjane and R. Benslimane, "A computerized method for generating Islamic star patterns", *Computer-Aided Design*, vol. 97, pp. 15-26, 2018.
- [11] M. Arslan and Y. Tuncel, "Battalgazi Ulu Camii ve Geometrik Analizler", *Yeditepe Üniversitesi Tarih Bölümü Araştırma Dergisi*, vol. 2, no. 5, pp. 104-123, Jan. 2019.
- [12] M. Arslan, "Düzenli yıldız çokgenlerde çizgiler ve koordinatlar", *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, vol. 11, no. 2, pp. 522-529, 2021.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Görüntü Kazıma Yoluyla Oluşturulan Örnek Veri Kümesinin Evrşimsel Sinir Ağı Tabanlı Görüntü Sınıflama Üzerine Etkisinin İncelenmesi

 Tolga HAYIT^{a, *}

^a*Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Yozgat Bozok Üniversitesi, Yozgat, TÜRKİYE*

^{*}*Sorumlu yazarın e-posta adresi: tolga.hayit@bozok.edu.tr
DOI:10.29130/dubited.1120967*

ÖZ

Derin öğrenme tabanlı görüntü sınıflandırma çalışmalarının en önemli aşamalarından biri veri elde etme aşamasıdır. Modeli eğitecek veri setinin göreve özgü ve uygun kalitede olması gerekmektedir. Bu nedenle veri setinin oluşturulma süreci araştırmacılar için zahmetli ve yorucu bir süreç olabilmektedir. Web kazıma teknikleri çalışmalarda kullanılabilir uygun veri setlerinin oluşturulmasında araştırmacılara çözümler sunmaktadır. Özellikle derin öğrenme gibi çok sayıda veri ihtiyacı bulunan görevlerde bu tekniklerin kullanılması süreci ciddi anlamda hızlandırabilmektedir. Bu bağlamda bu çalışma, örnek bir görüntü sınıflandırma görevi için görsel kazıma teknolojisi ile oluşturulan veri setinin sınıflandırmaya başarısını araştırmaktadır. Çalışmada farklı CNN modelleri kullanılarak, oluşturulan örnek veri seti eğitilmiştir. Test veri seti doğruluk değeri (%98,8) ve diğer performans ölçütleri görsel kazıma yoluyla elde edilen veri setinin görüntü sınıflandırma görevleri için kullanılabilirliğini desteklemektedir.

Anahtar Kelimeler: *Görsel kazıma, Web kazıma, Evrşimsel Sinir Ağı, Derin Öğrenme, Görüntü sınıflandırma*

An investigation of the Effect of Dataset Sample Created via Image Scraping on Convolutional Neural Network Based Image Classification

ABSTRACT

Data acquisition is one of the most important stage of deep learning based image classification studies. The training dataset of the model should be task-specific and qualified. Therefore, the dataset creating can be exhausting and laborious process for researchers. Web scraping method offer solutions to researchers in creating suitable data sets that can be used in studies. The use of these techniques can accelerate the process, especially in tasks that require more data, such as deep learning. In this context, this study investigates the classification success of the data set created via image scraping for image classification tasks. In the study, the dataset was trained by using different Convolutional Neural Network models. Test accuracy (98,8%) and other performance metrics support that the dataset created via image scraping can be used for image classification tasks.

Keywords: *Image scraping, Web scraping, Convolutional Neural Network, Deep learning, Image classification*

I. GİRİŞ

Veri, makine öğrenimi, örüntü tanıma, veri madenciliği gibi yapay zekaya dayalı birçok disiplin için araştırmanın önemli bir parçasıdır. Makine öğrenimi alanında daha fazla veriyi bulundurmak, bir makine öğrenimi modelinin bunu anlaması ve karşılaştığı yeni bir veri için doğru tahminler yapabilmesi için yüksek bir şans sağlamaktadır. Bununla birlikte veri sayısına paralel olarak güvenilir ve kaliteli verilerle çalışılması modeli daha sağlam hale getirmektedir. Veri oluşturmak ya da verinin elde edilmesi aşaması, modele sunulacak veri setinin ilk hazırlık aşamasını oluşturmaktadır. Doğru veri setinin elde edilmesi, verinin hazırlanması, verilerin temizliği vb. gibi problemlerden daha öncelikli bir konudur.

Web teknolojisi, birçok disiplinde araştırmacılar için önemli bir bilgi kaynağıdır. Web, farklı formatlarda çeşitli kaynaklardan yararlı ya da yararsız yapılandırılmış ve yapılandırılmamış bilgiler içermektedir [1]. Kaggle, UCI Machine Learning Repository gibi paylaşım açık sistemler veri toplamak için araştırmacılara alternatif çözümler üretse de araştırmacılar birden fazla web sitesinden veri toplamak ve verileri analiz etmek isteyebilir. Bu durumda araştırmacıların karşısına farklı problemler çıkmaktadır. Elde edilecek veriler tek bir web sitesinde de bulunsa örneğin aynı sayfada yer almayabilir ya da veriler araştırmacının beklediği kalitede ve formda olmayabilir. Ek olarak, birçok web sitesi verileri bir buton ya da araç vasıtası ile araştırmacının kendi bilgisayarına depolamasına ya da indirmesine izin vermez [2]. Araştırmacı bu durumda verileri manuel olarak kopyalayıp kendi bilgisayarına indirmektedir. Bu işlem, özellikle derin öğrenme gibi algoritmalar için fazla veri gerekeceğinden dolayı çok maliyetli, yorucu ve zaman alıcı bir işittir.

Otomatik web kazıma, web sitesi ortamlarından yapılandırılmamış ya da işlenmemiş verileri otomatik olarak elde etmek için (çıkarmak) kullanılan bir tekniktir. Çıkarılacak verinin türü yapılacak çalışmaya göre görsel, işitsel, metin ya da sayısal olabilir. Web kazıma genel olarak bir web sitesinden veri çıkarmak ve bu veriyi yapılandırarak kullanılabilir ya da anlaşılabilir bir formata dönüştürmektir (Şekil 1).



Şekil 1. Web kazıma genel yapısı

Web kazıma teknikleri, klasik olarak kopyala-yapıştır gibi insan çabası gerektiren maliyetli ve zaman alıcı geleneksel çözümlerden verileri yapılandırarak indirebilen tam otomatik sistemlere kadar geniş bir yelpazeye sahiptir [3]. Bunların içerisinde makine öğrenimi ve özellikle bilgisayarlı görü alanlarında web sayfalarını bir insanın yapabileceği gibi görsel açıdan yorumlayarak sayfalardan verileri çıkarmaya çalışan uygulamalar da bulunmaktadır [4]. Bu uygulamalar “Görsel Kazıyıcı” olarak adlandırılmaktadır.

Görsel Kazıyıcı uygulamalarının kullanılması, etik açıdan bazı tartışmaları da beraberinde getirmiştir. Elde edilen verilerin gelişi güzel sergilenmesi telif açısından sıkıntı doğurabilmektedir. Google, Yandex, Bing vb. arama motorlarının görsel arama tarafı, görsel web kazıma uygulama örneklerinin başında gelmektedir. Bu uygulamalardan özellikle Google Görseller için sonuçlanan geçmişe dönük emsal davalar Google Görsellerin resimleri sergilemesinin “Adil Kullanım” bağlamında sorun teşkil etmediği yönünde sonuçlanmıştır [5-8]. Bununla birlikte Google Görseller uygulaması, ilgili web kaynaklarındaki resimleri birebir olmadan; boyutları ve kalitesini düşürerek yayınlamakta ve ilgili resim üzerinden resmin bağlı bulunduğu web kaynağına yönlendirmektedir. Resimleri belirli bir ücret karşılığında satan ortamların ön izlemeleri “filigran” kullanılarak Google Görsellerde sergilenmektedir. Resimler üzerinden ilgili siteye yönlendirme yapılması da bu firmaların lehine bir durumdur.

Hangi web kazıma tekniği kullanılırsa kullanılsın, yaklaşımların ana hedefi web sitelerinden verileri otomatik olarak yakalayarak daha yapılandırılmış bir halde kullanılmasını sağlamaktır [9]. Literatürde istatistik [10,11], tıp [12-16], gıda [17,18] ve tekstil [19] gibi çeşitli alanların yanı sıra veri madenciliği ve makine öğrenimi alanlarında son dönemde yapılan çalışmalar [20-24], veri kazıma tekniklerinin başarısını ortaya koymaktadır.

Diğer yandan, son zamanlarda, insan beynini temel alan derin öğrenme yaklaşımları kullanılarak görüntü sınıflandırma ve görüntü tanıma görevlerinde inanılmaz ilerlemeler kaydedilmiştir [25-31]. Bir derin öğrenme modeli olan Derin Evrimsel Sinir Ağları (CNNs: Convolutional Neural Networks) [32], ham verilerle eğitilerek özellikle görüntü sınıflandırma ve nesne tespit görevleri için son teknoloji bir model haline ulaşmıştır. CNN'ler etiketlenmiş renkli ham verileri ön işlemeye gerek kalmadan başarılı bir şekilde sınıflandırabilmektedir [33]. Bununla birlikte CNN'ler bazı kısıtlamaları beraberinde getirmektedir. Görsel verilerin eğitimi için sayıca oldukça fazla ve kaliteli veriye ihtiyaç duyulmaktadır.

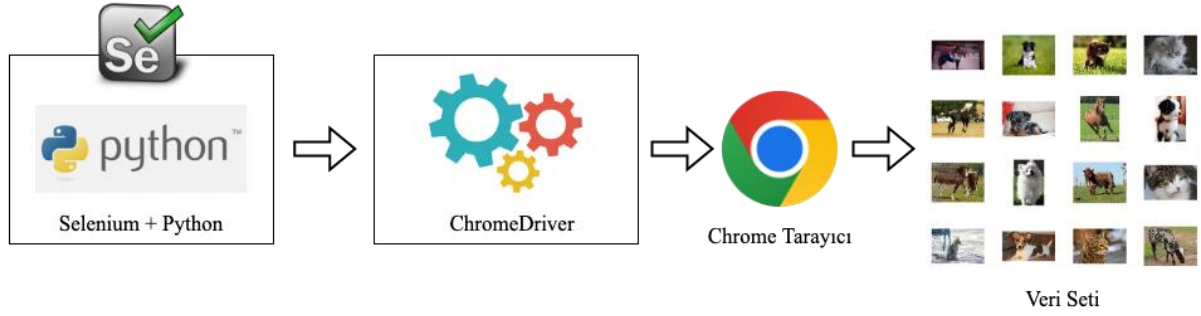
Bu çalışmada otomatik görsel web kazıma tekniği kullanılarak elde edilen veri setinin CNN tabanlı görüntü sınıflandırma modellerine etkisi incelenmiştir. Veriler dört farklı hayvan kategorisinde Google Görseller üzerinden otomatik olarak indirilerek oluşturulmuştur. Veri setinin eğitimi için görüntü sınıflandırma kategorisinde başarıları kanıtlanmış üç farklı CNN ağı işe koşulmuştur. Makalenin geri kalanı şu şekilde organize edilmiştir: sonraki bölümde veri seti, CNN ağları ve metodoloji, üçüncü bölümde elde edilen bulgularla birlikte karşılaştırmalı performans analiz sonuçları ve son bölümde de çalışmanın genel sonuçları sunulmuştur.

II. MATERYAL VE METOT

A. VERİ SETİ

Bir bilgisayarlı görsel projenin temel adımlarından biri veri elde etme ve etiketleme adımlarıdır. Veri seti oluşturma bu aşamanın en zahmetli ve zor kısmını oluşturmaktadır. Özellikle derin öğrenmeye dayalı bir görüntü sınıflama sistemi tasarlanıyorsa çok fazla etiketlenmiş veriye ihtiyaç bulunmaktadır. Çalışmanın bu aşamasında web kazıma tekniği kullanılarak, Google Görseller görsel arama motoru üzerinden veri seti oluşturulmuştur. Google Görseller, çevrimiçi görsel aramak için Google'ın sunduğu herkese açık web tabanlı son teknoloji bir ara yüzdür. Google Görsellere alternatif farklı ara yüzler de bulunmaktadır (Bing görseller, yandex görseller vb.). Hem bu alanda öncü olması bakımından hem de dünyada en çok kullanılan arama motoru olması bakımından veri seti oluşturmada Google Görseller kullanılmıştır. Google görseller üzerinden normal bir insanın manuel olarak resimleri indirip kaydetmesi oldukça zahmet gerektiren bir işittir. Bu nedenle bu işi bir insan yerine otomatik olarak yapabilecek bir ön sistem geliştirilmiştir.

Google görseller üzerinden görselleri otomatik ve hızlı bir şekilde indirebilmek için Python kodlama ile Selenium paketi kullanılmıştır. Selenium, web tarayıcılarının otomasyonunu sağlayan ve destekleyen bir dizi araç ve eklenti içeren; tarayıcı yazılımlarda kullanıcı etkileşimlerini taklit etmek için kod yazmaya izin veren ve altyapı sağlayan bir çatıdır [34]. Selenium, tarayıcı sürücülerini (web driver) üzerinden ara yüzlerine erişerek gerçek bir kullanıcının yeteneklerini simule etmektedir. Chrome sürücüsü (ChromeDriver) Selenium gibi uygulamaların tarayıcılar üzerinde işlem yapmasını sağlayan açık kaynaklı bir araçtır [35]. Web sayfalarında gezinme, form girişleri, JavaScript çalıştırma gibi birçok aktivite için olanaklar sunmaktadır. Chrome sürücüsü W3C standartlarını uygulayan bağımsız bir sürücüdür. Mac, Linux, Windows ve ChromeOS gibi farklı birçok işletim sistemi için kullanılabilir. Python+Selenium ile Chrome sürücüsü kullanılarak toplamda dört kategoride (kedi, köpek, at ve inek) görsel verileri otomatik olarak indirilmiştir. Eğitim aşamasında sorun olmaması açısından indirilen veriler nihai olarak gerçek bir kullanıcı tarafından kontrol edilmiştir. Çalışmanın veri seti oluşturma iş akışı Şekil 2 üzerinde gösterilmiştir.

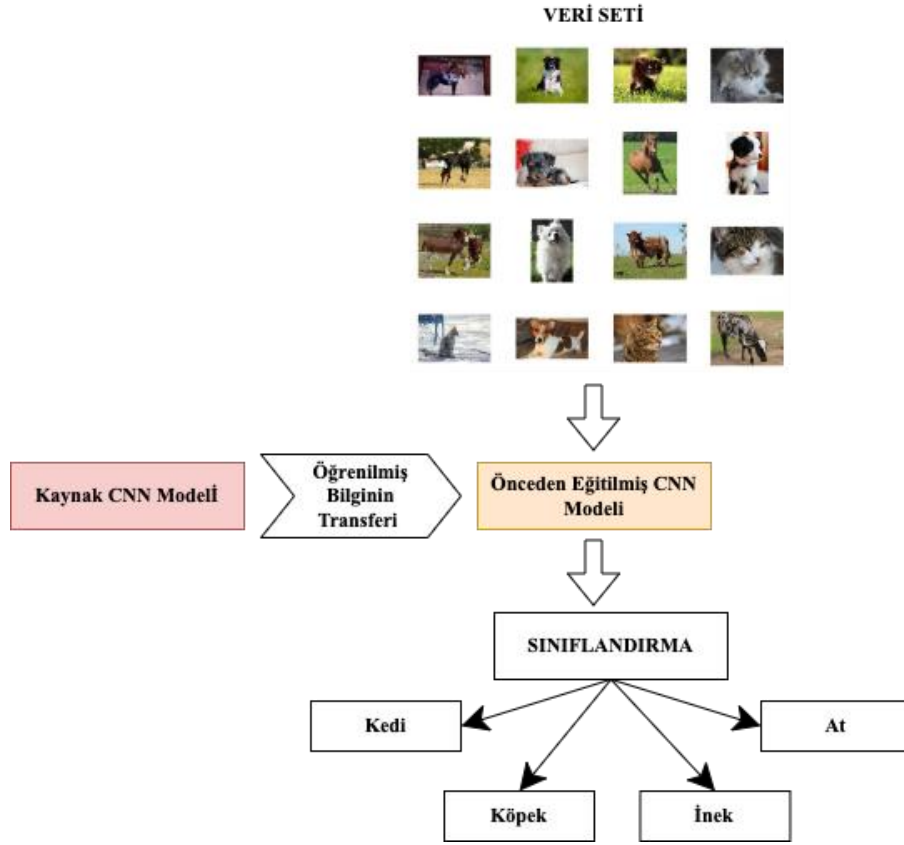


Şekil 2. Veri seti iş akışı

B. EVRİŞİMSEL SİNİR AĞLARI VE TRANSFER ÖĞRENİMİ

Evrişimsel sinir ağları (CNN'ler) görüntü, ses, metin gibi verilerden belirleyici özellikleri otomatik olarak öğrenebilen, çalışma biçimini insan beyninden ilham alan, birbirine bağlı katmanlardan oluşan bir yığın yapısıdır. Geleneksel yapay sinir ağlarına nazaran farklı görevlere ilişkin karmaşık ve doğrusal olmayan ilişkileri deneyimlemede ve tahmin etmede insanlarla aynı performansı gösterebilmektedir. Bir CNN mimarisi görüntü sınıflandırma görevi için sıfırdan eğitilebilmektedir; ancak bu süreç zaman alıcı ve zorlu bir süreçtir. Bu problemin önüne geçebilmek için mevcut görev için kullanılacak veri setinden daha büyük ölçekli veri seti kullanılarak önceden eğitilmiş modeller, veri seti ile birlikte sisteme girdi olarak sunulmaktadır. Transfer öğrenimi olarak adlandırılan ve giderek daha popüler hale gelen bu teknik kullanılarak daha az eğitim süreci geçirerek daha yüksek performans elde edilebilmektedir [36]. Literatürde MobileNet [37], ResNet [38], Inception (GoogleNet) [39] ve DenseNet [40] gibi önceden eğitilmiş birçok CNN modeli bulunmaktadır ve bunların her biri görüntü sınıflandırma görevi için kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, görsel kazıma yöntemi ile elde edilen verisetinin farklı CNN modelleri kullanılarak sınıflandırma başarısına etkisi araştırılmıştır. Farklı sınıfların tanınabilmesi için önceden eğitilmiş InceptionV3, ResNet-101 ve DenseNet-201 modelleri işe koşulmuştur. Modeller, ImageNet projesi tarafından hemen her yıl düzenlenen ve farklı CNN sınıflandırıcıların performanslarının sergilendiği ImageNet Büyük Ölçekli Görsel Tanıma Yarışması (ILSVRC: ImageNet Large Scale Visual Recognition Competition) kapsamında başarı kaydeden bazı modellerin son versiyonları olacak şekilde seçilmiştir. Modellerin eğitilmesi, doğrulanması ve test edilmesi MATLAB programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İşlemler sırasında Intel(R) Xeon(R) E-2236 marka CPU, 64 GB RAM ve ekran kartı olarak NVIDIA Quadro RTX A4000 donanımına sahip iş istasyonu kullanılmıştır. Önceden eğitilmiş her modelin yapısı dört kategori için yeniden tasarlanarak her model 4200 görüntü kullanılarak eğitilmiştir. Modeller eğitim sırasında 1200 görüntü ile doğrulanmıştır. Görsel kazıma ile oluşturulan veri seti kullanılarak oluşturulan CNN tabanlı sistemin iş akışının ana adımları Şekil 3'te gösterilmektedir.



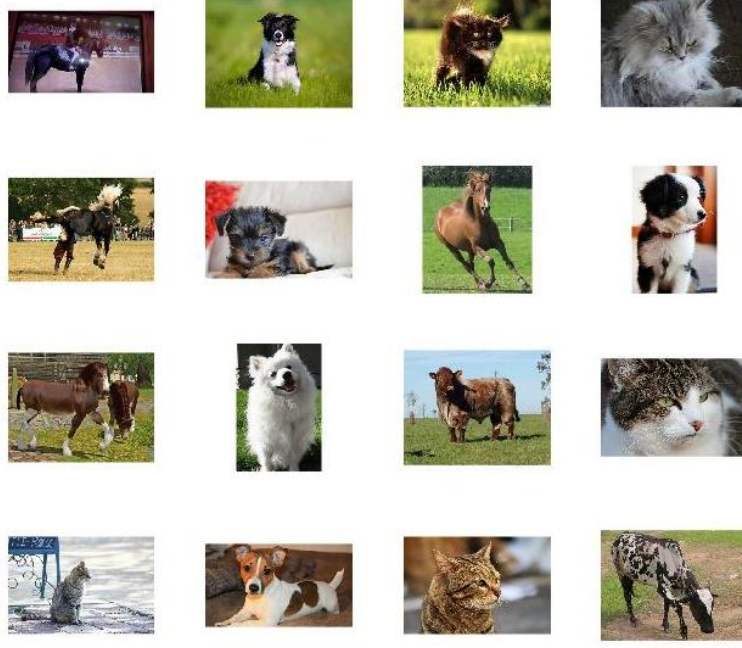
Şekil 3. CNN iş akışı

C. PERFORMANS ÖLÇÜTLERİ

Bu çalışmaya benzer şekilde temelde çok sınıflı bir sınıflandırma görevi içeren çalışmalarda, CNN tabanlı bir modelin doğrulama ve test başarısı literatürde belirtilen bazı ölçütlere göre yapılmaktadır. Bu ölçütlerin başında doğruluk ölçütü gelmektedir. Ancak son çalışmalarda sınıflandırma başarısının performansının belirlenmesinde doğruluk ölçütünün tek başına yeterli olmadığı; başarının farklı ölçütlerle desteklenmesi gerektiği vurgulanmaktadır. Bir sınıflandırma görevi için karışıklık (hata) matrisi basitçe, denetimli bir öğrenme modelinin performansını görselleştiren bir tablodur. Tablonun her satırı sınıfların temsilini oluştururken; her sütun sınıflara karşılık gelen tahmin edilen örneklerin temsilini oluşturmaktadır. Çalışmanın başarısının daha sağlıklı bir şekilde belirlenebilmesi için karışıklık matrisi kullanılarak F1 Skor, hassasiyet ve kesinlik gibi farklı ölçütler hesaplanarak dikkate alınmıştır.

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada Google Görseller üzerinden otomatik görsel kazıma yoluyla veri seti oluşturulmuştur. Python+Selenium ile Chrome Sürücüsü kullanılarak toplamda dört kategoride (kedi, inek, köpek ve at) görsel verileri otomatik olarak indirilmiştir. Oluşturulan veri setine ilişkin örnek görseller Şekil 4 üzerinde sunulmuştur.



Şekil 4. Veri setinden örnek görseller

Veriler hiçbir ön işleme işlemine tabi tutulmaksızın olduğu gibi ham haliyle kullanılmıştır. Veri seti istatistiklerine göre toplam veri sayısı modellerin eğitimi için yeterli seviyededir (Tablo 1). Bununla birlikte eğitimde aşırı uyum ya da yetersiz uyum gibi problemlerle karşılaşmamak adına; indirme işlemleri tamamlandıktan sonra yapılan kontroller sonucu ilgili sınıfı doğru temsil etmeyen görseller silinerek her bir sınıf için veri sayısı sabit tutulmuş ve bu sayede sınıflar arası tutarsız veri sorunu engellenmiştir. Oluşturulan nihai veri seti eğitim (%70), doğrulama (%20) ve test (%10) olmak üzere üç gruba ayrılmıştır. Nihai veri seti istatistikleri Tablo 1 üzerinde gösterilmiştir.

Tablo 1. Her sınıf için toplam veri sayıları

	Cat (Kedi)	Cow (İnek)	Dog (Köpek)	Horse (At)	TOPLAM
Eğitim (%70)	1050	1050	1050	1050	4200
Doğrulama (%20)	300	300	300	300	1200
Test (%10)	150	150	150	150	600
				TOPLAM	6000

Veri seti önceden eğitilmiş farklı CNN modelleri ile eğitilmiştir. Kullanılan CNN modelleri her bir model için en son ve en başarılı sürüm olacak şekilde belirlenmiştir. Eğitim süresince her bir model için elde edilen ortalama doğruluk değerleri Tablo 2’de gösterilmiştir. Buna göre CNN modelleri her sınıfı ortalama %97’nin üzerinde bir başarıyla sınıflandırabilmiştir. Adil bir süreç için tüm modellerin hiper parametre değerleri sabit tutulmuştur. Belirlenen bazı hiper parametre değerleri Tablo 3 üzerinde verilmiştir. Optimize edici olarak “Adam” algoritması kullanılmış ve maksimum eğitim turu (epoch) 20 olarak belirlenmiştir. Eğitimde her veri seti her turda karıştırılarak 50 doğrulama frekansı uygulanmıştır.

Tablo 2. Her bir CNN modeli için ortalama doğruluk değerleri

Model	Doğruluk
InceptionV3	%97
ResNet-101	%97
DenseNet-201	%98

Tablo 3. CNN modelleri için kullanılan bazı hiper parametre değerleri

Optimize Edici	Adam
Öğrenme Hızı	1e-05
Doğrulama Frekansı	50
Maksimum Eğitim Turu	20
Minimum Parti Boyutu	8
Karıştırma	Her turda

Diğer yandan, sınıflandırıcının her sınıfta nasıl performans gösterdiğini anlayabilmek için en başarılı model olan DenseNet-201 sonuçları üzerinden karışıklık matrisi oluşturulmuştur (Şekil 5). Karışıklık matrisi her sınıf için sınıflandırma başarısını ortaya koymaktadır. Satırlar gerçek sınıfları, sütunlar ise tahmin edilen sınıfları göstermektedir. Çapraz hücreler ise her sınıfın ne kadar doğru sınıflandırıldığını belirtmektedir. Karışıklık matrisi aracılığıyla sınıf bazında doğruluk, kesinlik, hassasiyet ve F1 Skor değerleri hesaplanmıştır (Tablo 4). Karışıklık matrisi ve bahsi geçen ölçütler, görsel kazıma yoluyla elde edilen veri seti kullanılarak oluşturulan CNN tabanlı görüntü sınıflandırma modelinin her sınıf için kabul edilebilir bir başarı ortaya koyduğunu göstermektedir.

True Class	cat	295		5		98.3%	1.7%
	cow	1	294	3	2	98.0%	2.0%
	dog	1	3	294	2	98.0%	2.0%
	horse		4	1	295	98.3%	1.7%
		99.3%	97.7%	97.0%	98.7%		
		0.7%	2.3%	3.0%	1.3%		
		cat	cow	dog	horse		
		Predicted Class					

Şekil 5. DenseNet-201 modeli için karışıklık matrisi. Satırlar yukarıdan aşağıya; sütunlar soldan sağa doğru: cat (kedi), cow (inek), dog (köpek) ve horse (at)

Tablo 4. DenseNet-201 modelinin sınıf bazında tüm ölçütler için başarısı

	Cat (Kedi)	Cow (İnek)	Dog (Köpek)	Horse (At)
Doğruluk (%)	99,33	98,42	98,5	98,75
Kesinlik	0,99	0,97	0,97	0,97
Hassasiyet	0,99	0,97	0,97	0,98
F1 Skor	0,99	0,97	0,97	0,97

Ek olarak daha sağlıklı bir sonuç elde etmek ve modellerin ezbere kaçmadığından emin olmak için; her bir model eğitim süresince karşılaşmadığı 600 adet görüntü ile ayrıca test edilmiştir. Her bir model için elde edilen test-doğruluk oranı Tablo 5 üzerinde gösterilmiştir. Test veri kümesinden elde edilen doğruluk oranlarının eğitim-doğrulama doğruluk oranlarına yakın hesaplanması, modellerin ezberleme, aşırı-yetersiz uyum gibi problemlerden etkilenmediğini ortaya koymaktadır. Eğitim ve test sonuçları modellerin kullanılan veri setine iyi bir şekilde genelleştirildiğini göstermektedir.

Tablo 5. Her model için ortalama test-doğruluk değerleri

Model	Doğruluk
InceptionV3	%98,8
ResNet-101	%96,8
DenseNet-201	%98,8

IV. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma Evrişimsel Sinir Ağı (CNN) tabanlı bir görüntü sınıflandırma modeli için görsel kazıma tekniği ile oluşturulan veri setinin kullanılabilirliğini göstermiştir. Oluşturulan veri setinin kullanıldığı farklı CNN ağlarının performansları karşılaştırılmıştır. Doğruluk (%97,3) ve diğer tüm performans ölçütleri oluşturulan veri setinin her bir sınıfının başarılı bir şekilde sınıflandırıldığını göstermiştir. En yüksek doğruluk değeri sağlayan DenseNet-201 modeli test veri kümesini %98,8 bir doğrulukla sınıflandırabilmiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda sonraki çalışmalarda görsel kazıma tekniği ile oluşturulan farklı veri kümelerinin görüntü sınıflama problemlerinde kullanılması önerilmektedir. Bununla birlikte modern bir yaklaşım olarak derin öğrenme yaklaşımlarının geleneksel görüntü sınıflama yaklaşımlarına göre performansının daha iyi seviyede olduğu literatürde belirtilse de görsel kazıma ile oluşturulan veri setleri üzerinde modern ve geleneksel yaklaşımların performanslarının karşılaştırılması ve sonuçların değerlendirilmesi önerilmektedir.

V. KAYNAKLAR

- [1] R. Diouf, E. N. Sarr, O. Sall, B. Birregah, M. Bouso, and S. N. Mbaye, "Web scraping: state-of-the-art and areas of application," *IEEE International Conference on Big Data (Big Data)*, 2019, pp. 6040-6042.
- [2] R. B. Penman, T. Baldwin and D. Martinez, "Web Scraping Made Simple with SiteScraper," *Citeseer*, pp. 1-10.
- [3] Wikipedia. *Web scraping*. (May. 18, 2022). Accessed: May. 18, 2022. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Web_scraping
- [4] W. Roush. (2012, Jul 25). *Diffbot Is Using Computer Vision to Reinvent the Semantic Web*. [Online]. Available: <https://xconomy.com/san-francisco/2012/07/25/diffbot-is-using-computer-vision-to-reinvent-the-semantic-web/>
- [5] Pinsent Masons (Out-Law News). *Google thumbnails are fair use, says Court of Appeals*. (May. 18, 2007). Accessed: May. 18, 2022. [Online]. Available: <https://www.pinsentmasons.com/out-law/news/google-thumbnails-are-fair-use-says-court-of-appeals>
- [6] The Electronic Frontier Foundation (EFF). *Perfect 10 v. Google*. (May. 16, 2007). Accessed: May. 18, 2022. [Online]. Available: <https://www.eff.org/cases/perfect-10-v-google>
- [7] J. Schultz. (2007, May 16). *P10 v. Google: Public Interest Prevails in Digital Copyright Showdown*. [Online]. Available: <https://www.eff.org/deeplinks/2007/05/p10-v-google-public-interest-prevails-digital-copyright-showdown>
- [8] Pinsent Masons (Out-Law News). *Google image search results do not infringe copyright, says German court*. (Apr. 30, 2010). Accessed: May. 18, 2022. [Online]. Available:

<https://www.pinsentmasons.com/out-law/news/google-image-search-results-do-not-infringe-copyright-says-german-court>

- [9] E. N. Sarr, S. A. L. L. Ousmane and A. Diallo, "FactExtract: automatic collection and aggregation of articles and journalistic factual claims from online newspaper". *Fifth International Conference on Social Networks Analysis, Management and Security (SNAMS)*, 2018, pp. 336-341. IEEE.
- [10] S. Ashouri et al., "Indicators on firm level innovation activities from web scraped data," *Data in Brief*, 108246, 2022.
- [11] A. Hajikhani et al., "Connecting firm's web scraped textual content to body of science: Utilizing microsoft academic graph hierarchical topic modeling," *MethodsX*, vol. 9, no. 101650, 2022.
- [12] U. Baskaran and K. Ramanujam, "Automated scraping of structured data records from health discussion forums using semantic analysis," *Informatics in Medicine Unlocked*, vol. 10, pp. 149-158, 2018.
- [13] R. A. Melchor et al., "CT-152: Application of Web-Scraping Techniques for Autonomous Massive Retrieval of Hematologic Patients' Information During SARS-CoV2 Pandemic," *Clinical Lymphoma Myeloma and Leukemia*, vol. 20, pp. 214, 2020.
- [14] M. F. C. Portugal et al., "Epidemiological Analysis of 5,595 Procedures of Endovascular Correction of Isolated Descending Thoracic Aortic Disease Over 12 Years in the Public Health System in Brazil," *Clinics*, vol. 76, 2021.
- [15] M. J. Lee, J. Kang, K. Hreha and M. Pappadis, "A Novel Web Scraping Approach to Identify Stroke Outcome Measures: A Feasibility Study," *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, vol. 103(3), pp. 30, 2022.
- [16] S. Mohan, A. K. Solanki, H. K. Taluja and A. Singh, "Predicting the impact of the third wave of COVID-19 in India using hybrid statistical machine learning models: A time series forecasting and sentiment analysis approach," *Computers in Biology and Medicine*, vol. 144, no. 105354, 2022.
- [17] L. Cui, Z. Jiang, X. Huang, S. Liu, Y. Wu and M. Fan, "Decade changes of the food web structure in tropical seagrass meadow: Implication of eutrophication effects," *Marine pollution bulletin*, vol. 173, no. 113122, 2021.
- [18] Q. Wang, S. Fu, F. Mu, Z. Zhang and X. Liu, "Bottom aquaculture can improve the basic trophic pathways and enhance the secondary production: Implications from benthic food web analysis," *Marine Pollution Bulletin*, vol. 177, no. 113562, 2022.
- [19] C. Muehlethaler and R. Albert, "Collecting data on textiles from the internet using web crawling and web scraping tools," *Forensic Science International*, vol. 322, no. 110753, 2021.
- [20] M. Klasson, C. Zhang and H. Kjellström, "Using Variational Multi-view Learning for Classification of Grocery Items," *Patterns*, vol. 1(8), no. 100143, 2020.
- [21] M. Kiran and N. Mownika, "Machine learning integrated emotions detection on lockdowns in India using advanced web scraping," *Materials Today: Proceedings*, 2021.
- [22] J. Maybir and B. Chapman, "Web scraping of ecstasy user reports as a novel tool for detecting drug market trends," *Forensic Science International: Digital Investigation*, vol. 37, no. 301172, 2021.
- [23] J. Schedlbauer, G. Raptis and B. Ludwig, "Medical informatics labor market analysis using

web crawling, web scraping, and text mining,” *International Journal of Medical Informatics*, vol. 150, no. 104453, 2021.

[24] L. Ricci et al., “Web-based and machine learning approaches for identification of patient-reported outcomes in inflammatory bowel disease,” *Digestive and Liver Disease*, vol. 54(4), pp. 483-489, 2022.

[25] T. Alipourfard, H. Arefi and S. Mahmoudi, “A Novel Deep Learning Framework by Combination of Subspace-Based Feature Extraction and Convolutional Neural Networks for Hyperspectral Images Classification,” *IGARSS 2018 - 2018 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 2018, pp. 4780-4783.

[26] T. Hayit, H. Erbay, F. Varçın, F. Hayit and N. Akci, “Determination of the severity level of yellow rust disease in wheat by using convolutional neural networks,” *Journal of Plant Pathology*, vol. 103(3), pp. 923-934, 2021.

[27] W. Guo, G. Xu, B. Liu and Y. Wang, “Hyperspectral Image Classification Using CNN-Enhanced Multi-Level Haar Wavelet Features Fusion Network,” *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, vol. 19, pp. 1-5, 2022.

[28] P. Aggarwal, N. K. Mishra, B. Fatimah, P. Singh, A. Gupta and S. D. Joshi, “COVID-19 image classification using deep learning: Advances, challenges and opportunities,” *Computers in Biology and Medicine*, no. 105350, 2022.

[29] T. Hayit ve G. Çınarar, “X-RAY görüntülerini kullanarak GLCM ve derin özneteliklerin birleşimine dayalı Covid-19 sınıflandırılması,” *İnönü Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksek Okulu Dergisi*, c. 10 (1), ss. 313-325, 2022

[30] K. Adem, S. Kiliçarslan and O. Cömert, “Classification and diagnosis of cervical cancer with stacked autoencoder and softmax classification,” *Expert Systems with Applications*, vol. 115, pp. 557-564, 2019

[31] S. Kiliçarslan and M. Celik, KAF+ RSigELU: a nonlinear and kernel-based activation function for deep neural networks,” *Neural Computing and Applications*, pp. 1-15, 2022

[32] A. Krizhevsky, I. Sutskever and G. E. Hinton, “Imagenet classification with deep convolutional neural networks,” *Advances in neural information processing systems*, vol. 25, 2012.

[33] M. Hussain, J. J. Bird and D. R. Faria, “A study on cnn transfer learning for image classification,” in *UK Workshop on computational Intelligence*, Springer, Cham ,2018, pp. 191-202.

[34] Anonymous. *The Selenium Browser Automation Project*. (Mar. 16, 2022). Accessed: Apr. 12, 2022. [Online]. Available: <https://www.selenium.dev/documentation/>

[35] Anonymous. *ChromeDriver*. Accessed: Apr. 12, 2022. [Online]. Available: <https://chromedriver.chromium.org/home>

[36] S. P. Mohanty, D. P. Hughes and M. Salathé, “Using deep learning for image-based plant disease detection,” *Frontiers in plant science*, vol. 7, no. 1419, 2016.

[37] A. G. Howard et al., “Mobilenets: Efficient convolutional neural networks for mobile vision applications,” *arXiv preprint arXiv:1704.04861*, 2017.



- [38] K. He, X. Zhang, S. Ren and J. Sun, "Deep residual learning for image recognition," *IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, 2016, pp. 770-778.
- [39] C. Szegedy et al., "Going deeper with convolutions," *IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, 2015, pp. 1-9.
- [40] G. Huang, Z. Liu, L. Van Der Maaten and K. Q. Weinberger, "Densely connected convolutional networks," *IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, 2017, pp. 4700-4708.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Derleme Makalesi

Web Tarayıcılarında Tohum URL Seçimi ve Performans Analizi: Kapsamlı Bir İnceleme

 Zülfü ALANOĞLU ^{a,*},  M. Ali AKCAYOL ^b

^a Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Antakya MYO, Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Hatay, TÜRKİYE

^b Bilgisayar Müh. Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Ankara, TÜRKİYE

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

DOI:10.29130/dubited.1097123

ÖZ

Web, İnternet üzerinde yayınlanan çeşitli türden bilgilerin bulunduğu bir veri deposudur. Bu bilgileri üzerinde bulunduran ve birbirlerine köprülerle bağlı olan yapılara web sayfaları denir. Web tarayıcıları, web sayfaları üzerindeki köprüleri kullanarak Web'i tarayan ve sayfaları indiren programlardır. Bir arama motorunun performansı da web tarayıcısının performansına bağlıdır. Web tarayıcılarının performans metrikleri, kapsamı ve tohum URL seçim yöntemleri performansı etkileyen en önemli faktörlerdir. Bu çalışmada, genel, odaklanmış, artırılmış, gizli, mobil ve dağıtılmış olmak üzere altı kategoride sınıflandırdığımız web tarayıcılarının performansları, kapsamları ve tohum URL kullanım yöntemleri hakkında kapsamlı bir inceleme ve analiz yapılmıştır. Ayrıca her bir tarayıcının çeşitli çalışmalarda yapılmış performans ölçütleri karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Web tarayıcıları, Web sayfaları, Kapsam genişletme, Tohum URL

Seed URL Selection and Performance Analysis in Web Crawlers: A Comprehensive Review

ABSTRACT

Web is a data repository where various types of information posted on the internet are found. Structures that contain this information and are connected to each other by hyperlinks are called web pages. Web crawlers are programs that browse the web and download pages using hyperlinks on web pages. The performance of a search engine also depends on the performance of the web crawler. Performance metrics, scope, and seed URL selection methods of the web browsers are the most important factors affecting performance. In this study, a comprehensive review and analysis of the performances, scopes and seed URL usage methods of the web crawlers, classified in six categories as general, focused, incremental, hidden, mobile and distributed, was carried out. In addition, the performance criteria of each crawlers in various studies were compared.

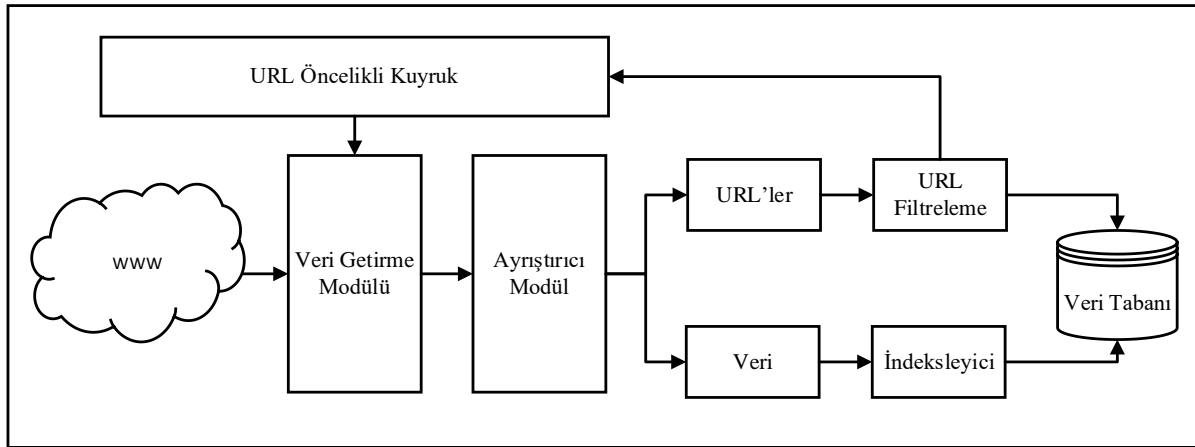
Keywords: Web crawlers, Web pages, Scope expansion, Seed URL

I. GİRİŞ

Web sayfalarının sayısı ve boyutu her geçen gün artmaktadır. Web sayfalarını arama ve indeksleme işlemleri, arama motorları tarafından yapılmaktadır. Web 'in devasa büyüklükte bir veri kaynağı olması nedeniyle, arama motorları, tüm web sitelerini kapsayan bir tarama yapmakta zorlanmaktadır. Günümüzde tüm Web'i tarayan ve indeksleyen bir tarayıcı yoktur. Hedefi tüm Web olan tarayıcılar, genel tarayıcı olarak adlandırılır. Kullanıcıların isteklerine uygun verileri elde etmek için genel tarayıcılar yetersiz kalmıştır. Bu nedenle çeşitli tarayıcı türleri geliştirilmiştir.

Bir web tarayıcısının en önemli özelliği, kullanıcı isteklerine bağlı olarak, en geniş kapsamda ve mümkün olan en çok ve farklı sayfaya en kısa sürede ulaşmaktır. Fakat Web ortamında tarama yapılırken, bağlantılar takip edildiğinden, hiçbir web sayfası ile bağlantısı olmayan, farklı (javascript, flash vb) yapılar ile tasarlanmış vb. nedenler ile ulaşılamayan web sayfalarının bulunup taranması çok zordur. Web ortamındaki web sitelerinin sayısı üstel bir şekilde arttığından dolayı etkili ve verimli bir tarama için tarama stratejisinin önemi büyüktür.

Geleneksel bir tarayıcı, başlangıçta tohum tekdüzen kaynak buluculardan (Uniform Resource Locator -URL) başlar ve arama algoritmalarını kullanarak yeni URL'leri keşfeder. Bulunan URL'ler tekrarlanma ve standartlara uyma gibi özelliklerine göre filtrelenerek öncelikli kuyruğa eklenir. Sırası gelen URL taranarak öncelikli kuyruқта URL kalmayana kadar bu işlem devam eder. Öncelikli kuyruğa eklenen URL'ler farklı yöntemler ile sıralanır ve farklı tarama yöntemleri ile yeni URL'leri keşfedebilir. Bütün tarayıcılar tohum URL'leri kullanarak taramaya başlar. Bundan dolayı tohum URL'lerin kalitesi taramanın başarısını da belirler. Şekil 1'de geleneksel bir tarayıcının mimarisi gösterilmiştir.



Şekil 1. Geleneksel Web Tarayıcı Mimarisi.

Bu kapsamlı derleme çalışmasının geri kalanı şu şekilde düzenlenmiştir. Bölüm 2'de çalışmanın amacı ve motivasyonu ile ilgili detaylı açıklamalar yapılmıştır. Bölüm 3'de web tarayıcılarında taramaya başlamak için kullanılan tohum URL seçim metodları ile ilgili çalışmalar incelenmiştir. Bölüm 4'de web tarayıcıların kapsamı ile ilgili yapılan çalışmalar incelenmiş ve tarayıcı türüne göre kapsam genişletmeleri analiz edilmiştir. Bölüm 5'de tüm web tarayıcı çeşitleri ayrı ayrı ele alınmış, yapılan çalışmalar detaylı bir şekilde incelenmiş ve karşılaştırmalı analizleri yapılmıştır. Buna ek olarak, genel web tarayıcıları bölümünde, açık kaynak web tarayıcıları, geliştirildikleri programlama dilleri, uyumlu işletim sistemleri, kapsamları bakımından tarayıcı türleri ve lisans ölçütlerine göre karşılaştırılmıştır. Odaklanmış web tarayıcıları, hasat oranları, kesinlik/hassasiyet, ilişkili sayfa oranı ve toplam taranan sayfa sayıları ölçütlerine göre karşılaştırılmıştır. Artımlı web tarayıcıları, başarı oranları, tekrar ziyaret sıklığı, tarayıcı türleri ve sayfa sayısı/belge seti ölçütlerine göre karşılaştırılmıştır. Gizli web tarayıcıları, kapsama oranı, kullanılan sorgu sayısı ve kapsam ölçütlerine göre karşılaştırılmıştır. Mobil web tarayıcıları, başarı oranları, mobil ajan sayısı, taranan URL sayısı ve ağ trafığında azalma yüzdesi

ölçütlerine göre karşılaştırılmıştır. Son olarak dağıtılmış web tarayıcıları, tarama zamanı, taranan sayfa sayısı/boyutu, odaklanmış tarayıcının türü ve dağıtım sayısına göre karşılaştırılmıştır. Son olarak bölüm 6’ da yapılan kapsamlı literatür çalışmaları ile ilgili sonuçlar verilmiş ve gelecekteki çalışmalar ile ilgili öneriler sunulmuştur.

II. ÇALIŞMANIN AMACI ve MOTİVASYONU

Web tarayıcıları Web’ de bulunan verileri belirli bir amaç doğrultusunda alan ve indeksleyen arama motorlarının en önemli parçasıdır. Çalışmamızda web tarayıcılarının çalışmaya başlaması için gerekli olan tohum URL setleri, kapsamı ve tarama stratejileri detaylı bir şekilde incelenmiş ve çeşitli eksiklikler tespit edilmiştir. Web taramada kullanılan çeşitli yöntemler ve teknolojiler incelenmiş ve önceki çalışmalarda yapılan deneylerin karşılaştırmalı analizleri yapılmıştır. Ayrıca her bir tarayıcı türüne göre kullanılan performans ölçütleri ve başarı oranları karşılaştırılmıştır.

Web tarayıcıları ile ilgili güncel çalışmaları da kapsayan detaylı çalışmaların az olması motive edici bir faktördür. Web tarayıcılarının tohum URL seçimleri, çeşitleri ve performans ölçütleri ile ilgili tüm veri tabanı incelenmiş, analiz edilmiş ve gelecekteki çalışmalar için araştırma alanları bildirilmiştir.

III. TOHUM URL SEÇİMİ

Tohum URL seçimi, taramanın kapsamını ve koleksiyonun içeriğini belirleyen en temel adımdır. Bu nedenle, tohum URL’ler, geniş kapsam sağlamak için dikkatli bir şekilde seçilmelidir. Web ’in önemli bir bölümünü keşfeden nispeten küçük bir tohum URL kümesi çıkarmak mümkündür. Rastgele bir küme seçmek, Web ’in önemli bir bölümünü keşfedilmemiş bırakabilir [1]. Tohum URL’ler manuel, yarı otomatik ve otomatik olmak üzere farklı metotlar ile seçilmektedir.

Kleinberg kapsamı hızlı bir şekilde genişletmek amacıyla kaliteli tohum URL’leri seçen, web sayfalarını merkez ve otorite olarak gruplayan HITS (Hyperlink-Induced Topic Search) algoritmasını önermiştir. Önerilen algoritma sadece web sayfaları arasındaki bağlantıları dikkate almıştır. Özellikle çok sayıda dış bağlantı sağlayan merkez web sayfalarının iyi bir tohum URL olduğu belirtilmiştir. Önerilen yöntemde yalnızca web sayfasının içerdiği köprüler dikkate alınmış ve köprülerin işaret ettiği sayfaların durumu dikkate alınmamıştır. Yapılan çalışmaya göre, tohum URL seçiminde merkez web sayfalarının seçimi kapsamın genişlemesini sağlamaktadır [2].

Zheng ve arkadaşları, tohum URL seçiminde ilk çalışmalardan biri olan grafik tabanlı bir yaklaşım önermişlerdir. Tohum URL seçimi için rastgele, en yüksek PageRank değeri ve en çok dış bağlantıya sahip k sayfaya dayalı tohum seçim stratejileri kullanmışlardır. Farklı tohum URL’lerin “iyi” ya da “kötü” olarak adlandırılan koleksiyonlar ile sonuçlanabileceğini belirterek, tohum URL seçiminin önemini vurgulamışlardır. Kullanılan tohum seçim stratejilerinin etkinliğini, 100 gerçek web sitesinden alınan veriler üzerindeki deneysel sonuçlar ile kanıtlamışlardır. Çalışmada web tarayıcısının mevcut tohum URL’leri nasıl kullanabileceğini belirtilmiş, ancak tohum URL’lerin nasıl tanımlanması gerektiği ile ilgili bilgi verilmemiştir [3].

Dmitriev, kaliteli tohum URL’leri belirlemek amacı ile tohum URL seçim sürecini ele almış ve sunucu bilgisayar tabanlı bir mekanizma önermiştir. Çalışmada bir sunucuya ait bir URL’i tohum olarak kullanma kararını verirken, sunucunun kalitesini, önemini ve potansiyel verimini dikkate almışlardır. Sunucu seçimi bölgeye göre yapılmış ve sunuculara bir puan atanmıştır. Sunuculara atanan puanlar belirlenirken; sayfadaki diğer sayfaları işaret eden URL sayısı, sunucudaki spam olasılığı ve geçmiş tarama istatistiklerini kullanarak hesaplanan, ana bilgisayarın verimliliği gibi özellikleri dikkate almışlardır. Sonuç olarak tohum seçim sürecini iyileştirip daha verimli bir tarama gerçekleştirmişlerdir [4].

Daneshpajouh ve arkadaşları, etkili bir tohum URL seti oluşturmak amacı ile yeni ve hızlı bir algoritma sunmuşlardır. Çalışmada, HITS algoritmasına dayalı tohum URL kümesi oluşturmak için

çalışma süresi $O(n)$ olan yeni bir algoritma sunulmuştur. Düşük çalışma süresi sunulan algoritmayı benzersiz kılmıştır. Çalışmada, PageRank, Trawling, HITS ve ağ akış tabanlı keşif algoritmaları üzerinde çalışılmıştır. Yaptıkları deneylerde, web tarayıcısı önerilen yöntem ile tanımlanan tohum URL'leri taramaya başlarsa, rastgele tohum kümesi başlatmaktan daha az yinelemede ve farklı topluluklardan daha yüksek PageRank değerine sahip daha fazla sayfa tarandığını göstermişlerdir [5].

Sharma ve Bhagat, en etkili tohum URL seçim stratejisini belirlemek amacı ile önemli ve faydalı sayfaları dikkate alan, URL' in köprü yapısı ile ilgilenen, minimum bir 'k' URL seti oluşturan ve sonrasında yönlendirilmiş grafik için kapsanan grafiği keşfeden BUDG (Base URL's Set for Directed Graph) isimli bir çerçeve önermişlerdir. Çalışmada Tohum URL seçiminde (1) rastgele seçim, (2) bir tepeye gelen 0 ayrıt sayısı (indegree), (3) bir tepeden çıkan en yüksek aygıt sayısı (outdegree) ve (4) en yüksek PageRank değerine göre 4 farklı tohum URL setinin karşılaştırmalı deneyleri yapılmıştır. Deneysel sonuçlara göre çerçeve farklı alanlar için düzgün çalışmakla birlikte, genel olarak sonuçlar net bir kazanan göstermemektedir. Sonuçlar arasında tüm stratejiler arasında en yüksek dış bağlantıya dayalı yaklaşımın en iyi olduğu belirtilmiştir [6].

Ayrıca tohum URL seçiminde en çok kullanılan yöntemler; manuel seçim [7-9], DMOZ ve curlie.org [10, 11] gibi açık kaynak dizinlerinden yapılan seçim ve Twitter [12, 13] gibi sosyal medyadaki kullanıcıların paylaştıkları URL'ler üzerinden seçimlerdir. Bunlara ek özellikle odaklı tarayıcılarda Google ve Yahoo gibi arama motorları ile yapılan aramalarda, ortaya çıkan URL'leri, tohum URL olarak seçen çalışmalarda mevcuttur [14-17].

Yapılan çalışmalar incelendiğinde tohum URL seçiminin geliştirilen tarayıcının türüne bağlı olduğu görülmüştür. Ontoloji tabanlı odaklanmış tarayıcılar kullanıldığında, tohum URL seçimleri alan uzmanları tarafından ya da açık kaynak dizinlerden konuyla ilgili olan URL'ler arasından seçilmektedir. Genel tarayıcılarda ise hedef tüm Web olduğundan ontolojiden bağımsız her konuda ve her bölgede tarama yapılmalıdır. Bunu için ise en iyi yöntemlerden biri bölgelerde en çok ziyaret edilen, en iyi içeriğe sahip, en çok dış bağlantısı olan vs. gibi özelliklere göre sıralanmış en iyi web sayfaların seçilmesinin yararlı olacağı söylenebilir.

IV. KAPSAM GENİŞLETME

Kapsam, web tarayıcılarının kullanıcı isteklerine uygun verilerin tarama oranını belirten bir performans ölçüsüdür. Arama motorlarının en zorlandıkları konu, istenilen bilgilerin tamamına nasıl ulaşılacağı ile ilgilidir. Web tarayıcılarının türüne bağlı olarak kapsam, sadece URL'ler takip edilerek, bağlantı metinleri analiz edilerek ya da sayfadaki veriler analiz edilerek genişletilebilir. Kapsam, tarayıcı çeşidine göre farklılık gösterir. Genel tarayıcılarda kapsam tüm Web iken, odaklı tarayıcılarda belli bir konu ya da belirli bir etki alanı olabilir. Bunun dışında artırılmış, gizli, mobil ve dağıtılmış web tarayıcıları, genel ve odaklanmış tarayıcıların özelliklerini taşırlar.

Lee ve arkadaşları, kapsamı genişletmek ve tekrardan korunmak amacıyla, tek sunucu kullanarak milyarlarca sayfayı indirebilen ve performansı modelleyen IRLbot adını verdikleri bir web tarayıcısını tanıtmışlardır. Verimli ve büyük ölçekli bir tarayıcı oluşturmadaki engelleri aşmak için sadece BFS tarama sırasını değiştirmiş ve düşük maliyetli disk tabanlı veri yapıları tasarlamışlardır. IRLbot, her etki alanına, algılanan itibarına dayalı olarak belirli bir değer vermekte ve her zaman aralığında yalnızca belirli bir değeri karşılayan URL'leri taramaktadır. Önerilen yöntemin temel farkı, bekleyen kuyruğunu sıralamamasıdır. Bunun yerine URL'leri karıştıran doğrusal taramalar kullanarak, değerlerini bir dizi öncelik sırasına ve başarısız olanları ayrı bir biriktirme dosyasına aktaran, doğrusal taramalar kullanarak çalışmasıdır. Yöntem, tarama boyutu arttıkça iyi bir ölçeklenebilirliğe sahiptir. Performansı, birikmiş bağlantıların miktarından etkilenmemektedir [18].

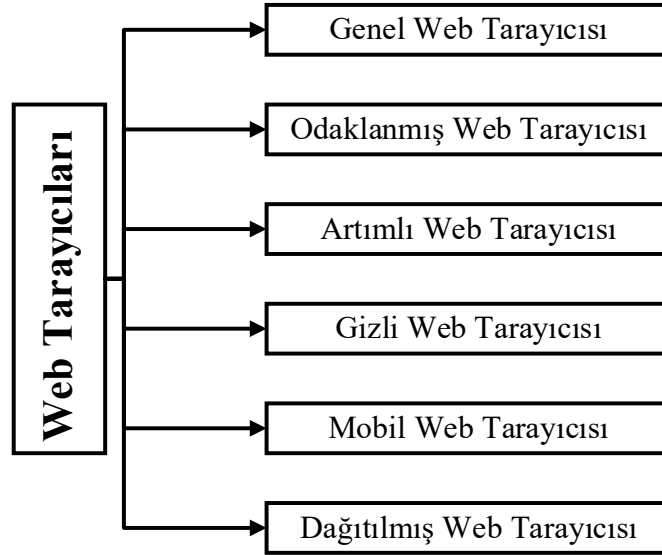
Baker ve Akcayol, kapsamı hızlı bir şekilde genişletmek amacı ile öncelik kuyruğu kullanarak bir web crawler algoritması geliştirmişlerdir. Geliştirilen algoritmaya göre, web sayfası içindeki URL'ler,

InterDomain ve IntraDomain olmak üzere iki kategoriye ayrılmıştır. Daha sonra InterDomainler için 2/3, IntraDomainler için ise 1/3 değerleri verilerek, bulunan URL'ler ile öncelikli kuyruk yapısı oluşturulmuştur. Bu sayede, InterDomain URL'ler yüksek öncelikli değere sahip olup, IntraDomain URL'lere göre öncelikli taranırlar. Bunun ana sebebi domain içerisindeki bağlantı döngülerini önlemektir. Tarama işleminin başlangıcından itibaren ilk 60 dakika içerisinde öncelikli kuyruktaki 300.000' den fazla URL olduğu görülmüştür. Ayrıca önerilen algoritma, URL frontier içerisindeki URL'leri tararken uzun bekleme durumlarını önlemek ve frontierin hafızasını yeni gelen yüksek öncelikli URL'lerde kullanmak için bir zamanlama mekanizması kullanmaktadır. Bu mekanizma kuyruk içerisindeki maksimum bekleme süresini aşan URL'leri kuyruktan çıkarmaktadır. Yapılan deneysel sonuçlara göre, önerilen algoritma iyi tarama performansı vermektedir [19].

Thangaraj ve Sivagaminathan, kapsamı tüm web olan bir tarayıcı tasarlamış ve geniş çapta bir arama yapmak için genişlik öncelikli arama algoritmasını geliştirmişlerdir. Yapılan çalışmaya göre genişlik öncelikli aramada en çok kullanılan yöntemlerden biri olan sabit seviyedeki derinlik yerine olasılık tabanlı dinamik rastgele derinlik ele alınmıştır. Önerilen tarayıcı daha fazla arama ve çıkarma için istenen belgeleri almak üzere, sınırsız genişlik ve rastgele derinlikte gezinir. Yazarlara göre mevcut genişlik öncelikli arama, bir Poisson olasılık dağılımını veya 0 ile 35 arasında değişen optimize edilmiş bir rastgele sayı döndürmek için olasılık kütle fonksiyonunu (Probability Mass Function-PMF) çağırarak geliştirilebilir. Mevcut tarayıcıyı geliştirmek amacı ile tarayıcıya bir PMF eklenmiştir. PMF ayrı bir rastgele değişkenin, bir değere tam olarak eşit olma olasılığını veren bir fonksiyondur. Web 'i taramak sonsuz değerlere yol açtığı ve hiç bitmeyebileceği için PMF 0 ile 35 arasında değişen rastgele derinlik üretmektedir. Bu, tarama sırasında ziyaret edilen her sayfadan indirilebilir sayfaları en üst düzeye çıkarmak amacıyla yapılır. Yapılan deneysel sonuçlara göre algoritma, 0 ile 35 arasında bir derinlik aralığı seçmiştir ve mevcut genişlik taramadan daha başarılı olduğu kanıtlanmıştır [20].

V. WEB TARAYICILARININ SINIFLANDIRILMASI

Web tarayıcıları kullanım amacı, kapsam, tarama politikası ve kullanılan stratejilere bağlı olarak çeşitli araştırmacılar tarafından farklı yöntemler ile sınıflandırılmıştır. Şekil 2'de web tarayıcılarının kapsamlı bir sınıflandırılması yapılmıştır.



Şekil 1. Web Tarayıcılarının Sınıflandırılması.

A. GENEL WEB TARAYICILARI

Genel web tarayıcıları, kapsamı tüm Web olan tarayıcılardır. Belirli bir tohum URL seti ile taramaya başlar ve genişlik öncelikli arama ile taramaya devam eder. Google, Bing, Yandex vb. gibi ticari

tarayıcıların çoğu genel tarayıcılardır. Ticari olarak kullanıldıkları için mimari ve algoritmaları ile ilgili araştırmalar sınırlıdır.

Heydon ve Najork çalışmalarında, Mercator ismini verdikleri ölçeklenebilir ve genişletilebilir genel bir web tarayıcısını geliştirmişlerdir. Çalışmada, ölçeklenebilir bir tarayıcının ana bileşenleri açıklanmış ve tasarım alternatifleri tartışılmıştır. Yazarlar, Mercator 'u 8 günlük bir çalışma süresince, Google ve İnternet arşiv tarayıcısı ile karşılaştırmışlardır. Tarayıcının kapsamı, simülasyon çalışmalarında sınırlı tutulmuş fakat tüm Web olacak şekilde genişletilebileceği belirtilmiştir [21].

Günümüzde en popüler genel web tarayıcısı olan Google'ın kurucularından Page ve arkadaşları, web sayfalarının göreceli önemini ölçmek ve Web 'in grafiğine dayalı olarak her web sayfası için bir sıralama hesaplama yöntemi olan PageRank 'ı önermişlerdir. PageRank' in arama, göz atma ve trafik tahmininde bulunan uygulamaları vardır. Günümüzde kapsam olarak en iyi sonuç veren ve en çok kullanılan arama motoru olan Google, bu algoritma temel alınarak geliştirilmiştir [22].

Ticari olarak kullanılan tarayıcıların dışında açık kaynak kodlu tarayıcılar da geliştirilmiştir. Tablo 1'de Github' ın yıldız referans sistemine göre tercih edilen 15 açık kaynak tarayıcının programlama dili, uyumlu işletim sistemi, tarayıcı türü ve lisans bilgileri gösterilmiştir.

Tablo 1. Açık Kaynak Tarayıcılar.

Açık Kaynak Tarayıcı	Programlama Dili	İşletim Sistemi	Tarayıcı Türü	Lisans
Scrapy	Python	Çapraz Platform	Genel	BSD
Apache Nutch	Java	Çapraz Platform	Dağıtılmış	Apache
Heritrix	Java	Linux	Dağıtılmış	Apache
Crawl4J	Java	Çapraz Platform	Genel	Apache
PySpider	Python	Windows	Genel	Apache
Cola	Python	Çapraz Platform	Dağıtılmış	---
BUBiNG	Java	Linux	Dağıtılmış	Apache
WebMagic	Java	Çapraz Platform	Dağıtılmış	Apache
Portia	Python	Çapraz Platform	Dağıtılmış	BSD
Gnu Wget	C	Çapraz Platform	Genel	GNU
WebSphinx	Java	Çapraz Platform	Genel	GNU
WebCollector	Java	Çapraz Platform	Dağıtılmış	GPL
Node-Crawler	JavaScript	Windows	Genel	MIT
HAWK	C#	Windows	Genel	Apache
Goutte	PHP	Çapraz Platform	Genel	MIT

Tablo 1'de görüldüğü üzere geliştirilen açık kaynak tarayıcılarda Java ve Python programlama dilleri tercih edilmiş, büyük çoğunluğu platformdan bağımsız çapraz platformda inşa edilmiş ve en çok lisanslama Apache tarafından gerçekleştirilmiştir.

B. ODAKLANMIŞ WEB TARAYICILARI

Odaklanmış web tarayıcıları, belirli bir konu ile ilgili arama yapan tarayıcılardır. Bu tarayıcı, genel tarayıcılar gibi tüm bağlantılar yerine, kullanıcıların tercihine göre belirli bir alanı ya da konuyu taramak için kullanılır.

İlk odaklanmış web tarayıcısı Chakrabarti ve arkadaşları tarafından geliştirilmiştir. Önerilen odaklanmış web tarayıcısı belirlenen bir dizi konu ile ilgili Web araması gerçekleştirmektedir. Yazarlara göre odaklı tarayıcı, uzmanlığı örneklerden öğrenen ve Web'i keşfeden bir sistemdir [23]. Odaklı tarayıcılar, Web 'in alakasız bölgelerinden kaçınarak konu ile ilgili en alakalı olabilecek sayfaları bulur. [24]'de yazarlar beş kategoride sınıflandırılan odaklanmış tarayıcı yaklaşımlarının bir incelemesini sunmuştur. Bu yaklaşımlar öncelik tabanlı tarayıcı, yapı tabanlı tarayıcı, öğrenme tabanlı

tarayıcı, bağlam tabanlı tarayıcı ve diğer odaklı tarayıcılardır. [25]'de ise yazarlar odaklanmış tarayıcıları klasik, semantik ve öğrenen odaklanmış tarayıcılar olmak üzere üç gruba ayırmıştır. İlgili alanına ve aranan kelimelere göre istenilen bilgileri hızlı ve doğru bir şekilde getirdiği için odaklı tarama önemli bir araştırma alanı olmuştur. [26]'de odaklı tarayıcıların aranan konu ile ilgili tahminlerini iyileştirmek için önlemler geliştirilmiş ve [27]'de odaklı taramada kullanılan yöntemler tartışılmıştır.

Web' deki konuyla ilgili verileri almak ve yeni URL' leri çıkarmak için anahtar kelime ve ya arama ölçütlerine dayalı anahtar kelime tabanlı yaklaşımlar kullanılmaktadır [28]. Anahtar kelime tabanlı yaklaşımda, anahtar kelime içeren web sayfalarından veriler ve yeni URL' ler çıkarılmakta ve arama ile alakasız sayfalar görmezden gelinmektedir [27]. Kumar ve arkadaşları, anahtar kelime sorgusu tabanlı odaklı tarayıcıyı tartışmışlardır. Sorgu tabanlı tarayıcının harcanan zaman ve hassasiyet açısından önceki genişlik öncelikli tarayıcılardan daha verimli olduğu sonucuna varmışlardır. Çalışmada tohum URL'ler, anahtar veri setleri ile Google uygulama programlama ara yüzleri ve tohum arama ara yüzü kullanılarak elde edilmiştir [29].

Web' in belirli bir bölümünü almak için kümeleme, sınıflandırma, Bulanık küme, Naive Bayes vb. gibi veri madenciliğini kullanan yaklaşımlar kullanılmaktadır [30-32].Safran ve arkadaşları çalışmalarında, ziyaret edilmeyen URL'lerin alaka düzeyini tahmin etmek için dört alaka özneteliği kullanan, öğrenmeye dayalı yeni bir odaklı tarama yaklaşımı sunmuşlardır. Kullanılan özellikler; sayfada bulunan URL sözcükleri, URL'lerdeki bağlantı metinleri, URL sözcüklerinin bağlı olduğu alan adları işaret eden ana sayfalar ve bu URL'leri çevreleyen metinlerdir. Deneysel çalışmalarında Naive Bayesian sınıflandırma modeli benimsenmiştir. Tohum URL seçim işlemlerinde, ilk olarak konu kelimelerinden olan "Borsa", Google, Yahoo ve MSN arama motorlarına sorgu olarak gönderilmiştir. Daha sonra aday tohum URL'ler, belirlenen arama motorlarından elde edilen en iyi k-URL'dir Son olarak tohum URL'ler, aday k-URL'lerin üç arama motorunun en az ikisinin sonuç listesinde görünen URL'ler alınarak oluşturulmuştur [33].

Odaklanmış web tarayıcılarının performanslarını iyileştirmek için ontoloji tabanlı yaklaşımlar kullanılmaktadır. Ontoloji, alanın öğeleri arasında var olabilecek kavramları ve ilişkileri tanımlayan bir kavramsallaştırmanın özelliğidir [34]. Bu yaklaşımda ontoloji, bilgi deposunu yapılandırmak ve alakasız veriler filtrelemek amacı ile kullanılmaktadır [35, 36]. Agre ve Dongre, ontoloji tabanlı internet tarayıcısı için yalnızca konu ile alakalı web sitelerini alan, taramada en iyi tahmini kullanan ve tarama performansının iyileştirilmesine yardımcı olan bir odaklanmış tarayıcı kullanmışlardır [37]. Du ve arkadaşları, odaklı web tarayıcının konusu ile ilgili ontolojiden yararlanarak, kullanıcıların ilgi alanlarına dayalı olan tohum URL'leri seçmek için yeni bir yöntem geliştirmişlerdir. Bu çalışmada ontoloji oluşturma yaklaşımının üç adımını tanımlamışlardır. Bunlar çalışmada kavram seçimi, optimize edilmiş kavram kafesinin oluşturulması ve kavram kafesinin kullanıcı-çıkart ontolojisine eşlenmesi sürecidir. Bu kullanıcı ilgi ontolojisi, örtük kavramları ve aralarındaki ilişkiyi tanımlamıştır. Yazarlara göre etkili tohum URL seçimi ile tarayıcı, arama sorgusuyla alakalı daha verimli sonuçlar üretmektedir [38].

Odaklanmış web tarayıcılarında temel amacı arama konusu ile taranan sayfanın birbirleri ile anlamsal olarak benzerliklerinin belirlenmesi olan semantik tabanlı yaklaşımlar da kullanılmaktadır. Semantik tabanlı yaklaşımda anlamsal benzerlik oranını belirlemekteki temel şart içerik analizinin yapılmasıdır [39]. İçerik analizi yapılırken en çok kullanılan algoritmalar PageRank [22], görsel tabanlı sayfa segmentasyonu [40], SiteRank [41] ve densometrik segmentasyon [42] olarak sıralanabilir.

Odaklanmış web tarayıcılarında literatürde en çok kullanılan performans ölçütleri hasat oranı, kesinlik ve ilişki oranıdır. Hasat oranı odaklı tarayıcılarda kullanılan bir performans ölçütü olup ilgili web sayfaları ile taranan web sayfaları arasındaki oranı temsil etmektedir. Kesinlik oranı ya da diğer adıyla hassasiyet oranı, odaklanmış tarayıcılarda verimliliği değerlendirmek için elde edilen verilerin kalitesinin ölçüsüdür. Kesinlik yüksek olması odaklı web tarayıcısının alakasız sayfaları o derecede iyi reddettiğini göstermektedir. Kesinlik temel olarak döndürülen sonuçların toplam sonuçlara oranını göstermektedir. Geri çağırma oranı ise bir arama talebine cevap olarak alınan ilgili sayfaların oranını

ifade etmektedir. Tablo 2’de yapılan çalışmalarda önerilen odaklanmış web tarayıcıların hasat oranı, kesinlik/hassasiyet, sayfaların ontoloji ile ilişki oranları ve taranan toplam sayfa sayıları gösterilmiştir.

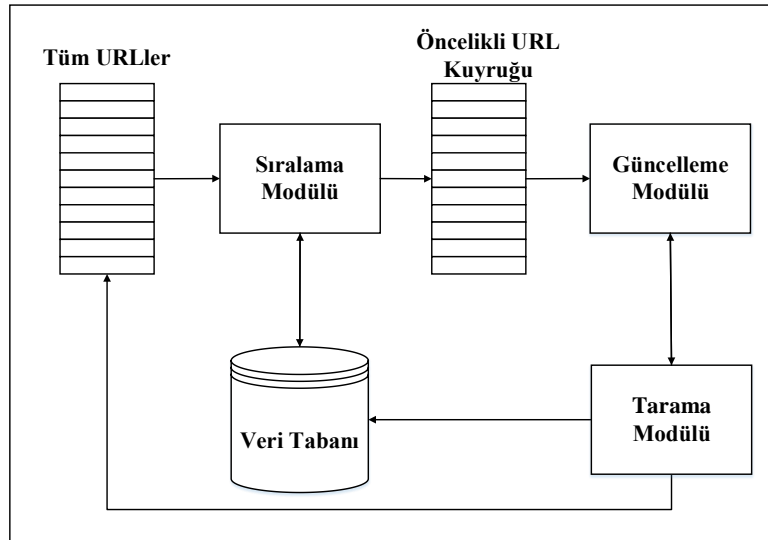
Tablo 2. Odaklanmış web tarayıcılarının performansları.

Kaynak	Hasat Oranı	Kesinlik/ Hassasiyet(%)	Geri Çağırma Oranı	Taranan Sayfa Sayısı
[43]	0.389	36.00	0.611	5000
[44]	0.411	---	---	1000
[45]	0.810	---	---	5000
[46]	0.850	---	---	5000
[47]	0.500	---	0.600	6500
[48]	---	92.01	0.590	495
[49]	0.890	---	---	1000
[50]	0.500	32.00	---	3200
[51]	0.830	---	---	1200
[26]	---	92.00	0.300	2000
[25]	0.750	---	0.400	10000
[52]	---	---	0.820	400
[53]	0.850	---	---	6000
[54]	0.700	---	0.470	13377

Tablo 2’ de görüldüğü gibi odaklı web tarayıcılarında en çok kullanılan performans ölçütü hasat oranıdır. Hasat oranı taranan sayfa sayıları arttıkça genel olarak artmaktadır. Odaklı web tarayıcılarında ontolojinin kapsamı, taramaya başlanılan tohum URL setinin kalitesi ve kullanılan tarama algoritmasının başarısına göre performanslar değişiklik göstermektedir.

C. ARTIMLI WEB TARAYICILARI

Artımlı web tarayıcısı, tarama işlemini her defasında yeniden başlatmak yerine, sayfaları düzenli olarak güncelleyen geleneksel bir tarayıcı türüdür. Artımlı tarayıcı Web’i sürekli tarar ve sayfaları periyodik olarak yeniden ziyaret eder [55]. Artımlı web tarayıcısının temel hedefi yerel koleksiyonu taze tutmak ve yerel koleksiyonun kalitesini artırmaktır [56]. Odaklanmış taramada artımlı web tarayıcılardan toplanan bilgilerin alaka düzeyi diğer tarayıcılara kıyasla az olabilmektedir. Ayrıca artımlı tarayıcılar gizli webi taramada başarısız olurlar. Artımlı web tarayıcısının mimarisi Şekil 3’de gösterilmiştir [57].



Şekil 3. Artımlı Web Tarayıcı Mimarisi.

Gupta ve arkadaşlar, artımlı web tarayıcısında kullanmak için geliştirdikleri mekanizma ile her bir URL'e sayfa sıralaması, sayfa yenileme sıklığının hesaplanması ve web sayfasının içeriğinin kullanıcıların ilgi alanlarına uygun olup olmadığı durumuna göre bir öncelik vermektedirler. Tohum URL'ler eğlence, turizm, cep telefonları, spor, mülk olmak üzere beş farklı alandan olup daha az orta düzeyde ve oldukça dinamik web sayfalarının bir karışımından oluşmaktadır. Kapsam olarak da belirtilen beş farklı alan ile ilgili web sayfalarını içermektedir [58].

Pavai ve Geetha, geliştirdikleri artımlı web tarayıcısı algoritması ile bir web sayfasının gelecekteki değişim zamanını tahmin etmeyi amaçlayan veri madenciliğine dayalı yaklaşımı kullanmışlardır. Yüzeysel web sayfalarını ve derin web veri tabanlarını aşamalı olarak taramak için Bayes olasılırlık tahmincisini kullanan yeni bir istatistiksel yaklaşım sunmuşlardır. Tohum URL'leri almak için CLIA-“Cross Lingual Information Access” projesinin tohum URL'lerini (20 Ağustos 2015'te taranmış) ve sorgu koleksiyonlarını kullandılar. Çalışmanın kapsamı da filmler, iş, kitap ve uçak bileti rezervasyonu olmak üzere dört alan ile sınırlandırılmıştır [59].

Santos ve arkadaşları, sayfa güncelliğine dayalı yaklaşım benimsemiş ve artımlı web tarayıcısının zamanlama mekanizması için yeni bir algoritma geliştirmişlerdir. Geliştirilen algoritma ile web sayfalarını son taranmalarından bu yana değiştirilme olasılıklarına göre sıralamak ve web tarayıcılarının planlayıcıları tarafından kullanılacak puan işlevlerini otomatik olarak oluşturmak için bir genetik programlama çerçevesi sunmuşlardır. Çalışmada tarayıcının tazelik oranına odaklanılmış ve kapsam olarak bir sınırlama verilmediğinden tüm Web hedeflenmiştir [60].

Tan ve Mitra, geliştirdikleri artımlı web tarayıcısında kümeleme yöntemini kullanmışlardır. Mevcut web sayfalarını hem statik hem de dinamik özelliklerini kullanarak 100 kümeye ayırmışlardır. Çalışmaya göre tarayıcı, sayfaların son indirilmelerinden bu yana değişip değişmediğini kontrol etmek için bir kümeden bir web sayfası örneği getirmektedir. Bir kümedeki önemli sayıda sayfa değiştiyse, kümedeki diğer web sayfaları da karşıdan yüklenmektedir. Web sayfalarının kümeleri farklı değişiklik sıklıklarına sahiptir. Çalışma artımlı taramayı aynı web sayfaları ve sınırlı kapsamda gerçekleştirmiştir. Belirlen web sayfalarının dışındaki sayfalar taranmamıştır [61].

Shi ve arkadaşları çalışmalarında, Scrapy adlı tarayıcı mimarisi temelinde artımlı bir web tarayıcısı geliştirmişlerdir. Tohum URL olarak belirledikleri haber sitelerinin bağlantılarını kullanmışlardır. Geliştirilen tarayıcı, web sitesindeki haber bilgilerini başarılı bir şekilde tarayarak artımlı tarama gerçekleştirmiştir. Buna ek olarak tarayıcı, Bloom filtresi ile haber sitesini izlemiş ve güncellenen haberleri veri tabanında saklamıştır. Ancak web tarayıcısının en büyük dezavantajı, kapsamı haber siteleri olduğu için genel tarama yapmamaktadır [62].

Nagar ve Singhal, artımlı bir web tarayıcısının tekrar ziyaret sıklığı problemi üzerinde durmuş ve web sayfalarına ziyaret sıklığını yönetmek için yeni bir yaklaşım önermişlerdir. Çalışmaya göre sunucudaki bir log dosyası veri tabanı, web sayfası kimliğini, sayfadaki URL'leri ve başarılı bağlantı sayılarını kaydetmektedir. Başarılı bağlantı sayısı belli bir değeri geçen URL'lerin sıralaması yükseltilmektedir. Başarılı bağlantı sayısı bir log dosyasında tutulmakta ve bu bilgi, farklı web sayfalarının öncelikli sıralamasını oluşturmada kullanılmaktadır. Bu öncelikli sıralama bilgisi kullanıcıların arama geçmişinden oluşan log dosyası veri tabanına eklenmektedir. Bunun sonucunda Web'den, yüksek dereceli sayfalar, kullanıcıların arama geçmişine göre tarayıcı tarafından indirilerek veri tabanına kaydedilmektedir [63].

Artımlı web tarayıcılarının en önemli özelliği farklı zaman dilimlerinde web sayfalarını tarayıp değişiklikleri tespit etmektir. Artımlı web tarayıcılarında başarı oranı, toplam denemeler arasındaki başarı yüzdesi olarak tanımlanmaktadır. Başarı oranının yüksek olması kapsamın geniş olması ve daha az gereksiz istek içermesi anlamına gelmektedir. Artımlı web tarayıcılarındaki temel prensip ziyaret edilen web sayfalarını güncellenme sıklıklarına bağlı olarak tekrar ziyaret etmektir. Kullanılan tarama algoritmasına göre ziyaret sıklıkları sabit ya da değişken aralıkta olup farklılık göstermektedir. Buradaki en önemli konu sık güncellenen sayfaları nadiren ya da hiç güncellenmeyen sayfalara göre daha kısa süre sonra ziyaret etmektir. Tablo 3'de bazı araştırmacıların yaptıkları çalışmalarda tespit

edilen değişiklikler (Başarı Oranı), sayfaları tekrar ziyaret sıklığı, kullanılan tarayıcı türü ve deneylerde veri setlerinin oluşturduğu sayfa sayıları/belge setleri gösterilmiştir.

Tablo 3. Artımlı web tarayıcılarının performansları.

Kaynak	Başarı Oranı	Ziyaret Sıklığı(Saat)	Tarayıcı Türü	Sayfa Sayısı/ Belge Seti
[58]	%90.0	0.25-0.75	Odaklanmış	56-148 web sitesi
[59]	%83.0	0-720	Odaklanmış	10 M belge seti
[61]	%80.0	168-1344	Genel	210 web sitesi
[64]	%91.6	8760	Odaklanmış	14 web sitesi
[65]	%80.0	2	Odaklanmış	2 web sitesi
[66]	%89.0	2,5	Odaklanmış	718 web sitesi

Artımlı web tarayıcılarında başarı oranlarının %80 ve üzerinde bir değer aldığı, ziyaret sıklıklarının da yapılan çalışmada kullanılan algoritmaya, kapsama ve tarayıcı türüne göre değiştığı görülmüştür. Artımlı web tarayıcıları sayfaları tekrar tekrar ziyaret ettiği için performans ve bant genişliği kullanımı bakımından dezavantajları vardır. Bundan dolayı çalışmalarda bant genişliğini boşa harcamamak için ziyaret sıklıkları sayfalara göre farklılık gösterebilmektedir. Buna ek olarak kapsamı küçültmek ve belirli bir konuda tarama yapmak için çoğunlukla odaklanmış tarayıcı türleri tercih edilmiştir.

D. GİZLİ WEB TARAYICILARI

Web sayfalarında bilgiler yüzeysel ve gizli olmak üzere iki şekilde saklanmaktadır. Yüzeysel webdeki verilere herhangi bir tarayıcı ulaşabilir. Gizli webdeki verilere ise oturum açma formu, arama veya sorgu arabirimleri ile ulaşıldığından, arama motorlarının kapsamı dışındadır. Gizli webdeki web sayfaları, bir veri tabanındaki sorgu arabirimleri aracılığıyla gönderilen sorgulara yanıt olarak birleştirilir. Web 'de formların, ara yüzlerin vb. arkasına gizlenmiş ve dizine eklenemeyen büyük miktarda bilgi vardır [67]. Bu verilere ulaşan tarayıcılar gizli web tarayıcılarıdır. Literatürde bu tarayıcılar derin web tarayıcıları olarak da anılmaktadır.

Zerfos ve arkadaşları, gizli Web' deki veriler sorgu ile almak için üç farklı sorgu oluşturma politikası önermişlerdir. Bunlar anahtar kelime listesinden rastgele sorguları seçen bir politika, genel bir metin koleksiyonunda sorguları sıklıklarına göre seçen bir politika ve uyarlanabilir bir şekilde iyi bir sorguyu temel alan bir politikadır. Yazarlar tarafından seçilen dört gerçek gizli web sitesi üzerinde deneysel çalışma yapılmış ve yaklaşık 100 sorgu yaptıktan sonra bir gizli web sitesinin %90'ından fazlasını karşıdan yükleyebilmişlerdir [68].

Kaur ve Geetha, gizli Web'i tarama amacı ile SIMHAR adını verdikleri ağaç tabanlı yaklaşımı benimseyen dağıtılmış bir web tarayıcısı önermiş ve uygulanmışlardır. Scrapy, Framework ve Redis sunucusunu birleştirerek taramayı, uyarlama, ilgili kaynak seçimi ve temel içerik çıkarma olmak üzere üç aşamaya bölmüşlerdir. Tarayıcı, aranabilir formları doğru bir şekilde algılamış ve göndermiştir. Çalışmada önerilen tarayıcı, gizli webden belirli bir konu ile alakalı sonuçları aradığından odaklanmış tarayıcı gibi çalışmaktadır. Tohum URL'ler ise sisteme yazarlar tarafından konu ile ilişkili olarak DMOZ veri setinden seçilerek eklenmiştir. Veri seti 6 farklı alanda 260000'den fazla URL içermektedir [69].

Gupta ve Bhatia çalışmalarında, HiCrawl adını verdikleri alana özgü yaklaşımı benimseyen ve tıp alanındaki siteleri taramayı hedefleyen odaklanmış gizli bir web tarayıcısını önermişlerdir. Önerilen tarayıcı beş temel bölüme sahiptir. Bunlar indirici, web sayfası çözümleyicisi, form çözümleyicisi, etki alanına özgü bir veri havuzu kullanan form işlemcisi ve etki alanına özgü sınıflandırma hiyerarşisidir. HiCrawl tohum URL seti, tıp alanına ait web sayfa URL'lerinden oluşmaktadır. Bu tohum URL seti, Google, Yahoo vb. gibi herhangi bir güvenilir web arama motorunun dizinlerinden elde edilmiş ve bir FIFO kuyruğu olan tohum URL sınırında saklanmaktadır [70].

Bhatia ve arkadaşları çalışmalarında, AKSHR adını verdikleri etki alanına özgü gizli web tarayıcısını önerdiler. Önerilen tarayıcının gizli web veri tabanlarını taramak için arama ara yüzlerinin otomatik olarak indirilmesi, etki alanına özgü ara yüz yaklaşımı kullanılarak arama ara yüzü öğeleri arasındaki anlamsal eşlemelerin tanımlanması ve arama ara yüzlerini otomatik doldurma yeteneği olduğu belirtilmiştir. Önerilen çalışmanın deneysel değerlendirilmesi için kitaplar, havayolu, elektronik, emlak ve filmler olmak üzere beş alan dikkate alınmış ve arama ara yüzü tarayıcısına her etki alanı için bir tohum URL sağlanmıştır. Önerilen tarayıcının ortalama tarama hassasiyeti %76,9 ile %93,1 arasında değiştiği görülmüştür. Genel hassasiyet ortalaması, geri çağırma ortalaması ve genel ortalama F-ölçüsünün sırasıyla %85.23, %86.32 ve %85.44 olduğu ve AKSHR' nin hem tutarlı hem de verimli olduğunu belirtilmiştir [71].

Gizli web tarayıcılarında performans ölçütü olarak genel tarayıcılarda kullanılan ölçeklenebilirlik, tazelik ve benzeri ölçütler kullanılır. Bunların yanında hedef gizli web sitesinde bulunan toplam sayfa sayısının, getirilen sayfa sayısına oranı olan hasat oranı da önemli bir ölçüttür. [72]'de yazarlara göre tarayıcı tarafından taranan toplam sayfa sayısı P_c , toplanan derin web veri tabanının alana özgü toplam sayfa sayısı N_f ve tarayıcının arama alanındaki alan özgü aranabilir sayfaların toplam sayısı N_{cf} ise hasat ve kapsama oranı denklem 1 ve 2 'deki gibi ifade edilebilir.

$$\text{Hasat Oranı} = \frac{N_{cf}}{P_c} \quad (1)$$

$$\text{Kapsama Oranı} = \frac{N_{cf}}{N_f} \quad (2)$$

Burada hasat oranı ve kapsama oranı N_{cf} arttığında artmaktadır, P_c ve N_f arttığında ise azalmaktadır. Webde bulunan kaliteli verilerin büyük çoğunluğu çeşitli kurumlar ve özel firmalar tarafından eklenmektedir. Bundan dolayı gizli web tarayıcılarının kapsamı yüzey web tarayıcılarına göre daha geniştir ve bu da gizli web tarayıcılarının önemini arttırmaktadır. Gizli web tarayıcıları, verileri form doldurma, üye girişi ve sorgulamalar sonucu almaktadır. Gizli web tarayıcıları verilere direkt ulaşamaması beraberinde birçok dezavantajı getirmektedir. Bunlar ölçeklenemez olması, ağ üzerinde ağır yük oluşturması, yarı otomatik olması ve belirli bir formatta arama yapamamasıdır. Tablo 4' de önceki çalışmalarda elde edilen veriler sunulmuştur.

Tablo 4. Gizli web tarayıcılarının performansları.

Kaynak	Kapsama Oranı	Sorgu sayısı	Kapsam (web sitesi)
[73]	%72.0	200	5
[72]	%65.1	---	50
[68]	%85.0	3500	154
[70]	%87.5	16	1
[74]	%70.0	6	1
[75]	%96.0	2	1308
[76]	%92.5	2	68
[77]	%90.0	487	2
[78]	%73.7	---	1
[79]	%90.0	53	100

Tablo 4' de görüldüğü gibi gizli webin ölçeklenemez olmasından dolayı çalışmalarda kapsam olarak belirli sayıda web siteleri kullanılmıştır. Tarama yapılan gizli web sitesinin yapısına ve giriş için istenen işlemlere göre sorgu sayısı değişiklik göstermektedir.

E. MOBİL WEB TARAYICILAR

Mobil web tarayıcılarında sayfa seçim ve filtreleme işlemleri, arama motoru tarafından değil sonucu

tarafından gerçekleştirilir. Mobil taramada verilerin koda taşınması yerine kodun verilere taşınması söz konusudur. Bu durum geleneksel web tarayıcılarının neden olduğu ağ yükünü azaltır [67]. Web taraması bağlamında bir tarayıcının, veri kaynağına yani web sunucusuna geçiş yapabilme yeteneği mobilite olarak adlandırılmaktadır [74].

Kumar ve Bhatia yaptıkları çalışmalarında, gizli webden veri almak için mobil taramanın çeşitli avantajlarını kullanan bir yaklaşım önermişlerdir. Tarama sırasında geleneksel olarak verileri koda taşımak yerine, kodu verilere taşıma kavramını kullanmışlardır. Önerilen yaklaşım, yinelemeli olarak sorguları çalıştırarak yerel veri tabanından verileri alır. Sorgular, minimum sayıda sorguda maksimum veri kümesini kapsayacak şekilde potansiyel anahtar kelimeler kullanılarak oluşturulmuştur. Çalışmada kapsam olarak Hindistan dışında yaşayan Hint kökenli akademisyenlerin verilerini toplamak olduğu için odaklı bir tarama gerçekleştirilmiştir. Buna ek olarak tohum URL olarak yazarlar tarafından seçilmiş sitelerden veriler alınmıştır [74].

Anbukodi ve Manickam yaptıkları çalışmada, genel tarayıcıların ağ bant genişliği kullanımı, CPU döngülerinin ve belleğinin kullanımı, işletim sistemlerinin sınırları vb. nedenler ile uzak sunucuda yüke sebep olan durumların ortadan kaldırılması için mobil tarayıcı mimarisi önermişlerdir. Önerilen mobil taramanın avantajı, tarama işlevselliğini tüm Web üzerinde dağıtmamıza izin vermesi ve son taramadan bu yana değiştirilmemiş sayfaları filtreleyebilmesidir. Yerelleştirilmiş veri erişimi uzak sayfa seçimi, filtrelenmesi ve sıkıştırılması gibi özelliklere sahiptir. Bu tür taramada sanal bir sistem üzerinde denemeler yapıldığından kapsam bir veya birkaç sunucu iken tohum URL olarak da yazarların belirlediği birkaç web sitesi kullanılmıştır [80].

Nath ve Bal, mobil web tarayıcılarının etkili bir şekilde çözebildiği Web 'in katlanarak büyümesi ve buna bağlı olarak trafik ve bant genişliğinin tüketimi sorununu ele almışlardır. Çalışmalarında mobil tarayıcıya dayalı verimli bir indeksleme sistemi sunarak bant genişliği tüketim sorununa çözüm önerileri sunmuşlardır. Yazarlar tarafından geliştirilen tarayıcı, uzak sayfayı ziyaret ederek son taramadan sonra değişiklik için sayfayı analiz eder ve sadece değiştirilmiş olanları döndürür. Yazarlar tarafından belirlenen 100 web sayfasında 30 gün boyunca denemeler yapılmıştır. Önerilen mobil tarayıcı sistemi, geleneksel tarayıcı sistemiyle sayfa değiştirme davranışı, ağdaki yük ve bant genişliği olmak üzere üç parametre ile karşılaştırılmıştır. Deneysel sonuçlar, önerilen mobil tarayıcının geleneksel tarayıcı sistemlerinden daha verimli olduğunu göstermiştir [81].

Mobil tarayıcıların temel özelliği, sayfaların değişip değişmediğini sunucu üzerinde kontrol ederek sadece değişen sayfaların alınmasını sağlamaktır. Bu sayede bant genişliğinden ve işlemci performansından kazanç sağlanır. Tablo 5'de çeşitli çalışmalarda değişen sayfaların alınıp değişmeyen sayfaların alınmaması nedeniyle elde edilen başarı oranı, mobil ajan sayısı, deneylerde taranan URL sayısı ve ağ trafiğinde azalma yüzdesi (ATAY) gösterilmiştir.

Tablo 5. Mobil web tarayıcılarının performansları.

Kaynak	Başarı Oranı	Mobil Ajan Sayısı	Taranan URL sayısı	ATAY
[80]	%48	2	100	%43.71
[82]	%52	15	168000	---
[81]	%37	2	100	%30.40
[83]	%93	1	15000	---
[84]	%95	5	---	---

Tablo 5'de de görüldüğü gibi mobil web tarayıcılarında performans ölçütü olarak kullanılan başarı oranı, taranan toplam URL sayısı içinde mobil ajanlar tarafından değişiklik tespit edilip geri gönderilen URL sayısının yüzdesini temsil etmektedir. ATAY başarı oranına paralel olarak artıp azalmaktadır. Mobil ajanlar sunucu bilgisayarlarda barındırıldıkları için sunucu sayısının artmasına bağlı olarak mobil ajan sayısının da artmaktadır.

F. DAĞITILMIŞ WEB TARAYICILARI

Dağıtılmış web tarayıcıları coğrafi olarak farklı konumlar üzerinde çalışan tarayıcılardır. Farklı konumlarda çalışması ağ trafiğini azalttığı, yüksek ölçeklenebilirlik ve yükü dağıtma eğiliminden dolayı verimliliği arttırır. Bu avantajlarının aksine verileri yönetme ve gizli ağı taranması konularında yetersizdir [85]. Dağıtılmış web tarayıcısı, geleneksel tarayıcılar temel alınarak geliştirildiğinden dolayı çalışma prensibi ve temel yapısı geleneksel web tarayıcısına benzemektedir [86].

Cai ve Zhang çalışmalarında, dinamik web sayfasının ayrıştırma zorluğu nedeniyle eksik bilgi alınması ve tarayıcı verimliliği gibi sorunlarını çözmek için Dis-Dyn adını verdikleri dağıtılmış web tarayıcısını önermişlerdir. Yazarlar geliştirdikleri Dis-Dyn tarayıcısında, dinamik sayfaları ayrıştırmak için HtmlUnit'i kullanmış ve tarayıcının verimliliğini artıran dağıtım özelliğini gerçekleştirmek için Redis ve ZMQ'yu (Zero Message Queue) seçmişlerdir. Tohum URL olarak sadece bir adet dinamik film sitesi üzerinde denemeler yapılmış ve kapsamda bununla sınırlı kalmıştır [87].

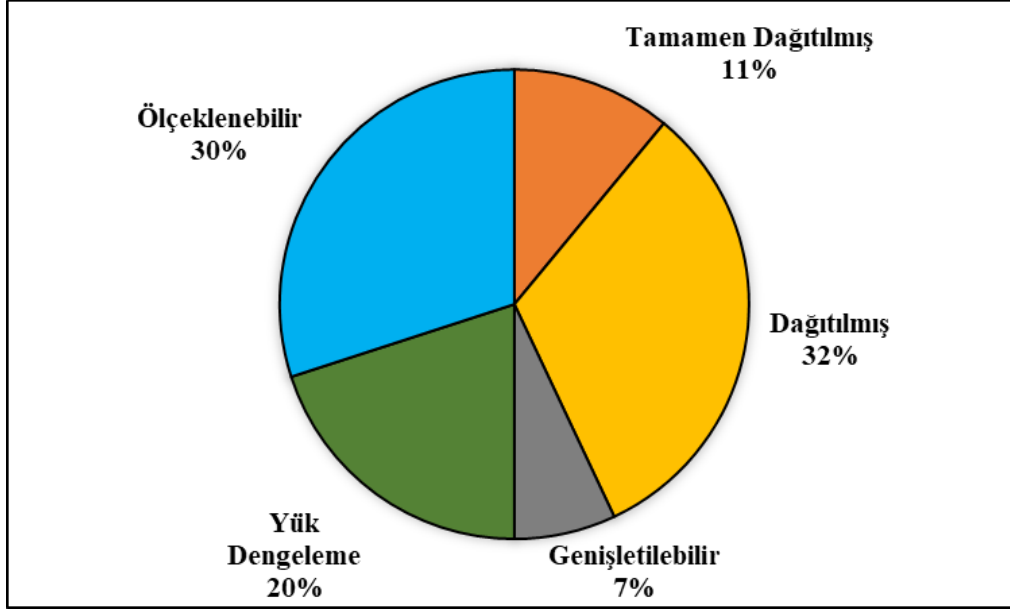
Yu ve arkadaşları çalışmalarında, Hadoop platformunda çalışan dağıtılmış bir web tarayıcı modeli önermişlerdir. Önerilen tarayıcı, geleneksel dağıtık tarama sisteminde var olan uzantı ve yük dengeleme problemini çözmeyi amaçlayan, bulut bilişime dayalı, dağıtık bir web tarayıcısıdır. Yazarlar tarafından seçilen tohum URL'ler ile başlayıp tüm Web 'i hedef alan genel bir tarama yapılmıştır. Tarama sonuçları Nutch ile kıyaslanmış ve önerilen tarayıcının performansının daha iyi olduğu belirtilmiştir [88].

Le Quoc ve arkadaşları, coğrafi olarak dağıtılmış ve harita azaltma tabanlı bir tarayıcı olan UniCrawl'ı sunmuşlardır. UniCrawl, coğrafi olarak dağıtılmış birkaç siteyi düzenlemektedir. Her site bağımsız bir tarayıcı çalıştırmakta ve Web içeriğini almak ve ayrıştırmak için çeşitli teknikler kullanmaktadır. UniCrawl, taranan etki alanını siteler arasında böler ve siteler arası iletişim maliyetini en aza indirirken depolama ve bilgi işlem kaynaklarını birleştirir. Belirli bir bölgeye yayılmış ve yazarlar tarafından belirlenmiş üç web sitesi üzerinde yapılan deneylerde önerilen tarayıcının ağ tüketimi açısından %93,6'lık bir performans artışı ve 1,75'lik bir hızlanma faktörü gösterdiği belirtilmiştir [89].

Pu çalışmasında, dağıtılmış web tarayıcılarının etkin bir şekilde kullandığı Hadoop teknolojisine dayalı bir web tarayıcı sistemi önermiştir. Bu dağıtılmış web tarayıcısının temel özellikleri yapılandırılabilir, verimli ve ölçeklenebilir olmasıdır. Tohum URL seti olarak 20 haber web sitesi URL'i kullanılmıştır. Çalışmada test ortamının ağ bant genişliği saniyede 2 MB olduğu belirtilmiş ve URL bağlantısının tarama derinliği 2 olarak ayarlanmıştır. Tarayıcı yapılan 3 farklı denemede yaklaşık 11000 web sayfasını indirmeyi başarmıştır. Önerilen tarayıcının gerçek ortamdaki kapsamı tüm Web 'dir [90].

Liu ve Jin yaptıkları çalışmalarında, ChainMR Crawler adlı dağıtık bir dikey tarayıcı önermektedir. Önerilen tarayıcı, veri madenciliği tabanlı bir tarayıcı olup URL yönetim modülü, indirme modülü, HTML bölme modülü ve depolama modülünden oluşmaktadır. Her modül URL'i yönetmek için Redis bellek veri tabanını kullanmış ve yinelenen URL'leri filtrelemek için BloomFilter algoritması benimsenmiştir. Nutch ile yapılan karşılaştırmalı taramalar sonucunda ChainMR Crawler'ın verimliliğinin daha iyi olduğu kanıtlanmış ve çeşitli ihtiyaçlara genişletilebilir olduğu belirtilmiştir [91].

Dağıtılmış web tarayıcılarında performans ölçütleri ölçeklenebilirlik, hataya karşı dayanıklılık, dağıtım derecesi, koordinasyon, bölümlenme teknikleri, kapsam, örtüşme ve iletişim yüküdür [92]. Şekil 4'de genel olarak dağıtılmış web tarayıcısında bulunan farklı özelliklerinin payı gösterilmiştir [93].



Şekil 4. Dağıtılmış web tarayıcılarında farklı özelliklerinin payı.

Dağıtılmış web tarayıcısının performansı dağıtılmışlık derecesi, tarama süresi, bant genişliği ve kullanılan sistemin özelliklerine göre farklılık gösterilmiştir. Tablo 6’da yapılmış çalışmalarda tarama zamanı, taranan sayfa sayısı veya boyutu, dağıtılmış tarayıcı yürü ve dağıtım adetleri özelliklerinin karşılaştırılması sunulmuştur. Dağıtılmış web tarayıcılarında taranan sayfa sayısı/boyutu tarama zamanı ve dağıtım adedine paralel olarak arttığı görülmüştür. Ayrıca dağıtılmış genel web tarayıcılarının dağıtılmış odaklanmış web tarayıcılarına göre daha fazla sayfa taradığı görülmüştür.

Tablo 6. Dağıtılmış web tarayıcıların performansları.

Kaynak	Tarama Zamanı (Dakika)	Taranan Sayfa Sayısı/Boyutu	Tarayıcı Türü	Dağıtım Sayısı (Adet)
[88]	---	26136	Genel	10
[94]	6.3	300	Genel	5
[95]	60.0	---	Genel	4
[96]	32.0	6000	Genel	>100
[90]	37.2	81003	Odaklanmış	4
[97]	43200.0	23501715	Odaklanmış	300
[91]	30.0	4500	Odaklanmış	6
[98]	35.0	96532	Odaklanmış	4
[99]	600.0	7771402	Genel	6
[100]	1.0	560	Odaklanmış	16
[101]	420.0	20000	Odaklanmış	4
[102]	1648.2	725.46 MB	Genel	2

Tablo 7 ‘de genel, odaklanmış, artımlı, gizli, mobil ve dağıtılmış web tarayıcılarının kapsamlı karşılaştırılması sunulmuş ve bu tarayıcılar, kapsamaları, kullandıkları algoritmalar, sayfa seçim yöntemleri, tohum URL kaynağı, örnek tarayıcılar ve ölçeklenebilirlik özelliklerine göre karşılaştırılmıştır. Kapsam bakımından incelendiğinde genel web tarayıcılarının kapsamı tüm Web, odaklı web tarayıcıların kapsamı belirli bir konu ya da alan, mobil tarayıcılarının kapsamı belirli web sayfaları olup diğer tarayıcılar ise çalışma alanına göre genel ve odaklı tarayıcılar ile aynı kapsamı hedeflemektedir. Kapsamı tüm Web olan tarayıcılar genel olarak genişlik öncelikli arama algoritmasını, kapsamı Web ‘in bir bölümü ya da belirli bir konu olan tarayıcılar ise derinlik öncelikli arama algoritmasını birincil olarak kullanmaktadır. Genel olarak web tarayıcılarında tarama işlemi tohum URL’lerden başlamaktadır. Odaklanmış ve gizli web tarayıcılarında hedef sayfalar belli

olduğundan konu, anahtar kelime ve form doldurma yöntemleri ile tohum URL'leri seçip aramalarını gerçekleştirmektedirler. Web tarayıcılarının tohum URL kaynakları türlerine, kapsamlarına ve araştırma alanlarına göre manuel, yarı otomatik veya otomatik olarak seçilebilmektedir. Literatürde yapılan çalışmalarda ve ticari olarak geliştirilen arama motorlarında farklı özellikte web tarayıcıları geliştirilmiştir. InfoSpiders, OntoCrawler vb. bazı web tarayıcıları belirli bir türe sahip iken SIMHAR, SmartCrawler vb. bazı tarayıcılar ise birden farklı türde tarayıcı özelliği göstermektedir. Son olarak genel, artımlı ve gizli web tarayıcılarının kapsamları önceden bilinmediğinden ölçeklenebilirlik özellikleri yoktur, bunların dışındaki tarayıcılar ise belirli bir kapsam, anahtar kelime, sorgu sonucunda tarandığından ölçeklenebilir özelliklere sahiptir.

Tablo 7. Web tarayıcılarının karşılaştırılması.

Tarayıcı Türü	Kapsam	Kullanılan Algoritmalar	Sayfa Seçimi	Tohum URL Kaynağı	Örnek Tarayıcı	Ölçeklenebilirlik
Genel Web Tarayıcı	Tüm Web	Genişlik Öncelikli Arama, Page Rank, HITS	Tohum URL	Page Rank ve HITS değeri en yüksek sayfalar	Google, Mercator, Yahoo, Bing, Yandex vs. Açık Kaynak Tarayıcılar	Hayır
Odaklanmış Web Tarayıcı	Webin konu ya da alan tabanlı belli bölümü	Derinlik Öncelikli Arama, Köpek Balığı Arama, Vektör Uzay Modeli, En İyi İlk, En İyi N İlk, Page Rank HITS	Konu veya Anahtar kelime	Kelime veri setlerinin arama sonuçları DMOZ veri seti, Belli konudaki web sayfaları	InfoSpiders, OntoCrawler, LSCrawler,	Evet
Artımlı Web Tarayıcıları	Tüm Web, Webin konu ya da alan tabanlı belli bölümü	Genişlik Öncelikli Arama, Derinlik Öncelikli Arama, En iyi ilk arama, Page Rank, HITS	Tohum URL, Öncelik sırasına bağlı URL	Page Rank ve HITS değeri en yüksek sayfalar Belirli koleksiyonlar	SmartCrawler RCrawler WebMiner	Hayır
Gizli Web Tarayıcıları	Belirli web sayfaları	Uyarlanabilir algoritma, Genel-frekans algoritması, rastgele-16K, rastgele-1M	Anahtar Kelime sorgusu veya form doldurma	Kelime tabanlı sorgulama, Form tabanlı sorgulama, özellik ve etiket çıkarmaya dayalı sorgulama, DMOZ veri seti, arama motorları.	SIMHAR SmartCrawler HiCrawl AKSHR	Hayır
Mobil Web Tarayıcılar	Belirli Web sayfaları	Genişlik Öncelikli Arama, Derinlik Öncelikli Arama	Tohum URL	Kelime tabanlı sorgulama		Evet
Dağıtılmış Web Tarayıcıları	Tüm Web, Webin konu ya da alan tabanlı belli bölümü	Genişlik Öncelikli Arama	Tohum URL	Tohum URL Seti	UbiCrawler SIMHAR Dis-Dyn UniCrawl Nutch	Evet

VI. WEB TARAYICILARI İÇİN GÜNCEL TEKNOLOJİLERİN ANALİZİ

Yeni web teknolojilerinin ortaya çıkması, sosyal medya ağlarının yaygınlaşması ve nesnelerin interneti ile üretilen verilerin artması ile insanlığın büyük veri çağına girdiği kabul edilmektedir. Büyük veri hacim, hız, çeşitlilik, değer ve doğruluk gibi özelliklere sahip bir veri kümesidir [103]. Büyük verinin ölçeklenebilirliği, karmaşıklığı ve büyüme hızı nedeni ile klasik ilişkiyel veri tabanlarında depolanması, işlenmesi ve analiz edilmesi zor bir süreçtir [104]. Web' de bulunan heterojen büyük veriler yapılandırılmış, yarı yapılandırılmış ve yapılandırılmamış olmak üzere üç farklı biçimde bulunmaktadır. Yapılandırılmış veriler önceden tanımlanmış bir veri modeline bağlı, saklanabilen, erişilebilen ve işlenebilen her türlü veri olarak adlandırılmaktadır [105]. İlişkiyel veri tabanlarında saklanan veriler yapılandırılmış veriye örnek olarak gösterilebilir. Bunun aksine, yapılandırılmamış

veriler bilinmeyen yapı ve forma sahip olan ve önceden tanımlanmış bir veri modeline sahip olmayan verilerdir [106]. Metin dosyası, video, resim vb. veriler ve bunların birleşimini içeren heterojen veri kaynakları yapılandırılmamış veri olarak gösterilmektedir. Yarı yapılandırılmış veri ise her iki veri türünü de içeren bir yapıya sahiptir. Yarı yapılandırılmış veriler açık bir veri modeline sahip olmayan ve eksik olabilen düzensiz verilerdir. HTML web sayfaları, RSS verileri ve XML dosyaları yarı yapılandırılmış veri olarak temsil edilmektedir [105, 107]. Web ortamında bulunan büyük verinin toplanması ve indekslenmesi için temel araç web tarayıcılarıdır. Web tarayıcıları Web ortamında bulunan metinlerin yanı sıra resim, video, doküman vb. gibi heterojen verileri de toplamaktadırlar. Web tarayıcıları ile toplanan veriler yapılandırılmış formda ilişkisel veri tabanlarında saklanabilmektedir Yarı yapılandırılmış ve yapılandırılmamış verilerin son derece yoğun bilgi işlem ve depolama sorunları nedeni ile ilişkisel veri tabanları yetersiz kalmaktadır. Bu sorunlarla başa çıkmak için literatürde NoSQL veri tabanları ve bulut tabanlı mimariler kullanılmaktadır [108].

Web günlükleri ve sosyal medya platformları tarafından oluşturulan Web verileri geleneksel web sayfası içeriklerinden farklılık göstermektedir. Bu platformlarda zamansal olarak sürekli bir veri akışı gerçekleştirilmektedir. Bu akış verisini elde etmek için web tarayıcısının düşük gecikme süresi, yüksek veri kalitesi, uygun ağ nezaketi ve yüksek ölçeklenebilirlik gereksinimi karşılaması gerekmektedir [109]. Twitter, Flickr, Youtube vb. gibi birçok sosyal medya platformları API'leri aracılığı ile kullanıcılar ve oluşturulan içerikler ile ilgili yapılandırılmış verilere erişim izni sağlamaktadır. Bunun yanı sıra belirli bir kullanıcı topluluğunun Twitter verilerini toplayan ve analiz eden [110], Twitter akışlarında konu algılamayı ele alan [111] ve birbirine bağlı Web ve Sosyal Web verilerini entegre bir şekilde toplayan [112] çalışmalarda yapılmıştır.

Web tarayıcılarını güncel teknolojiler ile birleştiren çalışmalarda yapılmıştır. Blok zinciri (Blockchain) Nakamoto tarafından 21. Yüzyılın başlarında önerilmiştir [113]. Blok zinciri, büyük miktarda veriyi merkezi olmayan bir şekilde düzenleyebilen, mutabakat sürecini basitleştiren, veri güvenliğini sağlayan ve bilgi paylaşımını etkin bir şekilde kullanan dağıtılmış bir defter teknolojisidir. Wang ve arkadaşları blok zinciri tekniklerini kullanarak web sunucularının iş yükünü hafifletmek ve belirli kurallara göre veri toplamaya izin vermek için blok zinciri tabanlı bir odaklanmış web tarayıcısı geliştirmişlerdir [114]. Görüntü işleme konusunda Web ortamından görüntüleri toplayıp görüntü veri tabanı oluşturan web tarayıcıları geliştirilmiştir. Kalmukov ve Valova, içerik tabanlı görüntü alma tekniklerini, yöntemlerini ve algoritmaları test etmek için kullanacakları veri setini oluşturan web tarayıcısının mimarisini önermişlerdir [115]. Ali ve arkadaşları, Hadoop YARN kullanarak büyük ölçekli görüntü veri kümesi oluşturma amacı ile Web' i sistematik bir şekilde tarayan bir tarayıcı sistemi geliştirmişlerdir. Geliştirilen tarayıcı küçük resim ve simgeler gibi görüntüleri azaltmak için bazı teknikler kullanmakta ve açık kaynaklı web tarayıcısı olan Apache Hadoop ve Apache Nutch' a dayanmaktadır [116].

Web tarayıcıları konusunda önemli bir araştırma alanı da anti-tarayıcı teknolojileridir. Anti-tarayıcılar kötü niyetli kişilerin veya sistemlerin bazı teknik araçları kullanarak toplu olarak web sitesi bilgilerini elde etmelerini önlemenin bir yoludur. Tarayıcı ne kadar başarılı olursa olsun karmaşık anti-tarayıcılar tarafından keşfedilebilmektedir. Aynı şekilde anti-tarayıcılar ne kadar iyi olursa olsun gelişmiş web tarayıcıları ile bozulabilmektedir. Anti-tarayıcılar IP kısıtlamaları, kullanıcı erişim kontrolü, oturum erişim kısıtlamaları, CAPTCHA ile doğrulama gibi kısıtlamaları kullanmaktadır. Bunlara ek olarak en başarılı sistem, insanların göremediği ve asla tıklayamayacağı, yalnızca web tarayıcılarının ziyaret edebileceği web sayfalarına kasıtlı olarak bağlantı bırakan "Honeypot" teknolojisidir [117]. Tarayıcılar ve anti-tarayıcılar zıt amaçlar için çalışır ve birbirlerinin düşmanı gibidir.

VII. SONUÇ

Web tarayıcıları, web sayfalarını tarayan ve web üzerinde bulunan verileri alarak kullanıcıların ihtiyacı olan bilgileri toplayan önemli bir bilgi toplama kaynağıdır. Web tarayıcıları, Web 'de bulunan büyük hacimli heterojen verilerin toplanmasında ve kullanıcılara sunulmasında bir ihtiyaç haline gelmiştir. Kullanıcıların ihtiyacına uygun verilerin bulunması için çeşitli tarayıcılar geliştirilmiştir. Bu

çalışmada, web tarayıcıların özellikle kapsam genişletme ve tohum URL seçim ile ilgili metotları detaylı bir şekilde incelenmiştir. Ayrıca farklı web tarayıcılarının çalışma prensipleri ile performans ölçütleri incelenmiş ve literatürde yapılmış çalışmaların performansları karşılaştırılmıştır.

Genel tarayıcıların kapsamı tüm Web 'dir ve mümkün olduğunca genişlik ve derinlik öncelikli arama yaparak Web 'i taramalıdır. Tohum URL setinin belirlenmesi hayati öneme sahip olup farklı alanlardan ve bölgelerden seçilmelidir. PageRank ve HITS gibi algoritmalar uygulanarak değeri yüksek olan sayfalardan başlanması taramanın performansını ve kalitesini arttırmaktadır. Web 'de devasa büyüklükte verinin tamamının taranması ve indekslenmesi zor olduğundan literatürde genel web tarayıcılarının dışında çeşitli tarayıcılar ile ilgili araştırmalar yapılmıştır. Belirli konu ya da konular ile ilgili taramalar için odaklanmış tarayıcılar geliştirilmiştir. Odaklı web tarayıcıların, anahtar kelime tabanlı yaklaşım, ontoloji tabanlı yaklaşım, semantik tabanlı yaklaşım, veri madenciliği tabanlı yaklaşım ve çeşitli yaklaşımlar kullanan bir tarayıcı olarak literatürde araştırmaları yapılmıştır. Odaklanmış tarayıcılarda tohum URL seçimi ontoloji tabanlı olup alanında uzman kişilerin belirlediği sayfalardan oluşmaktadır. Genel ve odaklı tarayıcılardaki en büyük problem en güncel verileri elde edememektir. Bu nedenle araştırmacılar belirli periyotlar ile sayfaları tekrar tarayan artımlı web tarayıcılarını geliştirmişlerdir. Literatürde artımlı tarayıcılar, veri madenciliğine dayalı yaklaşım, sayfa yenileme sıklığının hesaplanması ve güncelliğe dayalı yaklaşım ve diğer çeşitli yaklaşımlar ile tasarlanmaktadır. Artımlı web tarayıcıları kapsam olarak tohum URL seçiminde genel ve odaklı tarayıcıların özelliklerini taşımaktadırlar. Gizli web tarayıcıları Web yüzeyinden çok kullanıcı sorguları ile ya da yetkili girişleri ile ulaşılabilen sayfalardaki verilere elde etmek için tasarlanmıştır. Gizli web tarayıcıları, ağaç tabanlı yaklaşım, alana özgü yaklaşım, sorgu ve form tabanlı yaklaşım ve diğer çeşitli yaklaşımlar kullanılarak tasarlanmıştır. Gizli web tarayıcılarında hedef sayfalar belli olup kapsam olarak bu sayfalardaki veriler alınmaktadır. Mobil web tarayıcıları temel kullanım amacı tarayıcının yükünü azaltmak ve bant genişliğini boşa harcamamak olduğu için sunucular üzerinde sayfa seçim ve filtreleme işlemleri yapmaktadırlar. Kapsam belirli bir konu ya da bir veya birkaç sunucudan oluşmaktadır. Tohum URL'ler ise konu ile ilgili sayfalar arasından genelde uzmanlar tarafından seçilmektedir. Dağıtılmış web tarayıcılarında ise temel amaç farklı bölgelerde ve aynı anda tarama yapma kabiliyeti kazanmaktır. Araştırmacılar, dağıtılmış web tarayıcılarını, veri madenciliği tabanlı, ölçeklenebilirlik tabanlı, harita azaltma tabanlı ve diğer çeşitli yaklaşımlar ile tasarlamıştır. Çalışma prensibi, tohum URL seçimi, kapsamı ve temel yapısı geleneksel web tarayıcısına benzemektedir.

Bu alanda araştırma yapacak olan araştırmacılar, çalışma alanlarının kapsamına göre hibrid bir tarayıcı geliştirebilir. Tüm Web 'in taranması için güncel, düşük ağ trafiğini kullanan ve farklı bölgelerde çalışabilen genel artımlı ve dağıtılmış bir web tarayıcısı önerilmektedir. Konu odaklı taramalar için odaklanmış, artımlı, gizli, mobil ve dağıtılmış tarayıcı özelliklerini bir arada kullanarak yüksek performanslı tarayıcı oluşturulabilir.

Bu açıklamalara dayanarak gelecekte, hedefi tüm Web olan genel ve artımlı bir web tarayıcısı tasarlanacaktır. Genel ve artımlı web tarayıcılarının avantajlarından yararlanan ve büyük verinin üç ana özelliği olan hacim, çeşitlilik ve hızı dikkate alan bir tarayıcının tohum URL seçim ve kapsam genişletme metotları üzerine çalışmalar yapılacaktır.

TEŞEKKÜR: TÜBİTAK BİDEB 2244 Sanayi Doktora Programı kapsamında 118C127 proje numarası ile desteklenmiştir.

VIII. KAYNAKLAR

- [1] S. Stergiou and K. Tsioutsoulouklis, "Set Cover at Web Scale," presented at the Proceedings of the 21th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, Sydney, NSW, Australia, 2015. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1145/2783258.2783315>.
- [2] J. M. Kleinberg, "Authoritative sources in a hyperlinked environment," in *SODA*, 1998, vol. 98: Citeseer, pp. 668-677.
- [3] S. Zheng, P. Dmitriev, and C. L. Giles, "Graph based crawler seed selection," 2009, pp. 1089-1090.
- [4] P. Dmitriev, "Host-based seed selection algorithm for web crawlers," ed: Google Patents, 2010.
- [5] S. Daneshpajouh, M. M. Nasiri, and M. Ghodsi, "A Fast Community Based Algorithm for Generating Web Crawler Seeds Set," 2008, pp. 98-105.
- [6] S. Sharma and A. Bhagat, "Automation of Manual Seed URLs Cull Approach for Web Crawlers," *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE)*, vol. Volume-8, no. Issue-4, February 2019.
- [7] B. Ganguly and R. Sheikh, "A review of focused web crawling strategies," *International Journal of Advanced Computer Research*, vol. 2, no. 4, p. 261, 2012.
- [8] F. M. J. M. Shamrat, Z. Tasnim, A. K. M. S. Rahman, N. I. Nobel, and S. A. Hossain, "An effective implementation of web crawling technology to retrieve data from the world wide web (WWW)," *International Journal of Scientific & Technology Research*, vol. 9, no. 01, pp. 1252-1256, 2020.
- [9] L. Jiang and H. Zhang, "Multi-agent based individual web spider system," 2010: IEEE, pp. 177-181.
- [10] S.-B. Chan and H. Yamana, "The method of improving the specific language focused crawler," 2010.
- [11] J. Choudhary and D. Roy, "Priority based semantic web crawler," *International Journal of Computer Applications*, vol. 81, no. 15, pp. 10-13, 2013.
- [12] P. N. Priyatam, A. Dubey, K. Perumal, S. Praneeth, D. Kakadia, and V. Varma, "Seed selection for domain-specific search," 2014, pp. 923-928.
- [13] L. M. Sanagavarapu, S. Sarangi, and V. Varma, "Fine grained approach for domain specific seed URL extraction," 2018.
- [14] R. Janbandhu, P. Dahiwal, and M. M. Raghuwanshi, "Analysis of web crawling algorithms," *International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication*, vol. 2, no. 3, pp. 488-492, 2014.
- [15] G. Gossen, E. Demidova, and T. Risse, "The iCrawl Wizard—supporting interactive focused crawl specification," 2015: Springer, pp. 797-800.
- [16] A. C. Nwala, M. C. Weigle, and M. L. Nelson, "Scraping SERPs for archival seeds: it matters when you start," 2018, pp. 263-272.
- [17] M. Baroni, S. Bernardini, A. Ferraresi, and E. Zanchetta, "The WaCky Wide Web: A collection of very large linguistically processed web-crawled corpora," *Language Resources and Evaluation*, vol. 43, pp. 209-226, 09/01 2009, doi: 10.1007/s10579-009-9081-4.
- [18] H.-T. Lee, D. Leonard, X. Wang, and D. Loguinov, "IRLbot: scaling to 6 billion pages and beyond," *ACM Transactions on the Web (TWEB)*, vol. 3, no. 3, pp. 1-34, 2009.
- [19] M. Baker and M. Akcayol, "Priority queue based estimation of importance of web pages for web

- crawlers," *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, vol. 9, no. 1, pp. 330-342, 2017.
- [20] M. Thangaraj and P. G. Sivagaminathan, "An Improved Generic Crawler using Poisson Fit Distribution," *Communications*, vol. 6, pp. 7-13, 2016.
- [21] A. Heydon and M. Najork, "Mercator: A scalable, extensible Web crawler," *World Wide Web*, vol. 2, no. 4, pp. 219-229, 1999/12/01 1999, doi: 10.1023/A:1019213109274.
- [22] L. Page, S. Brin, R. Motwani, and T. Winograd, "The PageRank citation ranking: Bringing order to the web," Stanford InfoLab, 1999.
- [23] S. Chakrabarti, M. Berg, and B. Dom, "Focused crawling: A new approach to topic-specific Web resource discovery," *Computer Networks*, vol. 31, pp. 1623-1640, 04/13 2000, doi: 10.1016/S1389-1286(99)00052-3.
- [24] A. Gupta and P. Anand, *Focused web crawlers and its approaches*. 2015, pp. 619-622.
- [25] S. Batsakis, E. G. M. Petrakis, and E. Milios, "Improving the performance of focused web crawlers," *Data & Knowledge Engineering*, vol. 68, no. 10, pp. 1001-1013, 2009/10/01/ 2009, doi: <https://doi.org/10.1016/j.datak.2009.04.002>.
- [26] M. S. Safran, A. Althagafi, and D. Che, "Improving Relevance Prediction for Focused Web Crawlers," in *2012 IEEE/ACIS 11th International Conference on Computer and Information Science*, 30 May-1 June 2012 2012, pp. 161-166, doi: 10.1109/ICIS.2012.61.
- [27] G. H. Agre and N. V. Mahajan, "Keyword focused web crawler," in *2015 2nd International Conference on Electronics and Communication Systems (ICECS)*, 26-27 Feb. 2015 2015, pp. 1089-1092, doi: 10.1109/ECS.2015.7124749.
- [28] S. Age, T. Indorkar, S. Kokate, and M. Shitole, "A Self Adaptive Semantic Focused Web Crawler," *International Journal of Research In Science & Engineering*, vol. 1, no. 6, pp. 74-79, 2017.
- [29] M. Kumar, A. Bindal, R. Gautam, and R. Bhatia, "Keyword query based focused Web crawler," *Procedia Computer Science*, vol. 125, pp. 584-590, 2018/01/01/ 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.12.075>.
- [30] S. Mali and B. B. Meshram, "Focused web crawler with revisit policy," 2011, pp. 474-479.
- [31] M. S. Safran, A. Althagafi, and D. Che, "Improving relevance prediction for focused Web crawlers," 2012: IEEE, pp. 161-166.
- [32] D. Taylan, M. Poyraz, S. Akyokuş, and M. C. Ganiz, "Intelligent focused crawler: learning which links to crawl," 2011: IEEE, pp. 504-508.
- [33] M. S. Safran, A. Althagafi, and D. Che, "Improving relevance prediction for focused Web crawlers," 2012 2012: IEEE, pp. 161-166.
- [34] T. R. Gruber, "A translation approach to portable ontology specifications," *Knowledge acquisition*, vol. 5, no. 2, pp. 199-220, 1993.
- [35] D. Mukhopadhyay, A. Biswas, and S. Sinha, "A New Approach to Design Domain Specific Ontology Based Web Crawler," in *10th International Conference on Information Technology (ICIT 2007)*, 17-20 Dec. 2007 2007, pp. 289-291, doi: 10.1109/ICIT.2007.20.
- [36] M. Ehrig and A. Maedche, "Ontology-focused crawling of web documents," 2003, pp. 1174-1178.
- [37] G. Agre and S. Dongre, "A keyword focused web crawler using domain engineering and ontology," *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering*, vol. 4, no.

- 3, pp. 463-465, 2015.
- [38] Y. Du, Y. Hai, C. Xie, and X. Wang, "An approach for selecting seed URLs of focused crawler based on user-interest ontology," *Applied Soft Computing*, vol. 14, pp. 663-676, 2014/01/01/ 2014, doi: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2013.09.007>.
- [39] Y. B. Yu, S. L. Huang, N. Tashi, H. Zhang, F. Lei, and L. Y. Wu, "A survey about algorithms utilized by focused web crawler," *Journal of Electronic Science and Technology*, vol. 16, pp. 129-138, 06/01 2018, doi: 10.11989/JEST.1674-862X.70116018.
- [40] D. Cai, S. Yu, J.-R. Wen, and W.-Y. Ma, "Vips: a vision-based page segmentation algorithm," 2003.
- [41] J. Wu and K. Aberer, *Using SiteRank for Decentralized Computation of Web Document Ranking*. 2004.
- [42] C. Kohlschütter and W. Nejdl, "A densitometric approach to web page segmentation," presented at the Proceedings of the 17th ACM conference on Information and knowledge management, Napa Valley, California, USA, 2008. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1145/1458082.1458237>.
- [43] K. S. S. Prabha, C. Mahesh, and S. P. Raja, "An Enhanced Semantic Focused Web Crawler Based on Hybrid String Matching Algorithm," *Cybernetics and Information Technologies*, vol. 21, no. 2, pp. 105-120, 2021.
- [44] W. Wang, X. Chen, Y. Zou, H. Wang, and Z. Dai, "A Focused Crawler Based on Naive Bayes Classifier," in *2010 Third International Symposium on Intelligent Information Technology and Security Informatics*, 2-4 April 2010 2010, pp. 517-521, doi: 10.1109/IITSI.2010.30.
- [45] L. Ying, X. Zhou, J. Yuan, and Y. Huang, *A Novel Focused Crawler Based on Breadcrumb Navigation*. 2012, pp. 264-271.
- [46] N. Luo, W. L. Zuo, F. Y. Yuan, and C. L. Zhang, "A new method for focused crawler cross tunnel," in *Rough Sets and Knowledge Technology, Proceedings*, vol. 4062, 2006, ch. 1st International Conference on Rough Sets and Knowledge Technology, pp. 632-637.
- [47] P. Bedi, A. Thukral, H. Banati, A. Behl, and V. Mendiratta, "A Multi-Threaded Semantic Focused Crawler," *Journal Of Computer Science And Technology*, vol. 27, no. 6, pp. 1233-1242, NOV 2012, doi: 10.1007/s11390-012-1299-8.
- [48] N. Le Huy Hien, T. Tien, and N. V.H, "Web Crawler: Design And Implementation For Extracting Article-Like Contents," *Cybernetics and Physics*, vol. 9, pp. 144-151, 11/20 2020, doi: 10.35470/2226-4116-2020-9-3-144-151.
- [49] D. k. Sharma and M. A. Khan, "SAFSB: A self-adaptive focused crawler," in *2015 1st International Conference on Next Generation Computing Technologies (NGCT)*, 4-5 Sept. 2015 2015, pp. 719-724, doi: 10.1109/NGCT.2015.7375215.
- [50] H. Dong and F. K. Hussain, "Self-Adaptive Semantic Focused Crawler for Mining Services Information Discovery," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 10, no. 2, pp. 1616-1626, 2014, doi: 10.1109/TII.2012.2234472.
- [51] Q. Zhu, "An Algorithm OFC for the Focused Web Crawler," in *2007 International Conference on Machine Learning and Cybernetics*, 19-22 Aug. 2007 2007, vol. 7, pp. 4059-4063, doi: 10.1109/ICMLC.2007.4370856.
- [52] G. A. F. Alfarisy and F. A. Bachtiar, "Focused web crawler for Indonesian recipes," in *2017 International Conference on Sustainable Information Engineering and Technology (SIET)*, 24-25 Nov. 2017 2017, pp. 196-202, doi: 10.1109/SIET.2017.8304134.
- [53] T. Suebchua, A. Rungsawang, and H. Yamana, "Adaptive Focused Website Segment Crawler," in *2016 19th International Conference on Network-Based Information Systems (NBIS)*, 7-9 Sept. 2016 2016, pp.

- 181-187, doi: 10.1109/NBiS.2016.5.
- [54] J. Hernandez, H. M. Marin-Castro, and M. Morales-Sandoval, "A Semantic Focused Web Crawler Based on a Knowledge Representation Schema," *Applied Sciences*, vol. 10, no. 11, 2020, doi: 10.3390/app10113837.
- [55] J. Cho and H. Garcia-Molina, "Estimating frequency of change," *ACM Transactions on Internet Technology (TOIT)*, vol. 3, no. 3, pp. 256-290, 2003.
- [56] S. Sharma and P. Gupta, "The anatomy of web crawlers," in *International Conference on Computing, Communication & Automation*, 15-16 May 2015 2015, pp. 849-853, doi: 10.1109/CCAA.2015.7148493.
- [57] M. Singh and B. Varnica, "Web crawler: Extracting the web data," *International Journal of Computer Trends and Technology*, vol. 13, no. 3, pp. 132-137, 2014.
- [58] A. Gupta and A. Dixit, "A novel user trend-based priority assigner and URL scheduler for dynamic incremental crawling," *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, <https://doi.org/10.1002/cpe.6555> vol. n/a, no. n/a, p. e6555, 2021/08/08 2021, doi: <https://doi.org/10.1002/cpe.6555>.
- [59] G. Pavai and T. V. Geetha, "Improving the freshness of the search engines by a probabilistic approach based incremental crawler," *Information Systems Frontiers*, vol. 19, no. 5, pp. 1013-1028, 2017/10/01 2017, doi: 10.1007/s10796-016-9701-7.
- [60] A. S. R. Santos, C. R. de Carvalho, J. M. Almeida, E. S. de Moura, A. S. da Silva, and N. Ziviani, "A genetic programming framework to schedule webpage updates," *Information Retrieval Journal*, vol. 18, no. 1, pp. 73-94, 2015.
- [61] Q. Tan and P. Mitra, "Clustering-based incremental web crawling," *ACM Transactions on Information Systems (TOIS)*, vol. 28, no. 4, pp. 1-27, 2010.
- [62] Z. Shi, M. Shi, and W. Lin, "The Implementation of Crawling News Page Based on Incremental Web Crawler," in *2016 4th Intl Conf on Applied Computing and Information Technology/3rd Intl Conf on Computational Science/Intelligence and Applied Informatics/1st Intl Conf on Big Data, Cloud Computing, Data Science & Engineering (ACIT-CSII-BCD)*, 12-14 Dec. 2016 2016, pp. 348-351, doi: 10.1109/ACIT-CSII-BCD.2016.073.
- [63] Y. Nagar and N. Singhal, "A users search history based approach to manage revisit frequency of an Incremental Crawler," *International Journal of Computer Applications*, vol. 63, no. 3, 2013.
- [64] M. Pavkovic and J. Protic, "SInFo – Structure-Driven Incremental Forum Crawler That Optimizes User-Generated Content Retrieval," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 126941-126961, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2939872.
- [65] R. Madaan, A. Dixit, A. K. Sharma, and K. K. Bhatia, "A framework for incremental hidden web crawler," *International Journal on Computer Science and Engineering*, vol. 2, no. 3, pp. 753-758, 2010.
- [66] C. Bouras, V. Pouloupoulos, and A. Thanou, "Creating a polite adaptive and selective incremental crawler," in *IADIS International Conference 2005*, 2005 2005, vol. 1: Citeseer, pp. 307-314.
- [67] M. Kumar, R. Bhatia, and D. Rattan, "A survey of Web crawlers for information retrieval," *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery*, vol. 7, no. 6, p. e1218, 2017.
- [68] P. Zerfos, J. Cho, and A. Ntoulas, "Downloading textual hidden web content through keyword queries," in *Proceedings of the 5th ACM/IEEE-CS Joint Conference on Digital Libraries (JCDL '05)*, 7-11 June 2005 2005, pp. 100-109, doi: 10.1145/1065385.1065407.
- [69] S. Kaur and G. Geetha, "SIMHAR - Smart Distributed Web Crawler for the Hidden Web Using

- SIM+Hash and Redis Server," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 117582-117592, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3004756.
- [70] S. Gupta and K. K. Bhatia, "HiCrawl: A Hidden Web Crawler for Medical Domain," in *2013 International Symposium on Computational and Business Intelligence*, 24-26 Aug. 2013 2013, pp. 152-157, doi: 10.1109/ISCBI.2013.39.
- [71] K. K. Bhatia, A. K. Sharma, and R. Madaan, "AKSHR: A novel framework for a Domain-specific Hidden Web Crawler," in *2010 First International Conference On Parallel, Distributed and Grid Computing (PDGC 2010)*, 28-30 Oct. 2010 2010, pp. 307-312, doi: 10.1109/PDGC.2010.5679916.
- [72] S. Raghavan and H. Garcia-Molina, "Crawling the hidden web," Stanford, 2000.
- [73] P. Liakos, A. Ntoulas, A. Labrinidis, and A. Delis, "Focused crawling for the hidden web," *World Wide Web*, vol. 19, no. 4, pp. 605-631, 2016/07/01 2016, doi: 10.1007/s11280-015-0349-x.
- [74] M. Kumar and R. Bhatia, "Design of a mobile Web crawler for hidden Web," in *2016 3rd International Conference on Recent Advances in Information Technology (RAIT)*, 3-5 March 2016 2016, pp. 186-190, doi: 10.1109/RAIT.2016.7507899.
- [75] Y. Li, Y. Wang, and J. Du, "E-FFC: an enhanced form-focused crawler for domain-specific deep web databases," *Journal of Intelligent Information Systems*, vol. 40, no. 1, pp. 159-184, 2013.
- [76] A. I. El-desouky, H. A. Ali, and S. M. El-ghamrawy, "An Automatic Label Extraction Technique for Domain-Specific Hidden Web Crawling (LEHW)," in *2006 International Conference on Computer Engineering and Systems*, 5-7 Nov. 2006 2006, pp. 454-459, doi: 10.1109/ICCES.2006.320490.
- [77] L. Jiang, Z. Wu, Q. Zheng, and J. Liu, *Learning Deep Web Crawling with Diverse Features*. 2009, pp. 572-575.
- [78] T. A. Patil and S. Chobe, "Web Crawler for Searching Deep Web Sites," in *2017 International Conference on Computing, Communication, Control and Automation (ICCUBEA)*, 17-18 Aug. 2017 2017, pp. 1-5, doi: 10.1109/ICCUBEA.2017.8463648.
- [79] Q. Zheng, Z. Wu, X. Cheng, L. Jiang, and J. Liu, "Learning to crawl deep web," *Information Systems*, vol. 38, no. 6, pp. 801-819, 2013/09/01/ 2013, doi: <https://doi.org/10.1016/j.is.2013.02.001>.
- [80] S. Anbukodi and K. M. Manickam, "Reducing web crawler overhead using mobile crawler," in *2011 International Conference on Emerging Trends in Electrical and Computer Technology*, 23-24 March 2011 2011, pp. 926-932, doi: 10.1109/ICETECT.2011.5760252.
- [81] R. Nath and S. Bal, "A novel mobile crawler system based on filtering off non-modified pages for reducing load on the network," *Int. Arab J. Inf. Technol.*, vol. 8, no. 3, pp. 272-279, 2011.
- [82] H. Takeno, M. Muto, N. Fujimoto, and K. Hagihara, "Developing a Web Crawler for Massive Mobile Search Services," in *7th International Conference on Mobile Data Management (MDM'06)*, 10-12 May 2006 2006, pp. 44-44, doi: 10.1109/MDM.2006.69.
- [83] Y. Li, Y. Wang, and E. Tian, "A New Architecture of an Intelligent Agent-Based Crawler for Domain-Specific Deep Web Databases," in *2012 IEEE/WIC/ACM International Conferences on Web Intelligence and Intelligent Agent Technology*, 4-7 Dec. 2012 2012, vol. 1, pp. 656-663, doi: 10.1109/WI-IAT.2012.103.
- [84] Y. J. Du, Y. Xu, and M. Wang, "A Novel Cooperation And Competition Strategy Among Multi-Agent Crawlers " *Computing And Informatics*, vol. 35, no. 5, pp. 1050-1078, 2016.
- [85] S. Deshmukh and K. Vishwakarma, "A Survey on Crawlers used in developing Search Engine," in *2021 5th International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS)*, 6-8 May 2021 2021, pp. 1446-1452, doi: 10.1109/ICICCS51141.2021.9432368.

- [86] V. Shkapenyuk and T. Suel, "Design and implementation of a high-performance distributed web crawler," 2002: IEEE, pp. 357-368.
- [87] J. F. Cai and H. Zhang, "Dis-Dyn Crawler: A Distributed Crawler for Dynamic Web Page," presented at the Proceedings Of The 4th International Conference On Mechatronics, Materials, Chemistry And Computer Engineering 2015 (ICMMCCE 2015), 2015.
- [88] J. K. Yu, M. R. Li, and D. Y. Zhang, "A Distributed Web Crawler Model based on Cloud Computing," presented at the Proceedings Of The 2nd Information Technology And Mechatronics Engineering Conference (ITOEC 2016), 2016.
- [89] D. L. Quoc, C. Fetzer, P. Felber, R. É, V. Schiavoni, and P. Sutra, "UniCrawl: A Practical Geographically Distributed Web Crawler," in *2015 IEEE 8th International Conference on Cloud Computing*, 27 June-2 July 2015 2015, pp. 389-396, doi: 10.1109/CLOUD.2015.59.
- [90] Q. Pu, "The Design and Implementation of a High-Efficiency Distributed Web Crawler," in *2016 IEEE 14th Intl Conf on Dependable, Autonomic and Secure Computing, 14th Intl Conf on Pervasive Intelligence and Computing, 2nd Intl Conf on Big Data Intelligence and Computing and Cyber Science and Technology Congress(DASC/PiCom/DataCom/CyberSciTech)*, 8-12 Aug. 2016 2016, pp. 100-104, doi: 10.1109/DASC-PiCom-DataCom-CyberSciTec.2016.34.
- [91] X. X. Liu and Z. P. Jin, "ChainMR Crawler: A Distributed Vertical Crawler Based on MapReduce," presented at the Security, Privacy And Anonymity In Computation, Communication And Storage (SPACCS 2016), 2016.
- [92] P. Boldi, B. Codenotti, M. Santini, and S. Vigna, "Ubicrawler: A scalable fully distributed web crawler," *Software: Practice and Experience*, vol. 34, no. 8, pp. 711-726, 2004.
- [93] S. K. Bal and G. Geetha, "Smart distributed web crawler," in *2016 International Conference on Information Communication and Embedded Systems (ICICES)*, 25-26 Feb. 2016 2016, pp. 1-5, doi: 10.1109/ICICES.2016.7518893.
- [94] M. E. ElAraby, H. M. Moftah, S. M. Abuelenin, and M. Z. Rashad, "Elastic Web crawler service-oriented architecture over cloud computing," *Arabian Journal for Science and Engineering*, vol. 43, no. 12, pp. 8111-8126, 2018.
- [95] D. Gunawan, A. Amalia, and A. Najwan, "Improving data collection on article clustering by using distributed focused crawler," *Data Science: Journal of Computing and Applied Informatics*, vol. 1, no. 1, pp. 1-12, 2017.
- [96] H. T. Yani Achsan and W. C. Wibowo, "A Fast Distributed Focused-Web Crawling," *Annals of DAAAM & Proceedings*, vol. 24, no. 1, 2013.
- [97] C. Tsai, T. Ku, P. Yang, and M. Chen, "A distributed multi-tasking job scheduling mechanism for web crawlers," in *2014 6th International Conference of Soft Computing and Pattern Recognition (SoCPar)*, 11-14 Aug. 2014 2014, pp. 243-248, doi: 10.1109/SOCPAR.2014.7008013.
- [98] Y. Shi and T. Zhang, "Design and implementation of a scalable distributed web crawler based on Hadoop," in *2017 IEEE 2nd International Conference on Big Data Analysis (ICBDA)*, 10-12 March 2017 2017, pp. 537-541, doi: 10.1109/ICBDA.2017.8078691.
- [99] K. P. Zhu, Z. M. Xu, X. L. Wang, and Y. M. Zhao, "A full distributed Web crawler based on structured network," presented at the Information Retrieval Technology, 2008.
- [100] L. Fei, F. Y. Ma, Y. M. Ye, M. L. Li, and J. D. Yu, "Distributed high-performance web crawler based on peer-to-peer network," in *Parallel And Distributed Computing: Applications And Technologies, Proceedings*, vol. 3320, 2004, pp. 50-53.
- [101] F. Ye, Z. Jing, Q. Huang, C. Hu, and Y. Chen, "The Research and Implementation of a Distributed

- Crawler System Based on Apache Flink," in *Algorithms and Architectures for Parallel Processing*, Cham, T. Hu, F. Wang, H. Li, and Q. Wang, Eds., 2018// 2018: Springer International Publishing, pp. 90-98.
- [102] L. Su and F. Wang, "Web crawler model of fetching data speedily based on Hadoop distributed system," 2016: IEEE, pp. 927-931.
- [103] B. Marr, "Why Only One of the 5 Vs of Big Data Really Matters IBM Big Data & Analytics Hub: IBM. 2015," ed.
- [104] U. R. Pol, "Big data analysis using Hadoop MapReduce," *Am. J. Eng. Res. AJER*, vol. 5, pp. 146-151, 2016.
- [105] A. C. Eberendu, "Unstructured Data: an overview of the data of Big Data," *International Journal of Computer Trends and Technology*, vol. 38, no. 1, pp. 46-50, 2016.
- [106] Y. Zhao and J. Chen, "A survey on differential privacy for unstructured data content," *ACM Computing Surveys (CSUR)*, vol. 54, no. 10s, pp. 1-28, 2022.
- [107] L. Zhang, N. Li, and Z. Li, "An Overview on Supervised Semi-structured Data Classification," in *2021 IEEE 8th International Conference on Data Science and Advanced Analytics (DSAA)*, 6-9 Oct. 2021 2021, pp. 1-10, doi: 10.1109/DSAA53316.2021.9564205.
- [108] M. Bahrami, M. Singhal, and Z. Zhuang, "A cloud-based web crawler architecture," in *2015 18th International Conference on Intelligence in Next Generation Networks*, 17-19 Feb. 2015 2015, pp. 216-223, doi: 10.1109/ICIN.2015.7073834.
- [109] M. Hurst and A. Maykov, "Social Streams Blog Crawler," in *2009 IEEE 25th International Conference on Data Engineering*, 29 March-2 April 2009 2009, pp. 1615-1618, doi: 10.1109/ICDE.2009.146.
- [110] M. Boanjak, E. Oliveira, J. Martins, E. Mendes Rodrigues, and L. Sarmiento, "TwitterEcho - A distributed focused crawler to support open research with twitter data," 04/16 2012, doi: 10.1145/2187980.2188266.
- [111] F. Psallidas, A. Ntoulas, and A. Delis, "Soc web: Efficient monitoring of social network activities," in *International Conference on Web Information Systems Engineering*, 2013: Springer, pp. 118-136.
- [112] G. Gossen, E. Demidova, and T. Risse, "iCrawl: Improving the Freshness of Web Collections by Integrating Social Web and Focused Web Crawling," presented at the Proceedings of the 15th ACM/IEEE-CS Joint Conference on Digital Libraries, Knoxville, Tennessee, USA, 2015. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1145/2756406.2756925>.
- [113] S. Nakamoto, "Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system," *Decentralized Business Review*, p. 21260, 2008.
- [114] J. Wang, W. Zhu, J. Lai, and Z. Wang, "FDataCollector: A Blockchain Based Friendly Web Data Collection System," in *2021 17th International Conference on Mobility, Sensing and Networking (MSN)*, 13-15 Dec. 2021 2021, pp. 732-739, doi: 10.1109/MSN53354.2021.00115.
- [115] Y. Kalmukov and I. Valova, "Design and development of an automated web crawler used for building image databases," in *2019 42nd International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO)*, 20-24 May 2019 2019, pp. 1553-1558, doi: 10.23919/MIPRO.2019.8756790.
- [116] A. Ali, R. Ali, A. M. Khatak, and M. S. Aslam, "Large Scale Image Dataset Construction Using Distributed Crawling with Hadoop YARN," in *2018 Joint 10th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems (SCIS) and 19th International Symposium on Advanced Intelligent Systems (ISIS)*, 5-8 Dec. 2018 2018, pp. 394-399, doi: 10.1109/SCIS-ISIS.2018.00075.

- [117] F. Zhou and Y. Wang, "Exploring The Role of Web Crawler and Anti-Crawler Technology in Big Data Era," in *2022 11th International Conference of Information and Communication Technology (ICTech)*, 4-6 Feb. 2022 2022, pp. 316-319, doi: 10.1109/ICTech55460.2022.00070.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Öngerilmeli Poliamid 6 Dişlilerin Teorik ve Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Hesaplanan Yorulma Ömürlerinin Deneysel Sonuçlarla Karşılaştırılması

 Hilal CAN^{a,*}

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

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

DOI:10.29130/dubited.1147489

ÖZ

Plastik malzemeler, yağlamasız ve gürültüsüz çalışma istenen yerlerde dişli çark malzemesi olarak kullanılmaktadır. Plastik dişlilerin kullanımlarını sınırlayan en önemli faktör dayanım değerleridir. Öngerilme uygulanan dişlilerde yorulma ömrünün arttığı tespit edilmiştir. Plastik dişlilerin teorik olarak hesaplamalarında oluşan ısı göz önünde bulundurulmalıdır. Bu çalışmada, plastik dişlilerin hesaplamalarında kullanılan BS 6168 standardı ve diğer önemli yöntemler araştırılmıştır. Modülü 6 olarak seçilmiş dişlilerin ANSYS’de diş dibi gerilmeleri ve yorulma ömürleri belirlenmiştir. BS 6168 standardına göre yapılan hesaplamalar, ANSYS modellemeleri ve deneysel bulgular ile karşılaştırılmıştır. Takviyesiz numuneler için her yöntemle elde edilen yük tekrar sayısı değerleri birbiri ile uyumludur. Takviyeli numuneler için deneylerle elde edilen sonuçlara ANSYS modellemesinin BS6168 standardına göre daha yakın olduğu bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: *Polimer dişli, Öngerilme, Sonlu elemanlar metodu, Hesap Yöntemleri*

Comparison of Fatigue Life of Prestressed Polyamide 6 Gears Calculated by Theoretical and Finite Element Methods with Experimental Results

ABSTRACT

Plastic materials are used as gear materials in places where no lubrication and quiet operation are required. The most important factor limiting the use of plastic gears is their strength values. It has been found that the fatigue life of gears subjected to pre-tensioning increases. The heat generated in theoretical calculations of plastic gears should be taken into account. In this study, BS 6168 standard and other important methods used in the calculations of plastic gears have been investigated. The tooth root stresses and fatigue lives of gears selected with a module of 6 were determined in ANSYS. Calculations made according to BS 6168 standard were compared with ANSYS modeling and experimental findings. The load repetition values obtained with each method for unreinforced specimens are compatible with each other. It was found that ANSYS modeling is closer to experimental results for reinforced specimens according to BS6168 standard.

Keywords: *Polymeric gears, Pre-stressing, Finite element methods, Rating methods*

I. GİRİŞ

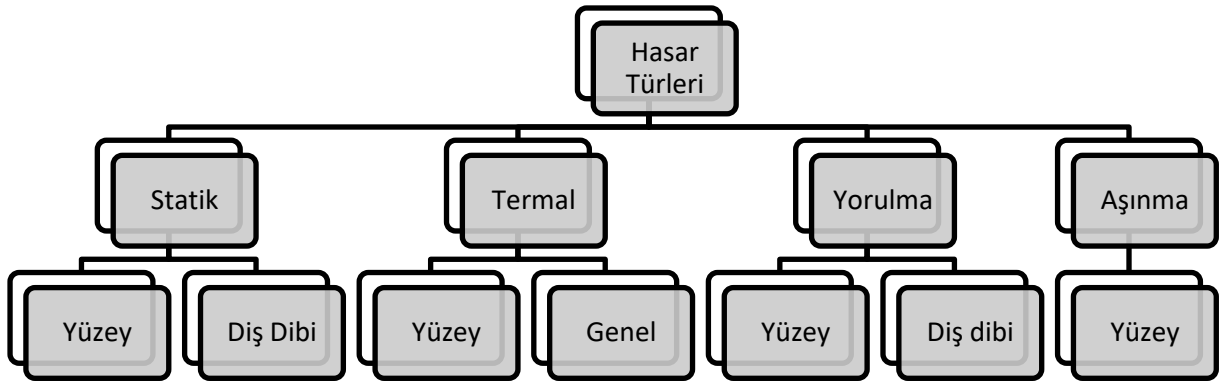
Dişliler, güç ve hareket iletim elemanlarıdır. Dişlilerin hasar mekanizmaları diş dibinden kırılma, yorulma ve aşınma şeklinde oluşmaktadır. Dişli malzemesi olarak kullanılan malzemeler dökme demir, çelik, alüminyum, plastik olabilmektedir. Plastik dişliler, korozyona dayanıklıdırlar, hafiftirler, kolay üretilirler ve yağlama olmaksızın çalışabilirler. Özellikle korozyona uğramamaları ve yağlamasız çalışabilmeleri nedeniyle gıda endüstrisinde, bunun yanı sıra gürültünün ön plana çıktığı ev ve ofis araçlarında plastik dişliler sıkça kullanılmaktadırlar [1].

Plastik dişlilerde oluşabilecek hasar mekanizmaları, diş dibinden çatlak oluşumu, temel dairesi üzerinde çatlak oluşumu, aşınma ve yumuşama hasarıdır. Polimer dişliler için temel dairesi üzerindeki hasar eşsizdir. Plastiklerin çoğu, çatlak oluşup ilerlemesi ile değil; iç sürtünmeden meydana gelen ve dışarıya iletilemeyen ısı nedeniyle malzemede gerçekleşen yumuşama ile hasara uğramaktadır. Buna *yumuşama hasarı* denir. Bu hasar, temel dairesi üzerindeki temas noktasında yüksek bölgesel sıcaklık oluşumu ile dayanımın düşmesi şeklinde tanımlanmaktadır. Temel dairesi üzerindeki yumuşama hasarının özellikle yağlamasız çalışan dişlilerde olduğu gözlenmiştir. Kayıp uygunluğunun yüksek olduğu ($J_2 > 0,5 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{N}$) sahip plastikler, yumuşama hasarı göstermektedirler. Bu gruba polipropilen, polietilen ve poliamid girmektedir [2], [3].

Plastik dişlilerin hesaplarına ilişkin standartlarda temel dairesi üzerindeki hasar göz ardı edilmiş ve bu standartlar genellikle, plastik dişliler için yorulma hasarı niteliğindeki diğer üç hasar tipi olan diş dibinden kırılma, aşınma ve pullanmayı esas almışlardır. Cam takviyeli dişlilerde gevrek hasar için çekme dayanımında artış olduğu çeşitli çalışmalarla belirlenmiştir. Ayrıca cam takviye kullanımında aşınma, öncelikli problemdir [4].

Plastik dişli çarklar ya montaj sırasında bir kez yağlanır ya da yağlamasız olarak çalışırlar. Sınır sürtünmesi veya kuru sürtünme durumlarında oluşacak sürtünme ve aşınma miktarı üzerinde kullanılacak malzeme çifti önemli bir etkiye sahiptir. Malzeme çifti oluşturulurken düşük sürtünme, pürüzsüz kayma, minimum aşınma ve sürtünme kaynaklı ısının hızlı bir şekilde uzaklaştırılması için yüksek ısı iletkenlik arzu edilir [5].

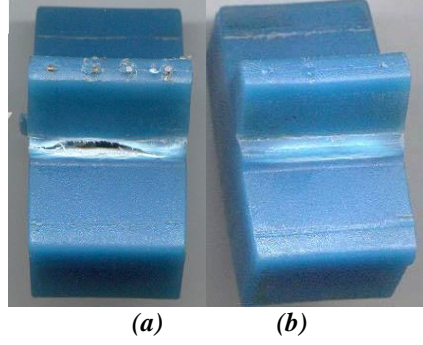
Hasar şeklini belirleyen en önemli etken, dişliye uygulanan yüküdür. Plastik dişlilerde hasar, yüke, ısı oluşumuna, yorulmaya ve aşınmaya bağlı olarak gerçekleşebilir (Şekil 1). Hasar türünün belirlenmesi, plastik dişlilerin güvenle çalışabilme sınırları açısından önleyici tedbirlerin alınmasına olanak tanıyarak, optimum dişli tasarımının yapılmasına olanak sağlar [6].



Şekil 1. Plastik dişlilerde hasar türleri [6]

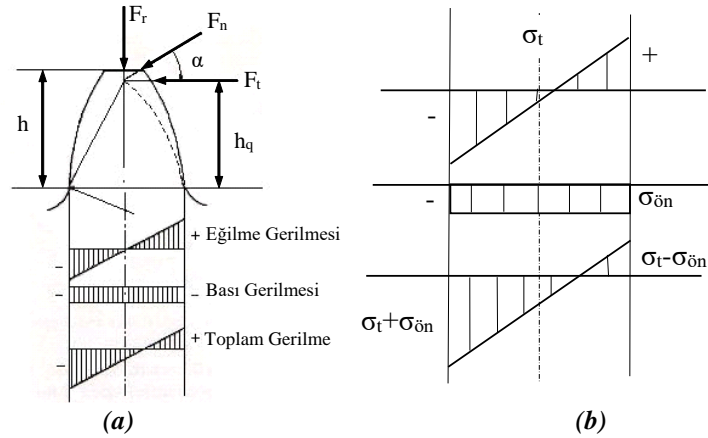
Yorulma, malzemelerin dinamik yük etkisi ile zamanla hasara uğraması olayıdır. Yorulma, dişli çarklardaki önemli hasar mekanizmalarından biridir. Dişlilerde yorulma dayanımının artırılması bakımından zaman aralığını genişleterek malzeme ve işçilikten tasarruf edilmesini sağlamaktadır.

Can, H. tarafından yapılmış çalışmada ısı yorulmaya neden olmayan 0,75 Hz frekansta polipropilen (PP) numuneler ile çalışılmış, diş dibi kesitinin %25'i kadar deformasyona izin verilerek deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucunda kimi numunelerde diş dibinde yorulma çatlaklarının oluştuğu ve ilerlediği, kimi numunelerde ise plastik deformasyon gözlemlenmiştir (Şekil 2) [4].



Şekil 2. Polimer dişlilerde yorulma çatlakları ve plastik deformasyon (a) ve Diş dibinden başlamış yorulma çatlakları (b) Plastik deformasyon

Dişlilere etkiyen normal kuvvetin teğetsel bileşeni eğilme gerilmesine yol açarken; radyal yöndeki kuvvet, bası gerilmesi oluşturarak yorulma çatlaklarının başladığı bölgedeki çeki gerilmesini düşürmektedir (Şekil 3). Diş içerisinde bası öngerilmesi oluşturularak çeki bölgesindeki gerilmenin daha da düşürülmesi mümkündür. Can, H. tarafından yapılan çalışmada; polipropilen kremayer düz dişli içerisinde diş boyunca 4 sıra enjeksiyon kalıplama öncesi çekilen yaylar, kalıplama sonrası serbest bırakılarak öngerilme oluşturulmuştur. Deneyler neticesinde aynı yük uygulanan ve aynı pozisyon değişimi için yük tekrar sayısı, sadece yay takviyesi yapılan numunelerde 1,53 kat, öngerilme uygulanmış numunelerde ise 4,83 kat daha fazla bulunmuştur.



Şekil 3. (a) Dişlilerde gerilme dağılımı ve (b) Öngerilmenin etkisi

Literatürde yer alan dişliler için kullanılan Lewis eşitliği, yumuşama hasarının dikkate alınmıyor olması nedeniyle plastik dişliler için yetersiz kalmaktadır. BS 6168 standardında hesaplamalar karmaşıktır ve bununla birlikte standartta yer alan malzeme çiftleri oldukça sınırlıdır. Yorulma deneyleri uzun zaman alan deneylerdir. Sonlu elemanlar yöntemi, dişlilerin kullanıldığı alanlarda teorik ve karmaşık hesaplamalar ile uzun süreli ve yüksek maliyetli deneylere gerek kalmaksızın doğru malzeme çiftlerinin seçilmesini sağlar. Dişlilerde yorulma çatlakları çeki bölgesinde başlamakta ve ilerlemektedir. Gevrek malzemelerin basıya dayanımlarının daha yüksek olmasına bağlı olarak diş

dibine bası yönünde öngerilme uygulanması yorulma ömrünü arttırmaktadır. Poliamidin basmaya dayanımı, çekmeye karşı dayanımından %20 kadar daha yüksektir. Bu çalışmada, öngerilme uygulanan poliamid dişlilerin teorik hesaplamalar, ANSYS ile yapılan modelleme ile elde edilen sonuçlar ve deneysel çalışmadan elde edilen bulgulara göre yorulma dayanımı değerlerinin karşılaştırılması amaçlanmıştır.

II. PLASTİK DİŞLİLERİN HESAP YÖNTEMLERİ

BS 436, AGMA 218 ve ISO 6336 gibi standartlar, metal dişli çarkların hesapları için geliştirilmiş standartlardır. Metal dişlilerde diş dibi kırılması için Lewis formülü, temas gerilmesi için Hertzian temas eşitlikleri kullanılmaktadır. Lewis ve Hertz eşitliklerinde, metal dişliler için gerilme yoğunluğu, yük dağılımı ve yükün dinamik etkimesi durumları için çeşitli katsayılar kullanılmaktadır. Plastik dişliler için Lewis ve Hertz eşitliklerinde çeşitli uyarlamalar bulunmakla birlikte metal dişlilere göre daha az gelişim göstermiştir. Teğetsel kuvvet F_t diş üstünden etkiğinde maksimum eğme momenti oluşturur. Diş geometrisi b diş genişliği, m modül, F_n normal kuvvet, s_q nominal kalınlık ve K_d düzeltme faktörü hesaba katılarak Lewis tarafından geliştirilmiş diş dibi eğme gerilmesi,

$$\sigma_e = \frac{F_n}{b \cdot m} \cdot K_d \quad (1)$$

$$K_d = \frac{6 \cdot b \cdot m \cdot h_q}{s_q^2} \quad (2)$$

şeklinde hesaplanmaktadır [7].

Dişteki temas gerilmesi, temas halindeki silindirler için uygun olan Hertz eşitliğinin uyarlanması ile hesaplanmaktadır. Evolvent dişin eğrilik çapı, silindirler çapı olarak alınarak eş dişlilerde temas gerilmesi F_t teğetsel kuvvet, E pinyon ve dişlinin elastisite modülleri, poisson oranı ν temas açısı Ψ ile aşağıdaki eşitlikle verilir;

$$P = \sqrt{\left\{ \frac{F_t}{b \cdot d} \frac{E_1 E_2}{(1 - \nu_1) E_2 + (1 - \nu_2) E_1} \frac{4}{\sin(2\psi)} \frac{u + 1}{u} \right\}} \quad (3)$$

Plastik dişlilerin performansını etkileyen en önemli faktör sıcaklıktır. Polimer dişlilerin test prosedürleri ve literatürde yer alan tribolojik performansları hala tutarlı değildir ve ayrıntıdan yoksundur. Sıcaklığın tüm polimerler üzerinde, metaller veya diğer malzemelerden çok daha fazla kritik bir etkiye sahip olduğu bilinmektedir. Bununla birlikte, aynı yük ve hız için bile dişlide oluşacak sıcaklık; test cihazı, dişli boyutu ve şekli, çevredeki ortama bağlı olarak büyük ölçüde değişir. Polimerler için, sıcaklıktaki küçük artışlar sürünme davranışı, çekme sınırı ve akma dayanımı gibi mekanik özelliklerde büyük değişimlere yol açmaktadır. Sıcaklık artışı, ısı iletkenliğinin düşük olduğu plastiklerde diş kayması ve diş eğilmesinin sonucu olarak içsel histerizise bağlı ısı birikiminden meydana gelmektedir. Plastik dişlilerde, hijyen ve temizliğin önemli olduğu gıda ve kağıt endüstrisi gibi alanlarda yağlamasız kullanılmaları nedeniyle çalışma esnasında oluşan sıcaklık artmaktadır. Yağlama, dişten ısı iletimini artırırken aynı zamanda sürtünmeyi de azaltarak dişli performansını olumlu yönde etkilemektedir. Metal dişliler için kullanılan düzeltme faktörleri, plastik dişlilerdeki gerilme üzerinde aynı etkiye sahip değildir ve plastik dişlilerde bu etkilerin yanında sıcaklık ve nem gibi ek faktörlerin göz önünde bulundurulması gerekmektedir [1], [5], [7].

Fiber takviyeli naylon dişlilerle yapılan çalışmada, yağlamalı ve kuru olarak çalışan çeşitli eş dişli kombinasyonları incelenmiş, yağlamalı olarak çalışan dişlilerde aşınmanın daha düşük olduğu ve yorulma dayanımının arttığı deneysel olarak belirlenmiştir [8].

Plastik dişlilerin hesaplamaları için Hertz eşitliğinde sıcaklık etkisi ile değişen elastisite modülü ve Poisson oranlarının düşünülmesi gereklidir. Elastisite modülü ve poisson oranı belirlenirken, dişin yüzey sıcaklığından farklı olan dişlinin gövde sıcaklığı bazı hesaplama metodları ile bulunur. Bununla birlikte, plastik dişliler için tartışılabilir değişiklikler de olabilir. Sonuç olarak bu teori diş deformasyonu genişçe geçerli değildir. 30 diş sayısına sahip naylon 66 dişlilerin BS 6168, Polypenco ve ESDU 68001 standartlarına göre yapılan hesaplamaları ile modüle göre iletilebilecek momentler hesaplanmıştır. Modifiye edilmiş halde, sıcaklık ve diğer faktörler de hesaba konulmuştur. Hesap yöntemleri arasında geniş farklılıklar olduğu bulunmuştur. Modülü 2 olan 40 diş sayısına sahip farklı 2 tipteki naylon 6 dişlilerin 60 °C yağlamalı durumda deneyleri gerçekleştirilmiş ve VDI 2545'e göre hesaplamaları yapılarak karşılaştırılmıştır. Göbek çapı daha küçük olarak tasarlanan dişlilerin yorulma ömürleri deneysel olarak daha fazla bulunduğu gibi, VDI 2545'de var olan düzeltme katsayısı ile yapılan hesaplamalarda da benzer sonuç elde edilmiştir [7], [9].

Plastik dişlilerin hesaplarına dair çeşitli standartlar geliştirilmiştir. Plastik dişlilerin yorulma davranışına pek çok faktörün etki etmesi nedeniyle, metal dişliler için önerilen düzeltme faktörlerinin tümünü kapsayan bir eşitliğin sağlanması zordur. Yelle, müsaade edilebilir diş dibi eğme gerilmesi (S_{La}) ile tanımlanan eşitliği önermiştir [10]. Plastik dişli hesapları için BS 6168, Polypenco, ESDU 68001, VDI 2545 (Verein Deutscher Ingenieure) en sık kullanılan yöntem ve standartları oluşturmaktadır. Bu standartlara göre eğilme gerilmesi hesabında kullanılan formüller Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Eğilme gerilmesi hesap formülleri [7], [9], [10], [11]

Hesap Yöntemi	Eğilme Gerilmesi Formülü	
Yelle	$S_{La} = S_{Lf} \frac{K_L K_H K_T K_V}{K_c K_S K_m K_F C_S}$	C_S Servis ömrü faktörü
		K_b Sürüş şekli faktörü
		K_C Üretim faktörü
		K_F Metal dişli yüzey pürüzlülük faktörü
		K_L Yağlama faktörü
		K_m Eşlenmiş dişlilerde malzeme faktörü
		K_S Malzeme faktörü
		K_V Hız faktörü (dinamik etkileri de içerir)
		S_{Lf} Deneyle belirlenen yorulma dayanımı
		BS6168
Y_ϵ Eğilme için temas oranı faktörü		
K_A Uygulama faktörü		
Polypenco	$S = \frac{2TP_d}{dbY} \cdot C_1 C_2$	C_1 Çalışma durumu düzeltme faktörü
		C_2 Sıcaklık düzeltme faktörü
		P_d Çapsal adım (in^{-1})
		Y Eğilme gerilmesi faktörü
ESDU 68001	$\sigma_{f,lim} = \frac{F_{t,lim} P_d}{Y K_T K_H K_E}$	$F_{t,lim}$ Sınır teğetsel kuvvet (N)
		P_d Çapsal adım (in^{-1})
		K_H Nem faktörü
		K_T Sıcaklık faktörü
		K_E Tasarım faktörü
		Y Eğilme gerilmesi faktörü
VDI 2545	$\sigma_F = \frac{F_t}{bm} \cdot Y_\beta Y_\alpha K_A \leq \sigma_{FN}$	Y_α Temas oranı düzeltme faktörü ($Y_\alpha = 1/\epsilon_\alpha$)
		Y_β Helis dişliler için düzeltme faktörü
		K_A Uygulama faktörü

Hachmann (ve bunun VDI 2736 standardında uygulanması), Takanashi ve Mao tarafından önerilen yöntemler ısı oluşumunu dikkate alan yöntemler olarak geliştirilmişlerdir. Histerizis kaybının hesaba konulduğu Takanashi ısı üretim modelinin teorik çözümle kıyaslandığında en doğru model olduğu, ardından VDI 2736 ve Mao modelinin geldiği belirlenmiştir. Bazı istisnalar bulunmasına rağmen polimer dişlilerin çalışma sıcaklığının belirlenmesi için sayısal yöntemler, genellikle sonlu elemanlar yöntemi ile termal analizine dayanır [12]. BS 6168, standardına göre dişlilerin diş dibi gerilmeleri ve

yorulma ömürleri hesaplanarak karşılaştırılmış ve BS6168 standardının deneysel sonuçları ile uyumlu olduğu saptanmıştır [13].

Metallerin iyi iletkenlik özellikleri plastik dişli/çelik dişli çiftlerinde sürtünmeden kaynaklanan ısının uzaklaştırılması kolaylaşmakta ve buna bağlı olarak plastik dişlilerdeki aşınma azaltılmaktadır. Asetal dişliler, standart plastik dişlilerden daha iyi kayma özelliklerine sahiptir ve bu nedenle daha az aşınırlar. Plastik dişliler, çelik veya toplam çalışma süresinin kısa olduğu mekanizmalarda demir dışı metal (bakır ve alüminyum alaşımları gibi) dişlilerle eşleştirilebilirler [14].

Polimerlerin metallerle eşleştirilmelerinde aşınmayı etkileyen en önemli faktörlerden biri metalin yüzey pürüzlülüğüdür. Paslanmaz çelik ile ekstrüzyon PA 6 eşleştirmesinin aşınma testleri sonucunda, çelik disklerde sürekli bir transfer filmi oluştuğu görülmüştür. Aşınmanın aksel yüzey pürüzlülük değeri 0 ile 1,5 µm arasında olduğunda arttığı ve aşınma hızı 1,5 ile 3 µm arasında olduğunda azaldığı tespit edilmiştir [15].

Dişli çarklar, ciddi aşınmaların neden olduğu diş kırığı nedeniyle kullanılmaz hale gelmektedir. Aşınma, yüksek yüzey basıncının neden olduğu deformasyonlardan kaynaklanır. Diş yüzeyleri altında oluşan elastik deformasyonun yaklaşık miktarlarının belirlenmesi, dişli gibi zorlanmış makine elemanları için plastik limite kadar çok önemlidir. Modül, dişli sayısı ve profil kayma faktörü çevrim sayısının oranının, dişlilerdeki aşınma üzerine etkisi incelenmiştir [16].

Polimerik dişlilerin temas davranışları, ABAQUS yazılım paketi ile sonlu elemanlar yöntemi ve BS ISO 6336 standardına göre yapılan analitik hesaplamalar kullanılarak analiz edilmiştir. Sonuç olarak, BS ISO 6336'ya göre yapılan simüle edilmiş değerler ve hesaplamalar karşılaştırılmış ve özellikle analitik olarak elde edilen değerlerin temas etkisinden bağımsız olduğu bulunmuştur. Simülasyonlardan elde edilen gerilmeler ile analitik olarak hesaplanan gerilmeler arasındaki farklar, yük dağılımının ve sürtünmenin (özellikle kuru çalışmada) etkilerinin olduğunu göstermektedir. Polimerik dişli standartları hazırlanırken dişlerde oluşan aşırı deformasyon dikkate alınmalıdır [17].

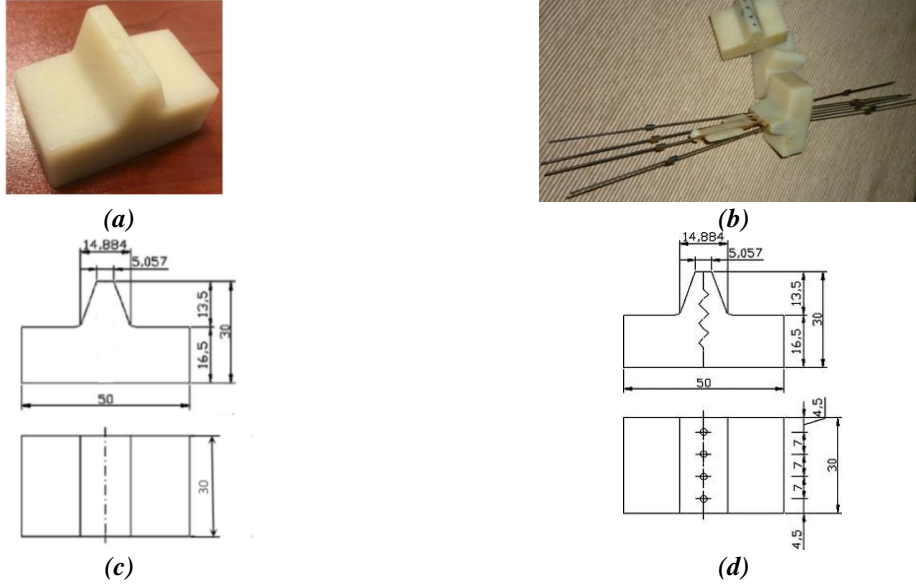
Carlos ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada çeşitli yağlama koşullarında sonlu elemanlar yöntemi ile termal analizler yapılmıştır. Dişli yüzeyinin gövde sıcaklığı ve yüzey sıcaklığının tahmin edilmesi ve tespit edilmesi sonuçlarının, literatür çalışmalarından elde edilen sonuçlarla uyumlu olduğu görülmüştür. Sonlu elemanlar modeli, mekanik özellikleri kritik sıcaklığa bağlı olan polimerik dişlilerin yük taşıma kapasitelerini tahmin etmek için yüksek doğrulukla kullanılabilir [18].

Diş yüzeyinde ve diş gövdesinde oluşan sıcaklık çalışma koşullarına göre değişir, bu da aynı S-N eğrisi verilerinde farklı yüklenme durumlarında farklı sıcaklıklar elde edileceği anlamına gelir. Sıcaklığın polimerler üzerindeki önemli etkisi nedeniyle; sıcaklık kontrollü olmayan, hatta farklı yükler ile elde edilen deney sonuçlarının doğrudan karşılaştırılması mümkün değildir. 30 °C, 50 °C ve 70 °C'de ve üç tork değeri (1,0Nm - 1,2 Nm -1,4 Nm) altında çalışan POM dişlilerde sıcaklığın yorulma ömrü üzerindeki önemli etkisi ortaya konulmuştur. Düşük sıcaklıkta çalışma durumunda, POM dişlilerinin yorulma ömrü büyük ölçüde iyileşmektedir [19].

Polimer dişlilerin çalışma sıcaklığı, sayısal veya analitik yöntemlerle belirlenebilir. Bu yöntemlerin büyük çoğunluğunda, dişlilerin sıcaklık artışı gövde ve yüzey sıcaklıklarının artışı ile tanımlanır. Yüzey sıcaklığı, dişli yüzeylerinin sürtünmesiyle ilgili iken gövde sıcaklığı polimerlerin ısı iletkenliklerinin düşük olmasına bağlı olarak sistemde zaman içerisinde biriken ısı nedeniyle artan sıcaklığı ifade eder. Yüzey sıcaklığı, ısı kaynağı etrafındaki yerel, neredeyse anlık sıcaklık artışını tanımlar. Her iki sıcaklık da polimer dişlilerde dişlilerin yorulma mukavemetini azaltır. Toplam sıcaklığının artması polimer malzemenin akmasına neden olabilir [20].

III. TEORİK BULGULAR VE DENEYSEL ÇALIŞMALAR

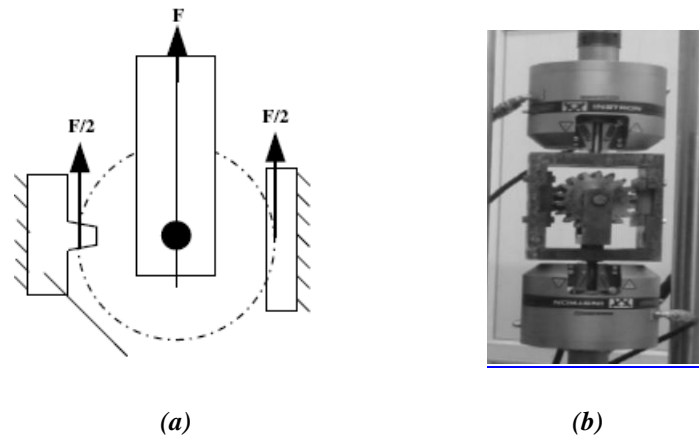
PA6'dan modül 6 olarak üretilmiş dişliler, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mekanik Laboratuvarında Instron 8801 cihazında çeki dalgalı değişken durumunda 10 Hz frekans ve %25 pozisyon değişiminde sabitlenerek denenmişlerdir. Enjeksiyon kalıplama yoluyla üretilen numuneler Şekil 4'te görülmektedir.



Şekil 4. Poliamid 6 numuneler (a) Takviyesiz numuneler, (b) Takviyeli numune, (c) Takviyesiz numune ölçüleri, (d) Takviyeli numune ölçüleri

DIN 17223 (TS2500-1, EN 10270 SM) standartlarına uygun olarak üretilmiş B sınıfı yaylık çelik tellerden 1,2 mm kalınlığındaki tel dış çap 5 mm olacak şekilde 7 sarım olarak sardırılmış ve 200 °C'de tavlannmıştır. Tellerin kopma mukavemeti, üretici tarafından yapılan testlerde 1920 – 2160 N/mm² olarak belirlenmiştir. Yayların kalıp içerisinde gerilmesini sağlamak için uçlarına tekstil makine sanayinde kullanılan dış çapı 6 mm, iç çapı 1,25 mm olan pimler kaynatılmıştır. Pimler dış dibine sarımlar gelecek şekilde sarım bitiminden 75 mm mesafede sabitlenmiştir.

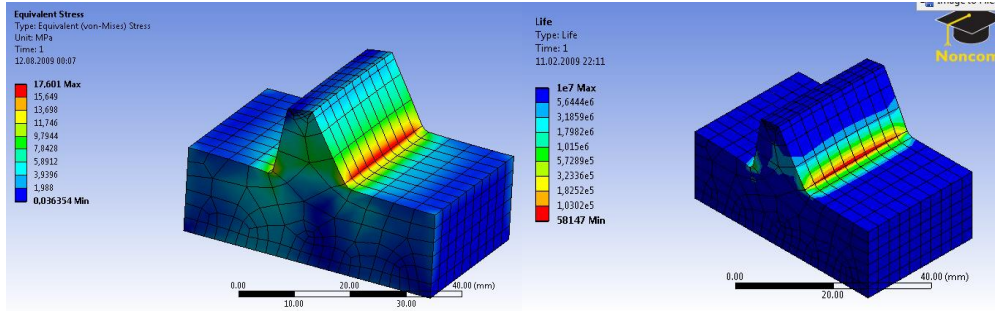
Numunelerin test cihazına bağlanması için tasarlanan aparatın yük dağılımı (Şekil 5.a) ve test cihazı üzerinde aparatın görüntüsü (Şekil 5. b) aşağıda gösterilmiştir. Test edilecek dişlinin eş dişlisi 42CrMo4 (AISI 4140) çelikten üretilmiştir. Yükün dengeli şekilde dağıtılması için karşı tarafına 3 dişten oluşan aynı çelikten kremayer dişi yerleştirilmiştir.



Şekil 5. Numuneleri deney cihazına bağlamak için kullanılan aparat (a) Aparatta kuvvet dağılımı, (b) Test cihazına bağlanan aparat [4]

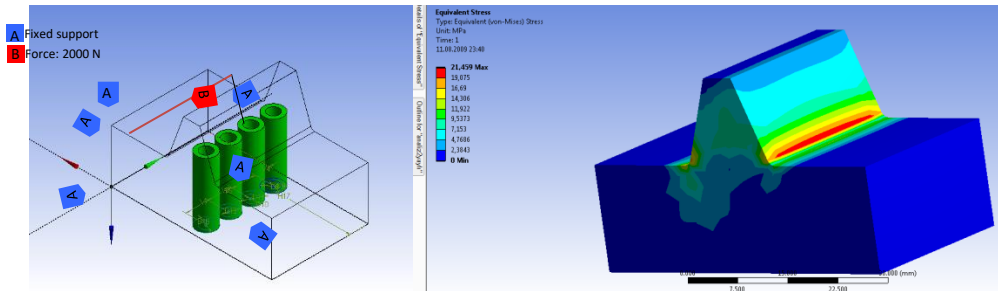
Yayların 4 mm çekilmesi ile her bir yayda 111,16 N'luk bası kuvvetinin oluşacağı hesaplanmıştır. Yayların elastikiyetlerinin bozulmadığı bu yüklemenin tamamen geri gelmesi durumunda, dış dibinde 0,996 MPa'lık bir öngerilme bası gerilmesi oluşacaktır. Ancak yaylar tamamen geri gelmeyeceği için sistemde oluşacak öngerilme daha düşük değerde olacaktır. Bu nedenle teorik hesaplamalarda dış dibi gerilmeleri 0,5 MPa düşürülerek hesaplamalar yapılmıştır. Çeşitli teğetsel yüklerde %25 pozisyon değişimi ve tam hasar durumları için deneylerle bulunan ömür değerleri deneysel olarak belirlenmiştir.

42CrMo4 çelik eş dişli ile çalışan PA6 kremayer düz dişli numuneler ANSYS Workbench programında katı modellenmiş ve yorulma analizleri Static Structural modunda gerçekleştirilmiştir. Toplamda 16179 düğüm olacak şekilde meshlemede Tetrahedron metodu kullanılmıştır. Tetrahedron elementler geometriye patch conforming tekniği ile uygulanmıştır. Ayrıca mesh kalitesini belirlemek amacıyla skewness değerlendirme kriteri kullanılmıştır. 1500 N'luk teğetsel yük için dış dibi gerilmesi dağılımı ve 2000 N'luk teğetsel kuvvet uygulandığında numunenin ömrü için yapılan simülasyonlar Şekil 6'da görülmektedir.



Şekil 6. (a) 1500 N'luk teğetsel kuvvet ile dış dibi gerilmeleri, (b) Poliamid 6 dişlinin 2000 N'luk teğetsel yük altında ömrü

ANSYS modellemesinde numune içerisine yayların yerleştirilmesi, yay şekli ile başarılammıştır. Bu nedenle yaylar, silindirik boru şeklinde modelize edilmiştir (Şekil 7.a). Teğetsel kuvvet dişin yan yüzeyi boyunca dağıtılmış ve dişli deneylerin gerçekleştirildiği gibi alt ve yan yüzeylerinden sabitlenmiştir. Malzeme özellikleri, deneysel çalışmalarda kullanılan PA6 olarak girilmiştir. Gerilme dağılımı incelendiğinde takviyesiz numunelerde bası tarafında çeki bölgesine yakın değerler bulunmuştur. Öngerilme dış dibine dağıtılmış, bası gerilmesi şeklinde modellenmiştir. Takviyeli numunelerin 2000 N'luk teğetsel yük etkisi altında modellenmesi ile en yüksek dış dibi gerilmesi takviyesiz numunede çeki bölgesinde 23,108 MPa olarak bulunmuştur (Şekil 7.b). Takviyeli numunede çeki bölgesinde en yüksek değer 21,459 MPa bası bölgesinde -22,483 MPa olarak belirlenmiştir. Bu bulgu, teorik olarak öngerilmelinin dış dibinde çeki bölgesinde beklenen eğilme gerilmesinin azalması ile uyumludur. Bası bölgesinde daha fazla gerilme oluşsa da PA6'nın bası dayanımının daha yüksek olması nedeniyle hasar başlangıcının çeki bölgesinde gerçekleşmesine neden olmaktadır.



Şekil 7. (a) Takviyeli numunenin modellenmesi, (b) 2000 N için öngerilmeli numunelerde dış dibi gerilmeleri

BS 6168 standardında göre; standartta için çeşitli yüklemelerde dişli kutusu açık, çalışma esnasında nemde bir değişiklik olmadığı kabul edilerek 10 Hz frekanslarda çeşitli teğetsel kuvvetlere göre hesap yapılmıştır. Standartta PA6 ve POM için Wöhler eğrileri mevcuttur. PA66'nın PA 6'dan farkı, daha yüksek sıcaklıklara dayanıklı olması ve daha yüksek elastisite modülü değerine sahip olmasıdır. BS 6168 standardında dişli malzemesi katsayısı, maksimum gövde sıcaklığı gibi büyüklükler PA6 ve PA66 malzemeler için aynı katsayılar verilmiştir. BS 6168 standardına göre PA66 ve PA6 için maksimum çalışma sıcaklığı 90 °C olarak belirlenmiştir. Gövde sıcaklığı 80 °C olarak hesaplanarak Wöhler eğrisi üzerinden yorulma dayanımı değerleri bulunmuştur. Bunun yanı sıra standartta yer alan Wöhler eğrisi, modül 3, ilerleme hızı 10 m/s ve olan yağlamasız PA66/çelik düz dişli çark eşleşmesi içindir.

Bir önceki çalışmada sadece 1500 N ve 2000 N'luk teğetsel kuvvet etkisi altında takviyesiz numunelerin sonuçları karşılaştırılmıştır[13]. Bu çalışmada, 1750 N ve 2250 N'luk teğetsel yük ile takviyesiz numunelere ait veriler genişletilmiş ve takviyeli numunelerin sonuçları arasındaki karşılaştırmalar da eklenmiştir. BS6168 standardında verilmiş Wöhler eğrilerinde minimum 10^5 devir esas alınmıştır. 10^6 devirde 1300 N'luk teğetsel kuvvet standarda göre güvenilirdir. 2000 N'luk teğetsel kuvvet için 100000 devire ulaşamamaktadır. 2000 N ve daha büyük teğetsel kuvvet için eğri uzatılarak yaklaşık değerler bulunmuştur.

BS 6168 standardı ile teorik hesaplamalar, ANSYS modellemesi ve gerçekleştirilen deneylere göre elde edilen sonuçlar Tablo 2'de verilmiştir. Teğetsel kuvvet olarak 1500 N, 1750 N, 2000 N ve 2250 N olmak üzere dört değer için hesaplamalar yapılmıştır. Takviye durumu da tablo üzerinde Tz takviyesiz, T takviyeli kısaltmaları ile ifade edilmiştir. Takviyesiz numunelerde yük tekrar sayıları, 1500 N'luk teğetsel yük için BS 6168 standardına göre 10^6 bulunurken, ANSYS'e göre 1343871, gerçekleştirilen deneylerle ise 1184899 yük tekrar sayısı bulunmuştur. 2250 N'luk teğetsel yük için BS 6168 standardına göre standartta yer alan Wöhler eğrisinin uzatılması ile 15000 yük tekrar sayısı bulunmuştur. Aynı teğetsel yük için ANSYS'e 31241 yük tekrar sayısı, gerçekleştirilen deneylerle 22190 yük tekrar sayısı bulunmuştur. Artan teğetsel yük ile yük tekrar sayısı azalmaktadır.

Tablo 2. Deneysel, teorik ve ANSYS simülasyonu sonuçları

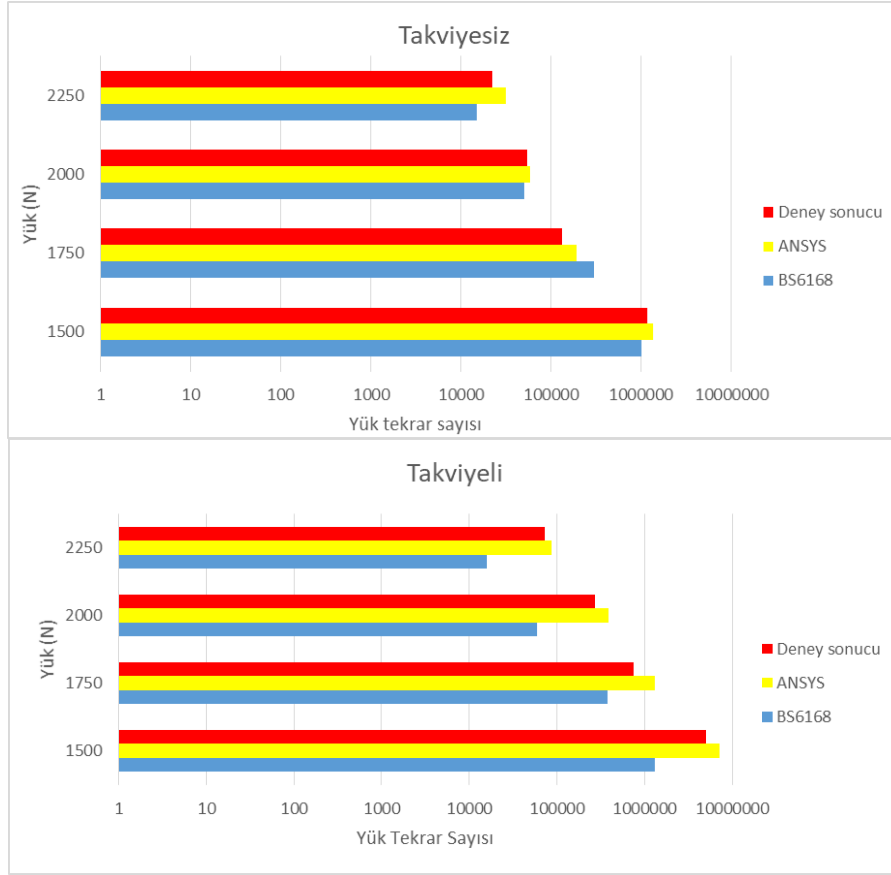
	Yük (N)	Takviye durumu ^a	BS6168	ANSYS	Deney sonucu
Diş dibi gerilmesi (MPa)	1500	Tz	22,53	17,576	19,43
Yük Tekrar sayısı		Tz	10^6	1343871	1184899
Diş dibi gerilmesi (MPa)	1750	T	22,03	15,153	18,93
Yük Tekrar sayısı		T	$1,3 \times 10^6$	7123494	5000000^c
Diş dibi gerilmesi (MPa)	1750	Tz	25,6	19,339	24,39
Yük Tekrar sayısı		Tz	3×10^5	192547	132811
Diş dibi gerilmesi (MPa)	2000	T	25,1	17,842	23,89
Yük Tekrar sayısı		T	$3,8 \times 10^5$	1291652	750801
Diş dibi gerilmesi (MPa)	2000	Tz	30,19	23,108	25,9
Yük Tekrar sayısı		Tz	50000^b	58147	53893
Diş dibi gerilmesi (MPa)	2250	T	29,69	21,459	25,4
Yük Tekrar sayısı		T	60000	389423	272963
Diş dibi gerilmesi (MPa)	2250	Tz	34,18	27,48	29,27
Yük Tekrar sayısı		Tz	15000^b	31241	22190
Diş dibi gerilmesi (MPa)	2250	T	33,68	25,872	28,77
Yük Tekrar sayısı		T	16000	86961	71897

^a Tz: Takviyesiz T: Takviyeli

^b Wöhler eğrisi 10^5 çevrimden itibaren verildiği için eğri uzatılarak yaklaşık bulunan değerdir

^c %25 pozisyon değişimi gerçekleşmemiştir.

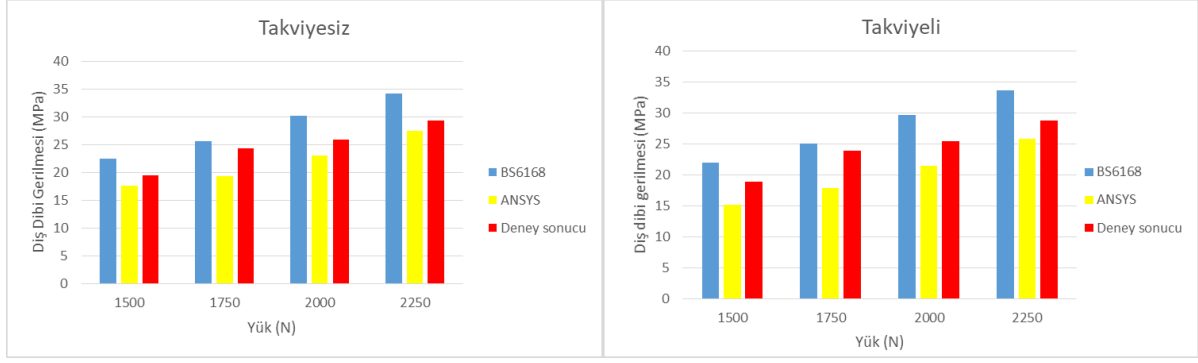
Gerçekleştirilen deneyler, BS6168 standardına göre yapılan hesaplamalar ve ANSYS modellemesi ile elde edilen verilerin kıyaslanması yük tekrar sayısı bakımından takviyesiz ve takviyeli numuneler için Şekil 8’de verilmiştir.



Şekil 8. Takviyesiz ve takviyeli numunelerin çeşitli yükler altında deneysel ve teorik olarak yük tekrar sayılarının karşılaştırılması

Takviye malzeme kullanımı, her hesap yöntemi için tüm teğetsel yük değerlerinde takviyesiz malzemeye göre ömür artışı sağlamaktadır. 1500 N’luk teğetsel yük için BS 6168 standardına göre $1,3 \cdot 10^6$ yük tekrar sayısı bulunurken, ANSYS’e göre 7123494 yük tekrarı elde edilmiş, gerçekleştirilen deneylerle $5 \cdot 10^6$ yük tekrarında %25 pozisyon değişimi sağlanmadan deney sonlandırılmıştır. 2250 N’luk teğetsel yük için BS 6168 standardına göre standartta yer alan Wöhler eğrisinin uzatılması ile 16000 yük tekrar sayısı bulunurken; ANSYS’e 86961, gerçekleştirilen deneylerle ise 71897 yük tekrar sayısı bulunmuştur.

Takviyesiz ve takviyeli numunelerin çeşitli yükler altında deneysel ve teorik olarak hesaplanan dış dibi gerilmelerinin karşılaştırılması Şekil 9’da verilmiştir. Takviyesiz numunelerde 1500 N’luk teğetsel yük için dış dibi gerilmeleri BS 6168 standardına göre 22,53 MPa bulunurken, ANSYS’e göre 17,58 MPa ve gerçekleştirilen deneylerle ise 19,43 MPa olarak bulunmuştur. 2250 N’luk teğetsel yük için BS 6168 standardına göre 34,18 MPa, ANSYS’e göre 27,48 MPa, gerçekleştirilen deneylerle ise 29,27 MPa olarak bulunmuştur. Teğetsel kuvvetin artması ile her yöntemde hesaplanan dış dibi gerilmesi artmaktadır. BS6168 standardına göre bulunan dış dibi gerilmeleri diğer iki yöntemle bulunan değerden daha yüksektir.



Şekil 9. Takviyesiz ve takviyeli numunelerin çeşitli yükler altında deneysel ve teorik olarak diş dibi gerilmelerinin karşılaştırılması

Takviyeli numunelerde 1500 N'luk teğetsel yük için diş dibi gerilmeleri BS 6168 standardına göre 22,03 MPa bulunurken, ANSYS'e göre 15,13 MPa ve gerçekleştirilen deneylerle ise 18,93 MPa olarak bulunmuştur. 2250 N'luk teğetsel yük için BS 6168 standardına göre 33,68 MPa, ANSYS'e göre 25,872 MPa, gerçekleştirilen deneylerle ise 28,77 MPa olarak bulunmuştur. ANSYS modellemesi ile en düşük diş dibi gerilmeleri bulunmuştur.

IV. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında önerilmeli poliamid 6 dişlilerin yorulma ömürleri araştırılmış, teorik ve sonlu elemanlar yöntemiyle hesaplanan deneysel sonuçlarla karşılaştırılması yapılmış ve elde edilen önemli sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

- BS6168 standardı, özellikle çeşitli polimer türleri, cam ve karbon elyaf takviyeli naylon gibi yüksek performanslı polimerlerden üretilen dişlilerin birbirleri ile ve demir esaslı malzemeler ile eş dişli olarak çalışmalarını durumlarına dair herhangi bir veri içermemektedir. BS 6168 standardına göre hesaplamalar esnasında nem faktörü, sıcaklık faktörü gibi değişkenlere bağlı olarak tablo ve grafiklerin kullanılması gerekmektedir. Bunun yanı sıra standart sadece belli boyutlardaki PA66 ve POM dişliler için belirli çalışma koşulları altındaki verilerini içermektedir. Dolayısıyla bu standart metal olmayan dişlilerin hesaplamalarında tasarımcıyı ciddi ölçüde sınırlamakta ve hesaplamalar uzun zaman almaktadır.
- BS 6168 standardında 10 m/s temel dairesi ilerleme hızına sahip yağlamasız çalışma hali için modül 3 olan PA66/çelik dişli eşleşmesine dair Wöhler eğrisi ile sınır çevrim sayıları belirlenmiştir. Deneysel çalışma ve ANSYS modellemesinde ise modül 6 ve temel dairesi ilerleme hızı 3,77 m/s PA6/çelik dişli kombinasyonu esas alınmıştır. BS 6168 standardında PA6 ve PA66 için aynı veriler kullanılmaktadır. BS 6168 ile elde edilen sonuçların deneysel çalışmalar ve ANSYS modellemesinden farklı bulunmasının nedeni modül ve ilerleme hızının aynı olmamasına dayanmaktadır.
- BS 6168 standardına göre yapılmış teorik hesaplamalar, ANSYS modellemesi ve gerçekleştirilen deneylerle elde edilen bulguların özellikle takviyesiz numunelerde yük tekrar sayısı değerlerinin uyumlu olduğu bulunmuştur.
- Takviyeli numunelerin yük tekrar sayıları karşılaştırıldığında, takviye malzeme kullanımının her hesap yöntemi için tüm teğetsel yük değerlerinde takviyesiz malzemeye göre ömür artışı sağladığı bulunmuştur. Takviyeli numuneler için ANSYS modellemesi ile elde edilen verilerin BS6168 standardı ile elde edilen verilere göre deneylerle elde edilen değerlere daha yakın sonuçlar verdiği bulunmuştur.

- Teğetsel kuvvetin artması ile her yöntemde hesaplanan diş dibi gerilmesi artmakta ve buna bağlı olarak da yük tekrar sayısı gerek takviyesiz, gerekse takviyeli numunelerde azalmaktadır. Hem takviyesiz hem de takviyeli numuneler için BS6168 standardına göre bulunan yük tekrar sayıları genel olarak diğer iki yöntemle bulunan değerden daha düşüktür.
- 4 sıra yayın çekilmesi ve serbest bırakılması ile oluşan öngerilme 0,5 MPa olarak hesaplanmıştır. Lewis modeli ve BS6168 standardı için takviyeli numunelerde diş dibi gerilmeleri 0,5 MPa azaltılarak hesaplamalar yapılmıştır. ANSYS modellemesinde dişe yerleştirilen metal boruların da teğetsel yükün bir kısmını karşılayarak diş dibinde 2 MPa kadar daha düşük gerilmeye neden olduğu bulunmuştur. Öngerilmeli numunelerin modellenmesi için ANSYS ile modelleme yapılması daha uygundur.

TEŞEKKÜR: Bu çalışma, TÜBİTAK-Kariyer Geliştirme Programı tarafından desteklenmiştir. (Proje No: 107M603 Poliamid Dişlilerin Yorulma Dayanımlarını Yay Takviyesi ile Arttırma) Deneyler, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Mekanik Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

V. KAYNAKLAR

- [1]. H. Can, “Öngerilmeli plastik dişli çark tasarımı,” Doktora Tezi, Makine Eğitimi Bölümü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2004.
- [2]. A. W.Birley, R. J.Heath and M. J.Scott, *Plastics Materials Properties And Applications*, 2nd Edition, New York, ABD: Chapman And Hall, 1988, pp. 198-199.
- [3]. A. Uğuz, *Kırılma Mekaniğine Giriş*, Bursa, Türkiye: Uludağ Üniversitesi Basımevi, 1996, ss. 168.
- [4]. F. Mendi, H. Can H and M. K. Külekci, “Fatigue Properties of Polypropylene Rack Gear Reinforced With Metallic Springs,” *Materials and Design*, vol. 27, no.5, pp. 427-433, 2006.
- [5]. ANON, “Plastic gear design basics,” *Gear Technology*, vol. 13, no.4, pp. 1-6, 1996.
- [6]. A. Bravo and D. Koffi, L. Toubal,F. Erchiqui, “Life and damage mode modeling applied to plastic gears,” *Engineering Failure Analysis*, vol.58, no.1, pp.113-133, 2015.
- [7]. D. Walton and Y. W.Shi, “A comparison of ratings for plastic gears,” *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part C. Mechanical Engineering Science*, vol. 203, no. 1, pp.31-38, 1989.
- [8]. G.Crippa and P.Davoli, “Comparative fatigue resistance of fiber reinforced nylon 6 gears,” *Journal of Mechanical Design, Transactions Of the ASME*, vol. 117, no.1, pp. 193-198, 1995.
- [9]. G. Crippa, P. Davoli and C.Gorla, “Developments on rating methods for nylon 6 gears,” *American Society of Mechanical Engineers, Design Engineering Division DE*, vol. 88, no.1, pp. 745-751, 1996.
- [10]. H. J. M. Yelle, “Design of thermoplastic gears with an involute profile”, PhD thesis, Mechanical Engineering Department, University of Waterloo, Waterloo, ON, Canada, 1977.
- [11]. *Non-metallic spur gears*, BS 616, 1987.

- [12]. V. R. Casanova and C. M. C. G. Fernandes, "Comparison of analytical methods to predict the bulk temperature in polymer spur gears," *Mechanism and Machine Theory*, vol. 173, no.104849, pp.1-20, 2022.
- [13]. H. Can and E. Tan, "Comparison of The Fatigue Life of PA 6 Gears," *European International Journal of Science and Technology*, vol. 7, no. 3, pp. 65-74, 2018.
- [14]. S.Akkurt and M.Erten, "Analysis of plastic gear wheels in terms of calculation and construction," *6th International Machine Design and Manufacturing Congress*, 1994, pp. 453-462.
- [15]. M. Aksulu and M. Palabiyik, "The effect of surface roughness on the wear of polyamide 6," *Journal of Istanbul Technical University*, vol. 8, no.2 pp. 63-71, 2011.
- [16]. E. Gullu and T. G.Yilmaz, "Investigation of surface pressure and deformations in internal and external gear wheels," *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, vol. 32, no.2, pp. 585-591, 2017.
- [17]. M. Karimpour, K. D. Dearn and D. Walton, "A kinematic analysis of meshing polymer gear teeth," *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials: Design and Applications*, vol. 224, no. 3, pp. 101-115, 2010.
- [18]. M.C. G. F.Carlos,M.P.R.Diogo,C. M.Ramiro,M.Luis and H. O. S. Jorge,"Finite element method model to predict bulk and flash temperatures on polymer gears," *Tribology International*, vol. 120, no.1, pp. 255–268, 2018.
- [19]. M. Kalin and A. Kupec, "The dominant effect of temperature on the fatigue behaviour of polymer gears," *Wear*, vol.376–377, no. B, pp. 1339-1346, 2017.
- [20]. A.J.I.,Housz, "Scuffing as a factor in the design of nylon gears," *Wear*, vol.10, no.2, pp. 118-126, 1967.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Ticari Bal Kullanılarak ZnO Nanopartiküllerinin Yeşil Sentezi, Yapısal Karakterizasyonu ve Biyolojik Aktivitelerinin İncelenmesi

 Simge Nur GENÇAY^a,  Sefa DURMUŞ^{b,*},  Aslıhan DALMAZ^c,  Görkem DÜLGER^d

^a Kimya Bölümü, Fen Edebiyat Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

^b Kimya Bölümü, Fen Edebiyat Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

^c Doğal, Bitkisel Ürünler/Kozmetik Ürünler, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

^d Tıbbi Biyoloji Bölümü, Tıp Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

* e-posta adresi: sefadurmus@duzce.edu.tr

DOI:10.29130/dubited.1100628

ÖZ

Nanopartiküllerin sentezi, yeni teknolojilerin geliştirilmesiyle birlikte ilgili potansiyel uygulamalar için yeni bir araştırma alanıdır; özellikle, çevre dostu nanomalzemeler, nanobilim içinde büyüyen bir alan haline gelmiştir. Son zamanlarda, bitki özleri ve arı ürünleri kullanılarak metal oksit nanopartiküllerin sentezi, nanobilim ve nanobiyoteknoloji alanında, geleneksel fizikokimyasal yaklaşımlara göre sayısız avantajlarla ilgi çekici bir konu olarak ortaya çıkmıştır. Bu çalışmada, çinko oksit nanopartiküllerin (ZnO NP'in) sentezi için, kestane (*Castanea sativa*) balı kullanarak yeni, "daha yeşil", biyolojik olarak yönlendirilmiş, düşük maliyetli ve çevre dostu bir yöntem geliştirildi. ZnO NP'lerin sentezi için öncü bileşik olarak ticari kestane balı kullanılırken, metal tuzu olarak ise çinko nitrat heksahidrat kullanıldı. ZnO NP'nin yapıları, Fourier Dönüşümü Kızılötesi Spektroskopisi (FT-IR), X-ışını Kırınımı (XRD), Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve Enerji Dağılımlı X-ışını analizi ile araştırıldı. Elde edilen ZnO NP'nin bakteri ve funguslara karşı antimikrobiyal aktiviteleri kuyu difüzyon yöntemi ile ölçüldü ve sonuçlar kaydedildi.

Anahtar Kelimeler: Kestane Balı, Nano metal oksit, ZnO NP, Biyolojik aktivite, Yeşil kimya

Green Synthesis, Structural Characterization and Investigation of Biological Activities of ZnO Nanoparticles Using Commercial Honey

ABSTRACT

Synthesis of nanoparticles is a new field of research for potential applications with the development of new technologies; In particular, environmentally friendly nanomaterials have become a growing field within nanoscience. Recently, the synthesis of metal oxide nanoparticles using plant extracts and bee products has emerged as an interesting topic in the field of nanoscience and nanobiotechnology, with numerous advantages over traditional physicochemical approaches. In this study, a new, "greener", bio-directed, low-cost and environmentally friendly method was developed for the synthesis of zinc oxide nanoparticles (ZnO NP) using chestnut (*Castanea sativa*) honey. Commercial chestnut honey was used as the precursor compound for the synthesis of ZnO NP, and zinc nitrate hexahydrate was used as the metal salt. The structures of ZnO NP were investigated by Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR), X-Ray Diffraction (XRD), Scanning Electron

Microscopy (SEM) and Energy Dispersive X-ray analysis. The antimicrobial activities of the obtained ZnO NP against bacteria and fungi were measured by the well diffusion method and the results were recorded.

Keywords: Chestnut Honey, Nano metal oxide, ZnO NP, Biological activity, Green chemistry

Bu çalışma yüksek lisans öğrencisi Simge Nur GENÇAY'ın tezinden türetilmiştir.
Geliş: 08/04/2022, Düzeltme: 17/04/2022, Kabul: 16/05/2022

I. GİRİŞ

Son yıllarda nanoteknolojinin gelişimine bağlı olarak nanometaller üzerinde yapılan çalışmaların önem kazanması birçok alanda nanometre boyutlarında materyaller geliştirmeyi hedefleyerek araştırma konusu olmuştur [1]. Teorik kavram olarak nanoteknoloji ilk Feynman tarafından öne sürülmüş olsa da Ulusal Nanoteknoloji ve Bilim Vakfı'na göre tarihsel gelişime bağlı olarak nanoteknoloji kavramı, maddeyi gerek moleküler düzeyde gerekse ayrı ayrı atomik olarak keşfetme, kontrol sağlama ve maddenin kimliği hakkında aydınlatma yeteneği olarak tanımlanmıştır [2].

Teknolojinin sürekli gelişmesine bağlı olarak insanlar, doğanın sunduğu birleştirici güç ile bilimsel çalışmalarda birçok doğal ürün kullanmıştır. Bu doğal ürünlerin, insan vücudunda rahatsızlıklara cevap verebilmesi de aslında doğal olarak sentezlediği kimyasal maddelerden ve bu maddelerin insan vücudunda oluşturduğu fizyolojik değişikliklerden kaynaklanmaktadır [3].

Geçmişten günümüze kadar uzanan doğal ürünlerin bu fizyolojik ve kimyasal değişikliklerinin faydası günümüze yeşil sentez olarak yansımıştır. Yeşil sentezin çevre dostu olmasının yanında, doğadan kolaylıkla ulaşılabilir olması, çalışmaları daha ekonomik hale getirmiş ve bu alandaki çalışmalar günümüzde daha fazla önem kazanmıştır [4-6]. Bu yöntem ile kimyasalların çevreye verdiği zararın azaldığı fark edilmiş olup, çevre koruma örgütü ve endüstri tarafından kabul gören on iki temel ilkeye bağlı olarak farklı alanlarda özellikle nanopartikül boyutta üretim ve kullanımın artışı gözlenmiştir [7].

Kimyasal metotlar kullanılarak üretilen nanopartikül sentezinde toksik kimyasallar çevreye ve canlılara ciddi zararlar vermektedir [8]. Çeşitli ekstraktlar ve metaller (Ag, Fe, Cu, Zn, Au, Ti gibi geçiş metalleri) kullanılarak nanopartikül sentezi içeren birçok çalışma yapılmaktadır [9]. Yapılan çalışmalar göz önünde bulundurulduğunda yeşil sentez; insanı temel alan, özellikle ekonomiyi, beraberinde çevreyi hedefleyen ve bunu en uygun şekilde karşılayan bir uygulama şeklidir. Örneğin, bal gibi doğal bir kaynağın hem ekonomi hem de gıda ve sağlık alanında kullanılabilirliği, içeriğinin oldukça zengin olması, fiziksel ve kimyasal yapısı gereği; toksik olmaması, kolay ulaşılabilir olması, bileşenindeki fruktoz – glikoz yapıları, ajan olarak biyouyumlu olması dünya çapında da detaylı araştırmalar yapılmasına neden olmuştur ve araştırma konusu olarak ilgi görmüştür [9-11]. Bu nedenle nanopartiküllerin yeşil sentezinde indirgen ajanı olarak araştırmalarda kullanılmaktadır [12].

Bu çalışmada, indirgen ve stabilize eden ajan olarak doğal bir ürün olan kestane balı (şeker oranının yüksek olması sebebiyle) aracılığıyla çinko nitrattan yararlanılarak ZnO NP'nin yeşil sentezi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen ZnO NP'nin yapıları Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FT-IR) ve X-Işını Kırınım (XRD) yöntemi kullanılarak karakterize edilmiştir. ZnO NP'nin morfolojileri Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) ile tanımlanmış olup, elementel bileşenleri ise Enerji Dağılımlı X-Işını Analizi (EDX) ile belirlenmiştir. Ayrıca ZnO NP'nin antimikrobiyal aktiviteleri incelenerek kuyu difüzyon yöntemi ile insan patojenlerine karşı *in vitro* olarak taranmıştır.

II. MATERYAL ve METOT

A. MATERYAL

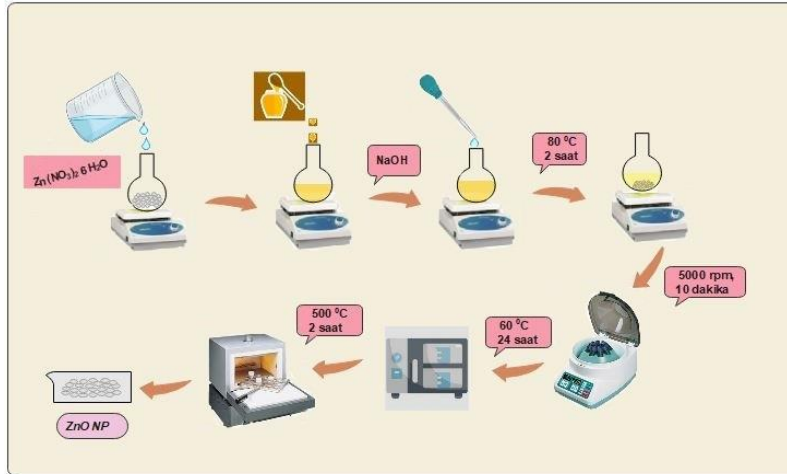
Çalışmada kullanılan kimyasalların tamamı ek bir saflaştırma işlemi gerçekleştirilmeden kullanıldı. Çinko nitrat heksahidrat ($Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$, Fisher Chemical), sodyum hidroksit (NaOH, Merck) ve etanol (C_2H_5OH , Merck) çeşitli firmalardan temin edildi. Araştırma sürecinde kullanılan doğal kestane balı (Türk Gıda Kodeksi'ne uygun), yerel marketlerden temin edildi.

Sentezlenen ZnO NP'nin kristal faz bileşimleri [Panalytical Empryean difraktometre ve Cu K α radyasyon kaynağı kullanılarak] X-ışını kırınımı ile belirlendi. ZnO NP'nin boyutları, morfolojileri ve elementel bileşimleri, FEI Quanta FEG 250 kullanılarak gerçekleştirilen taramalı elektron mikroskobu/enerji dağılımlı X ışını analizi ile doğrulandı. Numunelerin kızılötesi spektrumları ise, Perkin Elmer Spectra Two UATR marka cihaz kullanılarak belirlendi. Kalsinasyon işlemi için Nabertherm marka B180 model kül fırını kullanıldı. Ayrıca deneyler sırasında Water Story marka Dream Plus I Finesta model deiyonize su cihazı kullanıldı. Faz ayrımını sağlamak için VWR® marka santrifüj kullanıldı.

B. METOT

B.1. ZnO NP'in Yeşil Sentezi

Sıcaklığı 80 °C'de sabit tutulan 3 g $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ 100 mL deiyonize suda tamamen çözüldükten sonra bu çözeltinin üzerine 3 g kestane balı ilave edildi. Daha sonra çözeltinin pH'ı 1M NaOH ile 10'a ayarlandı. 80 °C sıcaklıkta 2 saat manyetik karıştırıcı ile karıştırıldı ve tamamen homojen bir karışım elde edildi. Elde edilen homojen karışıma 5000 rpm'de 10 dakika santrifüj işlemi uygulandıktan sonra bir kez deiyonize su, iki kez etanol ile yıkama işlemi yapıldı. Elde edilen ürün 60 °C'de 24 saat etüvde kurumaya bırakıldı ve daha sonra 500 °C'de 2 saat süre ile kalsinasyon işlemine tabi tutuldu. Oluşan beyaz renkli ZnO NP oda sıcaklığında muhafaza edildi.



Şekil 1. ZnO NP'nin sentezi.

C. TEST MİKROORGANİZMALARI

Çalışmada kullanılan izolatlar, Düzce Üniversitesi Tıbbi Biyoloji Anabilim Dalı'ndan temin edildi. Kuyu difüzyon yöntemi kullanılarak sentezlenen nanopartiküllerin *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* ve *Staphylococcus epidermidis* bakterileri ile *Candida albicans*, *Candida glabrata*, *Debaryomyces hansenii* ve *Crptococcus neoformans* funguslarına karşı antibakteriyel ve antifungal aktiviteler değerlendirildi.

D. KUYU DİFÜZYON YÖNTEMİ

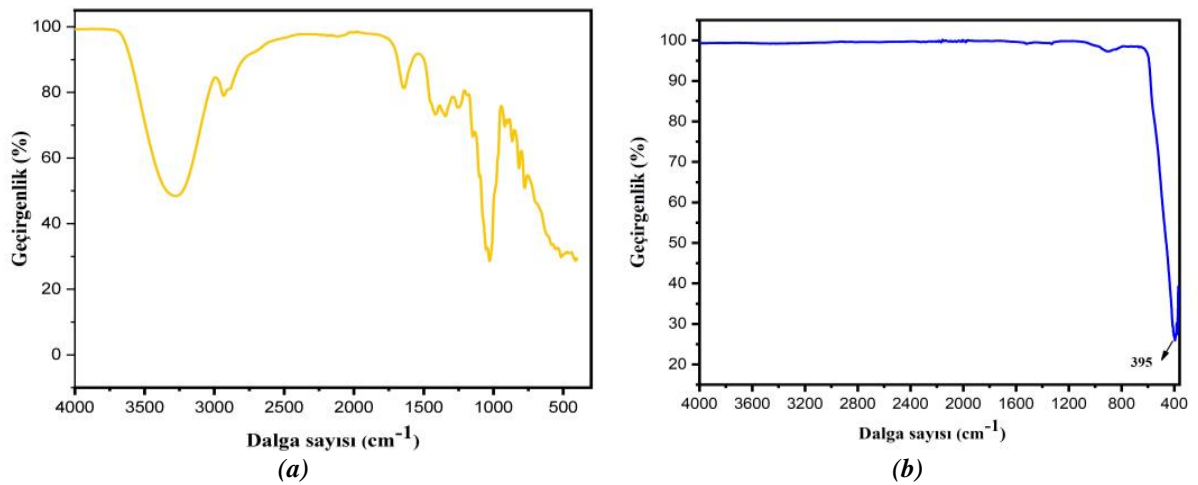
Kestane balı ve ZnO NP'nin antibakteriyel ve antifungal aktivite düzeylerini belirlemek için kuyu difüzyon yöntemi kullanıldı [13]. Mikroorganizmaların 24 saatlik genç kültürlerini hazırlamak amacı bakteriler için Nutrient Broth, funguslar için Malt Ekstakt Broth besiyeri kullanıldı. 0.5 McFarland standardizasyonuna göre hazırlandıktan sonra 24-48 saat süresince bakteriler 35-37 °C'de, funguslar ise 25-27 °C'de inkübe edildi. Kestane balının ve ZnO NP'nin antibakteriyel ve antifungal aktivite düzeylerini belirlemek için besiyeri olarak steril Mueller Hinton Agar hazırlandı. Hazırlanan besiyeri 40-45 °C'ye soğutulduktan sonra aktif hale getirilmiş mikroorganizmalar besiyerine inoküle edildi. Besiyeri ile test mikroorganizmaların homojenizasyonu sağlandıktan sonra steril petri kaplarına döküldü. Soğuyan besiyerine steril delgeç ile 6 mm çapında kuyucuklar açıldı. Besiyerlerinde açılan kuyucukların içerisine steril agar konularak üzeri 100 µL çözelti ile dolduruldu. 24-48 saat süresince bakterilerin bulunduğu petrilere 35-37 °C'de, fungusların bulunduğu petrilere ise 25-27 °C'de inkübe edildi ve oluşan zonların çapları kumpas yardımı ile ölçüldü. Kestane balının ve ZnO NP'nin antimikrobiyal etkinlik düzeylerini karşılaştırmak amacı ile bakteriler için Ampisilin, amikasin (BIOANALYSE) antibiyotikleri kullanılırken funguslar için ise nistatin (BIOANALYSE) antibiyotiği kullanıldı [14]. Çalışma üç tekrarlı olarak gerçekleştirildi ve istatistiksel olarak hesaplamaları yapıldı.

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

A. ZnO NP'NİN KARAKTERİZASYONU

A.1. FT-IR Analizi

Balın önemli bileşenleri fruktoz, glikoz, sakkaroz, proteinler, mineraller ve vitaminlerdir. FT-IR spektrumu ile doğal bir ürün olan kestane balı kullanılarak sentezlenen ZnO NP'nin yapısında bulunan titreşimler belirlenmiştir. Sentezlenen ZnO NP'nin 4000-375 cm⁻¹ aralığındaki FT-IR spektrumu Şekil 2'de verilmiştir. 500 °C'de kalsinasyon işlemine tabi tutulduktan sonra elde edilen numunenin FT-IR spektrumunda indirgeyici ve disperse ajanı olan kestane balının yapısında bulunan organik bileşiklere (şeker, polisakaritler gibi) ait titreşimler gözlenmemiştir. Metal oksitlerin 1000 cm⁻¹ dalga sayısının daha aşağısında absorpsiyon bandı vermesindeki neden metal ve oksijen atomları arasındaki titreşimlerdir. FT-IR spektrumunda 395 cm⁻¹'de görülen pik ZnO NP'nin yapısında var olan çinko ve oksijen bağına ait gerilmelerden kaynaklanmakta olup, ZnO NP için önerilen yapıyı doğrulamaktadır. Kestane balının FT-IR spektrumuna ait titreşim değerleri Tablo 1'de verilmiştir [15].



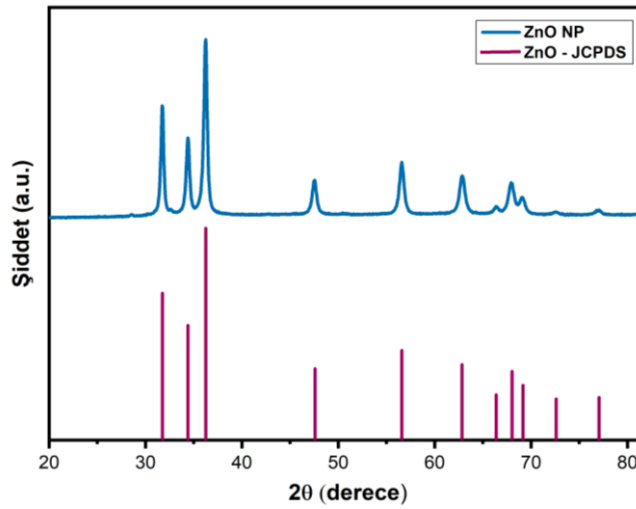
Şekil 2. (a) Kestane balı, (b) Zn(NO₃)₂·6H₂O ile sentezlenen ZnO NP'nin FT-IR spektrumları.

Tablo 1. Kestane balının FT-IR spektrumuna ait genel titreşim değerleri

3400-3100 cm ⁻¹	Karboksilik asit Amin	O-H gerilmesi NH ₂ gerilmesi
2935-2930 cm ⁻¹	Protein Lipid	Alifatik C-H gerilmesi
1639 cm ⁻¹	Protein	Amid I (N-H bükülmesi)
1415 cm ⁻¹	Karbonhidrat	C-H (asimetrik) O-H düzlem içi bozulma
1350-1200cm ⁻¹	Protein	N-H bozulma Amit III (C-N gerilmesi)
1027 cm ⁻¹	Karbonhidratlar	C-O-C titreşimleri

A.2. XRD Analizi

Doğal bir ürün olan kestane balı kullanılarak sentezlenen ZnO NP'nin kristal yapısını ve içerdiği fazları belirlemek için XRD analiz yöntemi kullanılmıştır. Kestane balından yararlanılarak Zn(NO₃)₂.6H₂O tuzu ile sentezlenen ZnO NP'nin XRD deseni Şekil 3'te gösterilmektedir. Nano-ZnO fazlarına ait 2θ karakteristik difraksiyon pikleri 31.75°, 34.40°, 36.25°, 56.57°, 62.83°, 66.38°, 68.03°, 69.09°, 72.57°, 77.0°, 81.46° olmakla birlikte bu pikler sırasıyla (100), (002), (101), (102), (110), (103), (200), (112), (201), (004), (202) düzlemlerine karşılık gelmektedir. X-ışını kırınım desenindeki keskin pikler ZnO NP'in kristal yapısını ortaya çıkarmakta olup, yeşil sentez yaklaşımında balın disperse ve indirgeyici ajan olarak seçilmesinin güvenilirliğini belirtmektedir. İndekslenmiş kırınım düzlemleri, P6₃mc uzay grubunun hekzagonal wurtzite yapısına ait ZnO NP'nin fazlarını göstermektedir. Bu değerler, JCPDS-79-0206 standart kart değerleri ile uyum içerisindedir. ZnO NP'e ait örgü parametreleri Tablo 2'de gösterilmiştir. Aynı zamanda ZnO NP'nin XRD analiz sonucunda safsızlık içeren başka bir faza rastlanmamıştır.



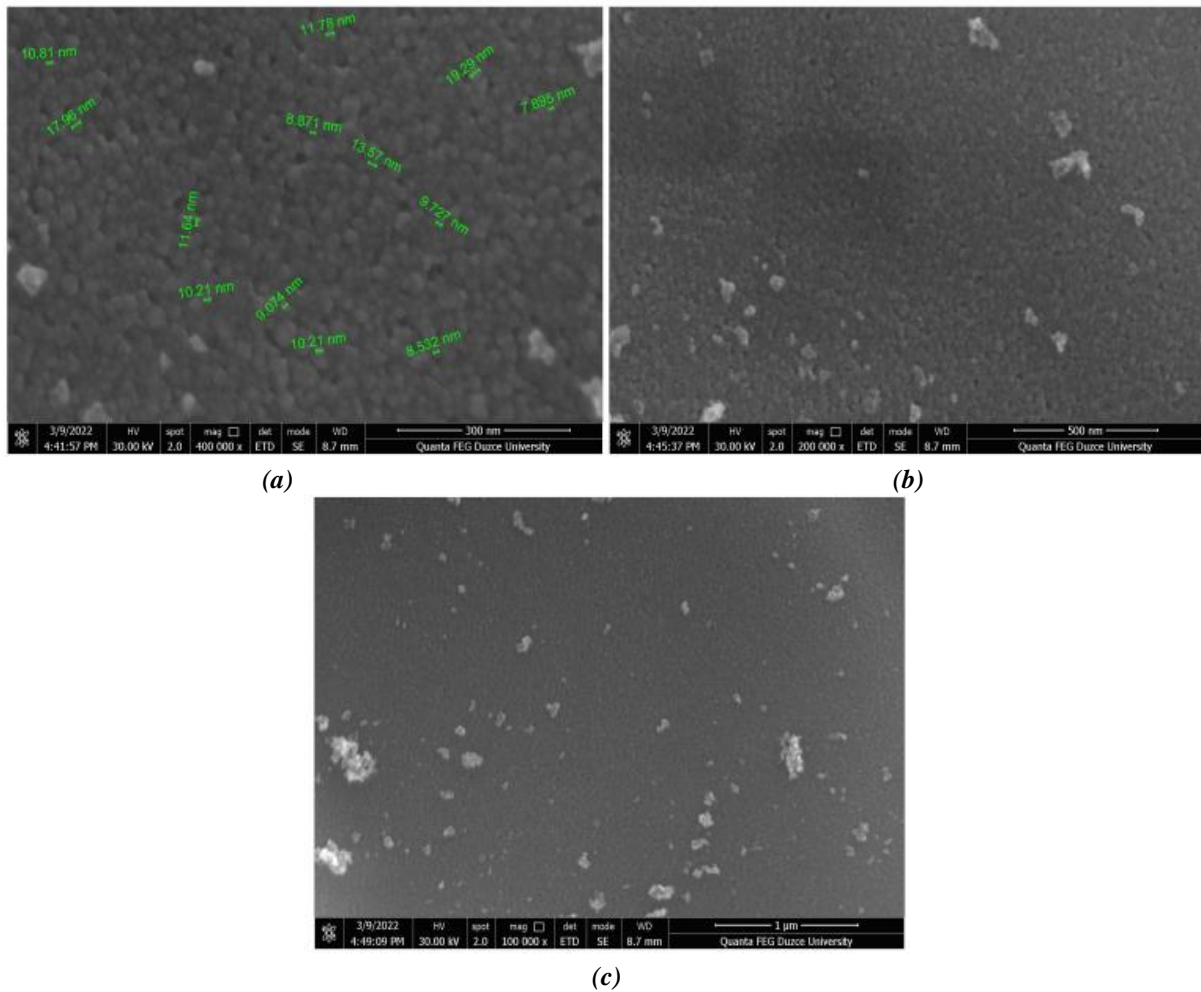
Şekil 3. Zn(NO₃)₂.6H₂O'den sentezlenen ZnO NP'nin XRD deseni.

Tablo 2. XRD analizi sonucu, elde edilen nanopartiküllere ait örgü parametreleri

	Örgü parametreleri					Uzay grubu	Kristal sistemi	
	a (Å)	b (Å)	c(Å)	°α	°β			°γ
ZnO NP	3,2499	3,2499	5,2066	90	90	120	P6 ₃ mc	Hekzagonal

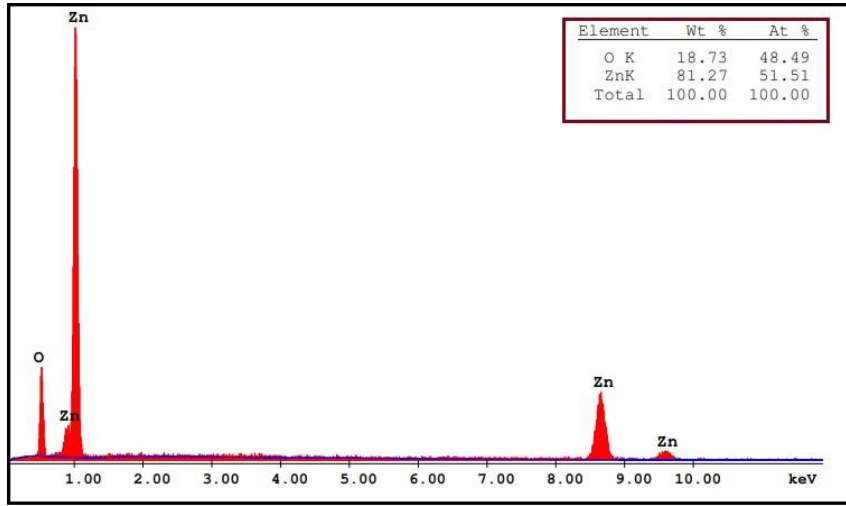
A.3. SEM ve EDX Analizi

Şekil 4'te, sentezlenen ZnO NP'nin morfolojik yapıları farklı büyütme ölçeklerindeki SEM görüntüleri ile verilmektedir. Çinko nitrat heksahidrattan yola çıkılarak sentezlenen ZnO NP'nin SEM görüntüleri incelendiğinde, elde edilen numunenin partikül boyutunun nano ölçekte olduğu görülmekte olup, tatmin edici bir sonuç elde edilmiştir. Elde edilen bu sonuç, balın yapısında bulunan şeker ve polisakkaritler gibi bağlayıcı yapıların varlığından kaynaklanmaktadır. Balın yapısında bulunan bileşikler hem indirgeyici hem de stabilize edici ajan olarak hareket etmektedirler. Ayrıca nanopartiküller, yaklaşık 7-19 nm boyutunda küresel şekle ve homojen bir dağılıma sahiptir ve yapıda agregasyon ve aglomerasyona rastlanmamaktadır. Balın matris yapısındaki hidroksil ve amin grubu içeren çok sayıda karbonhidrat, enzim ve vitaminler, çinkonun kompleksleşme reaksiyonunu hızlandırmakta ve ZnO NP'in daha stabil bir yapıya sahip olmasını sağlamakta, aynı zamanda kristal büyümesi ve aglomerasyonu engellemektedir.



Şekil 4. $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ ile sentezlenen ZnO NP'nin (a) 300 nm (b) 500 nm (c) 1 µm boyutlardaki SEM görüntüleri.

Bal kullanılarak elde edilen ZnO NP'e ait elementel analiz sonuçlarını veren EDX spektrumu Şekil 5'te görülmektedir. ZnO NP'nin EDX spektrumu incelendiğinde, XRD analiz sonuçları ile uyum içinde olduğu görülmektedir. $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ ile elde edilen ZnO NP'nin EDX spektrumunda sadece Zn ve O elementlerinin varlığı tespit edilmiştir. Bal sadece bir şelatlama ve kaplama maddesi olarak hareket ettiği ve sentez reaksiyonu boyunca kimyasal yapısını koruduğu için hiçbir karbon türü gözlemlenmemiştir. Elementlerin atomik yüzdeleri 1:1 stokiyometri oranına karşılık gelmektedir. Zn ve O elementlerine ait atomik yüzdeler sırasıyla % 48.49 ve % 51.51, ağırlıkça yüzdeler ise % 81.27 ve % 18.73 olarak bulunmuştur.



Şekil 5. $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ 'dan sentezlenen ZnO NP'nin EDX spektrumu.

A.4. Biyolojik Aktivite Testlerinin Değerlendirilmesi

Kestane balı ve yeşil sentezi gerçekleştirilen ZnO NP'nin antibakteriyel ve antifungal etkinlikleri değerlendirilmiştir. Test bakterileri olarak *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus* ve *Staphylococcus epidermidis*, test fungusları olarak da *Candida albicans*, *Candida glabrata*, *Debaryomyces hansenii* ve *Crptococcus neoformans* kullanılmıştır. Bu, standart prosedürler izlenerek kuyu difüzyon yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiş ve sonuçlar Tablo 3'te verilmiştir. Kestane balı ve ZnO NP'nin antimikrobiyal etkileri referans ilaçlarla (Amfisilin, Amikasin ve Nistatin) karşılaştırılmıştır ve test edilen kestane balı ve ZnO NP, mikroorganizmalara karşı değişen inhibisyon bölgeleri göstermiştir [16]. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, ZnO NP bileşiği antibiyotik değerleriyle kıyaslandığında, *Crptococcus neoformans* izolatına karşı 9.0 mm inhibisyon zonu ile düşük seviyede, *Candida albicans* izolatına kıyasla 20.0 mm inhibisyon zonu ile yüksek seviyede antifungal aktivite göstermiştir. Aynı zamanda ZnO NP bileşiğinin, *Escherichia coli* ve *Pseudomonas aeruginosa* bakteri kültürlerine karşı 19.06 mm ve 20.1 mm inhibisyon zonları ile antibiyotik değerlerine eşit seviyede antibakteriyel aktivite gösterdiği tespit edilmiştir. Ayrıca *Staphylococcus epidermidis* bakteri kültürüne karşı 20.86 mm inhibisyon zonu ile AK30 antibiyotikinden daha yüksek seviyede antibakteriyel aktivite göstermiştir. Çalışmada kullanılan kestane balının, *Staphylococcus epidermidis* bakteri kültürüne karşı 21.6 mm zon çapı ile yüksek seviyede, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus* bakteri kültürlerine karşı ise orta seviyede antimikrobiyal aktivite gösterdiği gözlenmiştir.

Tablo 3. Kestane balı ve ZnO NP'nin antimikrobiyal aktivitesi

Test Mikroorganizmaları	İnhibisyon Zonları* (mm)		Mukayese Antibiyotikleri		
	Kestane balı	ZnO NP	AM 30	AK 30	NY 100
<i>Escherichia coli</i>	15.73±1.27	19.06±0.11	15.0	19.0	-
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	15.5±0.5	20.1±0.17	14.0	20.0	-
<i>Staphylococcus aureus</i>	15.5±0.52	16.86±0.70	27.0	20.0	-
<i>Staphylococcus epidermidis</i>	21.16±1.15	20.86±0.80	23.0	18.0	-
<i>Candida albicans</i>	16.0±0	20.0±0	-	-	17.0
<i>Candida glabrata</i>	15.23±1.07	14.33±0.57	-	-	19.0
<i>Debaryomyces hansenii</i>	23.06±0.11	16.83±0.76	-	-	18.0
<i>Crptococcus neoformans</i>	10.66±1.15	9.0±0.57	-	-	13.0

AM30: Ampisilin 30 µg; AK30: Amikasin 30 µg; NY100: Nistatin 100 µg. Tüm bileşik dozları: 1 mg.

(*): Tablodaki değerler inhibisyon zonlarını göstermektedir.

IV. SONUC

Yerel marketlerden temin edilen kestane balı aracılığıyla $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ kullanılarak ZnO NP'nin biyosentezi gerçekleştirilmiştir. Sentez esnasında madde miktarı, sıcaklık, pH ve deney süreleri gibi parametreler göz önünde bulundurularak optimizasyon çalışmaları uygulanmıştır. Literatür verilerinden yola çıkarak karma model uygulaması esas alınarak gerek bal miktarı gerekse çinko nitrat tuzu miktarı optimize edilerek istenilen boyutlarda nanopartiküllerin eldesi için en uygun ortam ve madde miktarlarının tespiti yapılmıştır. En ideal deney parametreleri elde edilen veriler doğrultusunda bu çalışmada rapor edilmiştir. ZnO NP'lerin yapılarını aydınlatmak için FT-IR, XRD, SEM ve EDX analiz verileri değerlendirilmiş ve analiz sonuçlarının literatür verileriyle uyum içerisinde olduğu görülmüştür. Biyolojik aktivite sonuçları incelendiğinde, kestane balının antibiyotik ile kıyaslandığında mantar izolatlarından *Debaryomyces hansenii*'ye karşı en yüksek aktiviteyi gösterdiği gözlenmiştir. Aynı zamanda kestane balı antibiyotiklere kıyasla en yüksek düzeyde antibakteriyel aktiviteyi ise *Staphylococcus epidermidis* bakteri kültürüne karşı göstermiştir. Doğal bir ürün olan kestane balı sahip olduğu biyoaktif bileşenler sayesinde metal atomlarını oksitleyebilmekte ve sentez aşamasında biyoaktif bileşenler metal oksitlerin yüzeyine bağlanabilmektedir. Bu sayede sentezlenen metal oksitler antimikrobiyal özellikler kazanmaktadır. Bu özellikleri sayesinde biyolojik aktivite çalışmaları sonucunda kestane balı kullanılarak sentezlenen ZnO NP ise, bakteri kültürlerine karşı antibiyotiklerle eşdeğer seviyede antibakteriyel etki gösterirken, mantar izolatlarından *Candida albicans* mantar izolatına karşı yüksek düzeyde antifungal aktivite göstermiştir.

TEŞEKKÜR: Bu çalışma Düzce Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından desteklenmiştir (Proje no: 2021.05.03.1235).

V. KAYNAKLAR

- [1] E.R. Balasooriya, C.D. Jayasinghe, U.A. Jayawardena, R.W.D. Ruwanthika, R.M.De Silva, and P.V. Udagama, "Honey mediated green synthesis of nanoparticles: New era of safe nanotechnology," *Journal of Nanomaterials*, vol. 2017, no. 3, pp. 10, 2017.
- [2] D. Bhattacharyya, S. Singh, and N. Satnalika, "Nanotechnology, big things from a tiny World: a review," *Science and Technology*, vol. 2, no. 3, pp. 29–38, 2009.
- [3] D. Philip, "Honey mediated green synthesis of gold nanoparticles," *Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, vol. 73, no. 4, pp. 650–653, 2009.
- [4] M. Singh, S. Singh, S. Prasad, and I.S. Gambhir, "Nanotechnology in medicine and antibacterial effect of silver nanoparticles," *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructure*, vol. 3, no. 3, pp. 115–122, 2008.
- [5] H. Hasim, P.V. Rao, A.C. Sekhar, S. Muthuraju, M.A. Asari, and K.N.S. Sirajudeen, "Green synthesis and characterization of silver nanoparticles using Tualang honey and evaluation of their antioxidant activities," *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology*, vol. 11, no. 2, pp. 025010, 2020.
- [6] B. Pelaz, S. Jaber, D. J. Aberasturi, V. Wulf, T. Aida, J.M. Fuente, J. Feldmann, H.E. Gaub, L. Josephson, C.R. Kagan, N.A. Kotov, L.M. Liz-Marzan, H. Mattoussi, P. Mulvaney, C.B. Murray, A.L. Rogach, P.S. Weiss, I. Willner, and W.J. Parak, "The state of nanoparticle-based nanoscience and biotechnology: progress, promises, and challenges," *ACS Nano*, vol. 6, no. 10, pp. 8468–8483, 2012.
- [7] Ş. Gülten, "Yeşil kimya ölçümleri: katalizörlü ve katalizörsüz reaksiyon şartlarında sentezlenmiş biginelli bileşiklerinin yeşil kimya ölçümlerinin hesaplanması," *Avrupa Bilim ve*

Teknoloji Dergisi, c. 14, ss. 61–69, 2018.

- [8] Ö. Erdoğan, F. Birtekocak, E. Oryaşın , M. Abbak , G.M. Demirbolat. S. Paşa, ve Ö. Çevik, “Enginar yaprağı sulu ekstraktı kullanılarak çinko oksit nanopartiküllerinin yeşil sentezi, karakterizasyonu, anti-bakteriyel ve sitotoksik etkileri,” *Duzce Medical Journal*, c. 21, s. 1, ss. 19–26, 2019.
- [9] G.A. Youssef, A.M. El-Boraey, and M.M. Abdel-Tawab, “Eco-friendly green synthesis of silver nanoparticles from egyptian honey: Evaluating its antibacterial activities,” *Egyptian Journal of Botany*, vol. 59, no. 3, pp. 709–721, 2019.
- [10] E. Rasouli, W.J. Basirun, M. Rezayi, K. Shameli, E. Nourmuhammadi, R. Khandanlou, Z. Izadiyan, and H.K. Sarkarizi, “Ultrasmall superparamagnetic Fe₃O₄ nanoparticles: Honey-based green and facile synthesis and in vitro viability assay,” *International Journal of Nanomedicine*, vol. 13, pp. 6903–6911, 2018.
- [11] F. Karadal ve Y. Yıldırım, “Balın kalite nitelikleri, beslenme ve sağlık açısından önemi,” *Erciyes Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, c. 9, s. 3, ss. 197–209, 2012.
- [12] J. Jeyageetha. M. Geetha, and Packiam, “Synthesis of honey mediated biogenic zinc oxide nanoparticles and structural parameters investigations,” *Jetir*, vol. 6, no. 2, pp. 882–888, 2019.
- [13] S. Gummuluri, V.T. Kavalipurapu, and A.V. Kaligotla, “Antimicrobial efficacy of novel ethanolic extract of *Morinda citrifolia* against *Enterococcus faecalis* by agar well diffusion method and minimal inhibitory concentration-an *in vitro* study,” *Brazilian Dental Science*, vol. 22, no. 3, pp. 365-370, 2019.
- [14] CLSI (Clinical and Laboratory Standards Institute), *Performance Standards for Antimicrobial Disk Susceptibility Test: Approved Standard, CLSI document M100*, 30th edition, Clinical and Laboratory Standards Institute, 2020.
- [15] S. Gok, M. Severcan, E. Goormaghtigh, I. Kandemir, and F. Severcan, “Differentiation of Anatolian honey samples from different botanical origins by ATR-FTIR spectroscopy using multivariate analysis,” *Food chemistry*, vol. 170, pp. 234-240, 2015.
- [16] M. Sharmila, R. Jothi Mani, A. Kader, A. Ahmad, G.E. Eldesoky, A.E.M. Yahya, and A.A.A. Bahajjaj, “Photocatalytic and biological activity of ZnO nanoparticles using honey,” *Coating*, vol. 11, no. 9, pp. 1046, 2021.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

İklim Değişikliği Bağlamında Kültürel Mirasın Sürdürülebilirliği ve Enerji Korunumunun Değerlendirilmesi

 Merve DENİZ^{a,*},  Ruşen YAMAÇLI^b

^a Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Eskişehir, TÜRKİYE

^b Mimarlık Bölümü, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Eskişehir, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: deniz_merce13@hotmail.com

DOI: 10.29130/dubited.1047571

Öz

Sanayileşme, modernleşme ve küreselleşme akımı ile hızlanan kentleşme oranı, yeni ihtiyaçlar ortaya çıkartmıştır. Bu durum üretim ile tüketim miktarını arttırdığından hem atmosferde sera gazları birikmiş hem de doğal kaynaklar tüketilmiştir. Gittikçe ısınan ekosistem, küresel ısınmaya yol açtığından iklimsel değişimler başlamış ve sürdürülebilirlik kavramı önem kazanmıştır. Nitekim geleneksel yerleşimler ve bu yerleşimlerde konumlanan yapılar, yerel malzeme kullanılarak topoğrafyaya ve iklime uyumlu inşa edildiklerinden söz konusu kavramı taşıyan en değerli örnekler arasında yer almaktadır. Böylelikle enerji korunumları yüksek olmuştur. Ayrıca toplumların geçmişleri hakkında bilgiler içeren ve tüm insanlığın evrensel değeri olan birer kültürel miras niteliğindedirler. Bu bağlamda geçmiş ile gelecek arasında köprü kurmaktadır. Ancak iklim değişikliği karşısında tahribata uğrayacakları ve enerji korunumlarının risk teşkil edeceği öngörülmektedir. Dolayısıyla doğru bir biçimde muhafaza edilmeleri önem arz etmektedir. Bu çalışmanın amacı Türkiye ve İtalya'dan seçilen UNESCO Dünya Miras Listesi ile Dünya Miras Geçici Listesi'ne alınan kültürel mirasların iklim değişimi bağlamında sürdürülebilirliklerini ve enerji korunumlarını irdelemektir. Çalışma boyunca kapsamlı bir literatür taraması yapıldıktan sonra Sassi di Matera, Ferrara, Siena, Safranbolu, Cumalıkızık ve Mardin tarihi yerleşimlerinin iklim değişikliği karşısında sürdürülebilirlikleri ile enerji korunumları analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular doğrultusunda tespit edilen olumsuz etkilerin azaltılması ve söz konusu enerjinin devam ettirilmesi için öneri bir model sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: İklim değişikliği, Kültürel miras, Sürdürülebilirlik, Enerji korunumu

Evaluation of The Sustainability of Cultural heritage and Energy Conservation in the Context of Climate Change

ABSTRACT

The rate of urbanization accelerated by the trend of industrialization, modernization and globalization has created new needs. Since this situation increases the amount of production and consumption, both greenhouse gases have accumulated in the atmosphere and natural resources have been consumed. As the warming ecosystem leads to global warming, climatic changes have begun and the concept of sustainability has gained importance. As a matter of fact, traditional settlements and the structures located in these settlements are among the most valuable examples that carry this concept since they are built in accordance with topography and climate using local materials. Thus, energy protections have been high. They are also cultural heritages that contain information about the backgrounds of societies and are the universal value of all mankind. In this context, they bridge the past and the future. However, it is foreseen that they will be devastated in the face of climate change and that energy protections will pose a risk. Therefore, it is important that they are maintained correctly. The aim of this study is to examine the sustainability and energy protections of cultural heritage selected from Turkey and Italy in the context of climate change. After conducting a comprehensive literature review throughout the study, the sustainability and energy protections of

the historical settlements of Sassi di Matera, Ferrara, Siena, Safranbolu, Cumalikizik and Mardin were analyzed in the face of climate change. In line with the findings, a proposed model has been presented to reduce the negative effects detected and to maintain the energy in question.

Keywords: Climate change, Cultural heritage, Sustainability, Energy conservation

I. GİRİŞ

Endüstri Devrimi ve beraberinde artan kentleşme hızı; doğal çevrenin tahrip edilmesine, ağaçların kesilmesine ve sulak bölgelerin kurutulmasına yol açmıştır. 1980’li yıllardan sonra ozon tabakasının delindiği fark edilince toplumun ekosisteme verdiği zarar tartışılmaya başlanmıştır. Bu durum ile yerkürede ısınmalar gözlenmiştir. 19. yüzyılın ilk çeyreğinde 1 derecelik ısınma günümüzde gittikçe artmaktadır. Böylelikle iklim değişikliği meydana gelerek dünya düzenini etkilemekte ve bu etkilerin ilerleyen süreçlerde artacağı tahmin edilmektedir. Nitekim en çok etkilenenler arasında ise kentlerin yer alacağı aşikâr olup yok olma riskleri vardır. Ayrıca tüm insanlığın evrensel değeri olan miras nitelikli tarihi yerleşimler ile bünyelerinde konumlanan yapılar, dönemlerinin yapıım tekniği ve malzemesiyle iklime ve topoğrafyaya uygun inşa edilmiştir. Bu nedenle enerjileri korunmuş, çevreye daha az atık bırakarak günümüze kadar gelebilmiş ve taşıdıkları bu nitelikler sayesinde sürdürülebilirliğin temellerini atmışlardır. Dolayısıyla iklim değişikliğinin azaltılmasını sağlayacak çözümlerin sunulması, küresel ısınmanın kültürel miras üzerindeki etkilerini en aza indirecek koruma çalışmalarının yapılması ve bu mirasın gelecek kuşaklara aktarılması gerekmektedir. Bu durum iklim değişikliği karşısında hem enerjinin korunup sürdürülebilirliğin sağlanması hem de teknik, tarihi, kültürel, özgünlük ve enderlik değerlerine sahip kültür varlıklarının bozulmasının önüne geçilebilmesi açısından önem arz etmektedir.

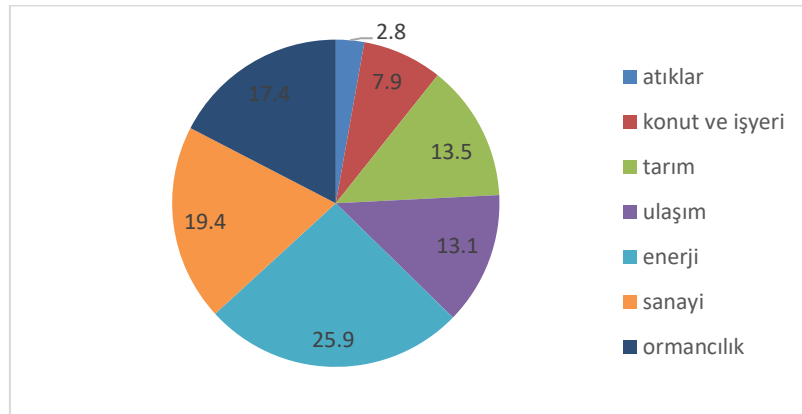
Kültürel miraslar, geçmişte yaşanan doğal afetlere rağmen varlıklarını sürdürebilmeleri sebebiyle dünya üzerindeki eşsiz varlıklardır. Dolayısıyla birer belge nitelikli bu mirasların küresel ısınma karşısında nasıl bir durum sergileyecekleri önemlidir. Bu çalışmanın amacı Türkiye ile İtalya’da seçilen UNESCO Dünya Miras Listesi ile Dünya Miras Geçici Listesi’ne alınan kültürel mirasların iklim değişikliği bağlamında sürdürülebilirliklerini ve enerji korunumlarını irdelemektir. İtalya’da örneklerin seçilmesinin nedeni ise söz konusu ülkenin korumada öncü bir bölge olması ve Avrupa sınırları içerisinde en fazla bu ülkeye ait kültürel varlıkların UNESCO Dünya Miras Listesi’ne alınmasıdır. Çalışma boyunca kavramsal çerçevenin oluşturulması amacıyla kapsamlı bir literatür taraması yapıldıktan sonra Sassi di Matera, Ferrara, Siena, Safranbolu, Cumalikizik ve Mardin tarihi yerleşimlerinin iklim değişikliği karşısında sürdürülebilirlikleri ve enerji korunumları analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular doğrultusunda tespit edilen olumsuz etkilerin azaltılması ve söz konusu enerjinin devam ettirilmesi için öneri bir model sunulmuştur.

II. KAVRAMSAL YAKLAŞIM

Sanayileşme ile birlikte teknolojinin ilerlemesi, kırsal yerleşimlerden kentsel bölgelere doğru göç faaliyetlerini arttırmıştır. Kentleşme oranının hız kazanması ile insanoğlu, hem tüketici konumuna gelmiş hem de üretim ile tüketim miktarını fazlaştırmıştır. Bu neticede enerjiye gereksinim duyulduğundan yenilenemez enerji kaynakları kullanılmaya başlanmıştır. Dolayısıyla gittikçe çevreye verilen tahribat, önlenemez bir hal alarak çevre sorunlarını ortaya çıkartmış ve iklimsel değişimlerin yaşanmasını mümkün kılmıştır. Nitekim söz konusu durumların farkına varıldığında ise uluslararası düzeyde çözüm önerileri geliştirilmeye çalışılarak sürdürülebilirlik kavramı önem arz etmiştir. 1972 tarihinde Stockholm’da gerçekleştirilen Birleşmiş Milletler Çevre Konferansı, bu kavram doğrultusunda atılan ilk adımdır. Konferans boyunca çevresel problemlerin tüm insanlığı ilgilendirdiği vurgulanmış ve Birleşmiş Milletler Çevre Programı kurulmuştur. 1987’de Brundland Komisyonu tarafından yayınlanan ‘Ortak Geleceğimiz’ adlı rapor ile gelecek kuşakların ihtiyaçlarını engellemeden günümüz gereksinimlerini karşılamanın gerekliliği belirtilerek çölleşme, küresel ısınma, çevre kirliliği ve iklim değişikliği konularına yoğunlaşmıştır [1]. 1988’de Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP), Dünya

Meteoroloji Örgütü (WMO) ve Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) oluşturularak Toronto’da İklim Konferansı düzenlenmiştir. Bu konferans ile iklim değişikliği hakkında uluslararası kamuoyu sağlanmıştır. Ancak küresel ısınmaya dair ilk farkındalık, 1989’da Birleşmiş Milletler öncülüğünde olmuş ve 1992’de toplanan Rio Zirvesi ile sürdürülebilir kalkınmanın önemine değinilmiştir. 1997’de Kyoto Protokolü imzalanarak iklim değişikliği ile sera gazlarının azaltılmasına dair önlemlerin alınmasının gerekliliği üzerine durulmuştur. 2015’te ise Paris Antlaşması olası sorunların çözüme kavuşturulması ve söz konusu önlemlerin uygulanması için yürürlüğe girmiştir [2]. Sürdürülebilir mimarlık kavramı, gelecek kuşakların ihtiyaçlarını engellemeden içinde bulunulan koşullar doğrultusunda malzemeyi, enerjiyi ve suyu verimli bir biçimde kullanan ve bireylerin sağlık ile konfor koşullarına uygun yapılar inşa eden çevreye duyarlı uygulamalarının tümüne verilen isimdir. Söz konusu kavram yapıların hem yapımı ve kullanımı sırasında doğal kaynakların tüketimine öncelik vermekte hem de sosyal, kültürel, çevresel, ekonomik, tarihsel değerlerine saygı duymaktadır [3]. Nitekim yapılar, inşaat aşamasından başlayıp ömürlerini tamamlayıncaya kadar geçen sürede çevreye enerji ve atık yaydıklarından birçok çevresel problemlere neden olmaktadır. Bu durum sonucunda peyzaj bozulduğundan, biyolojik çeşitlilik azaldığından, hava ile su kirlendiğinden ve ormanlar yok edildiğinden iklim değişikliği ortaya çıkmaktadır [4]. Dolayısıyla düşük maliyetli, az atıklı ve yenilenebilir enerji tüketimine dayalı binaların tasarlanması gereklilik arz etmektedir. Bu bağlamda suyun etkin kullanımı, atıkların azaltılması, malzemenin ve enerjinin korunumu sürdürülebilir mimarlığın ilkelerini oluşturmuştur.

Nüfus yoğunluğunun ve sanayi faaliyetlerinin gittikçe artması, enerjiye olan talebin de artmasına neden olmuş ve bu durum çevresel tahribata en çok zarar veren yenilenemez enerji kaynaklarının tüketilmesine yol açmıştır. Dünya nüfusunun yoğunlaşması, teknolojik ilerlemeler, endüstrinin gelişmesi, küreselleşme akımı ve insanoğlunun yaşam standartlarının değişip gelişmesi söz konusu tüketimi arttırmıştır. Bu doğrultuda gittikçe kullanımı çoğalan fosil yakıtlar, atmosferde biriken karbondioksit miktarını fazlaştırmıştır. Özellikle 1850 yılından sonra bu fazlalığın %25 oranında olduğu ifade edilmiştir [5]. Söz konusu tüketimin %50’sinin ise yapıların yapım, kullanım ve yıkım evrelerinde harcandığı bilinmektedir. Enerjinin korunması, diğer bir ifadeyle enerjinin daha etkin ve verimli kullanılması ile bu tüketim oranının %25’e düşebileceği öngörülmektedir [6]. Şekil 1’de gösterildiği gibi 2004 yılında insan kaynaklı emisyon değerlerinin yaklaşık %26’sını enerji oluşturmaktadır. Nitekim yapıların kullanım evresinde bireylere iç konfor şartlarının sunulması için bu enerji havalandırma, ısıtma, soğutma ve aydınlatma gibi alanlarda harcanmaktadır. Dolayısıyla günümüzde enerji ihtiyacının artması, doğal kaynakların tükenmeye başlaması, enerji maliyetlerinin yükselmesi, hava kirliliğinin çoğalması, küresel ısınmanın hızlanması, iklimsel değişimlerin yaşanması, yapay ısıtma ve iklimlendirme elemanlarının insan sağlığına zarar vermesi gibi sebepler enerjinin korunmasına dair önemin fark edilmesini sağlamıştır.



Şekil 1. 2004 yılı insan kaynaklı emisyon değerleri [2].

İklim değişikliği kavramı ilk olarak 1992 yılında Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çevre Sözleşmesi’nde “İnsan faaliyetlerinin dolaylı ya da doğrudan atmosfer bileşimlerini bozması ve bu

durumun iklimsel değişikleri meydana getirmesi biçiminde tanımlanmıştır [7]. Fakat bu kavramın ortaya çıkışı 1800'lü yıllarda Sanayi Devrimi'ne dayanmaktadır. Günümüzde endüstriyelleşme faaliyetleri, insan hayatının bir parçası olmuş ve buradan çıkan gazlar atmosferdeki karbondioksit miktarını arttırmıştır. Böylelikle dünya ısınma tehlikesiyle karşı karşıya kalmıştır. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli ise 2007'de bu kavramı "iklimin niteliğinin ve özelliklerinin doğal yapıdaki değişiklikleri ya da insan faaliyetleri sonucunda çeşitlenmesi ve etkilerinin uzun süreli bir şekilde devam etmesi" olarak ifade etmiştir [2]. Ayrıca Asya, Avrupa ve Avusturalya kıtalarında sıcaklığın arttığı, denizlerin kabardığı ve yağış şiddetinin yükseldiği Hükümetlerarası İklim Değişikliği Panelinin (IPCC) 2013'teki değerlendirme raporunda belirtilmiştir. Nitekim 20. yüzyılın ilk çeyreğinden günümüze kadar olan süreçte, dünyanın yaklaşık 1 derece ısındığı söylenilmektedir [8]. Bu durum iklim değişikliğini tetiklemektedir [9]. Özellikle tarımın aksamasına, su kaynaklarının tuzlanmasına, kuraklık ile birlikte orman yangınlarının çoğalmasına ve çeşitli hastalıkların ortaya çıkmasına yol açmaktadır.

Elektrik üretimi, doğayı tahribata uğrattığından ve havayı kirlettiğinden iklim değişikliğini tetiklemektedir. Dolayısıyla enerjinin korunması çevresel problemlerin önlenmesinde öncelikle ele alınması gerekli bir kavramdır [10]. 1973 ve 1979 yıllarında dünya genelinde yaşanan petrol krizi ise enerji korunumunu gündeme getirerek daha temiz ve güvenilir enerjiye yönelimi başlatmıştır. Bu bağlamda enerjinin muhafaza edilmesi, ozon tabakasına zarar veren gaz salınımını daha küçük bir seviyeye indirip çevrenin sürdürülebilirliğine katkı sağlayacağından harcanan enerji miktarının azaltılması ve özellikle yenilenemez enerji kaynaklarının tercih edilmesi beklenmektedir. Nitekim enerjinin korunmasındaki hedef; yenilenemez enerji kaynaklarının kullanımını azaltıp en az enerjiyle en fazla yarar sağlamaktır [11]. Zira modernleşme öncesi dönemlerde geleneksel tekniklerle doğaya uygun tasarlanan kentler ve bu kentlerde yer alan yapılarda kullanılan yerel malzemeler, az bir miktarda enerjinin tüketilip bu enerjinin korunmasına katkı sağlamıştır [12]. Özellikle yerleşimin topoğrafyası, doğal çevre örtüsü, iklimsel faktörleri, yakın çevrede yapılaşma durumu, bina aralıkları ile yükseklikleri, yapının yeri ve yönü, yapı formu ve kabuğu, doğal havalandırma gibi parametreler planlanmalarında önem arz etmiştir. Ayrıca doğaya uygun konumlandırıldıkları için gün ışığından en yüksek düzeyde yararlanılmış ve doğal yollarla havalandırılmışlardır. Bu nedenle geleneksel yapılar sürdürülebilir mimarlığa birer örnek teşkil etmekte ve evrensel değerleri sayesinde tüm insanlığın kültürel mirası olmaktadır. Dolayısıyla gelecek kuşaklara aktarılmalari gerekmektedir. Şekil 3'te kültürel mirasın sürekliliği kavramları ile vurgulanmaya çalışılmıştır.



Şekil 3. Kültürel mirasın sürekliliği.

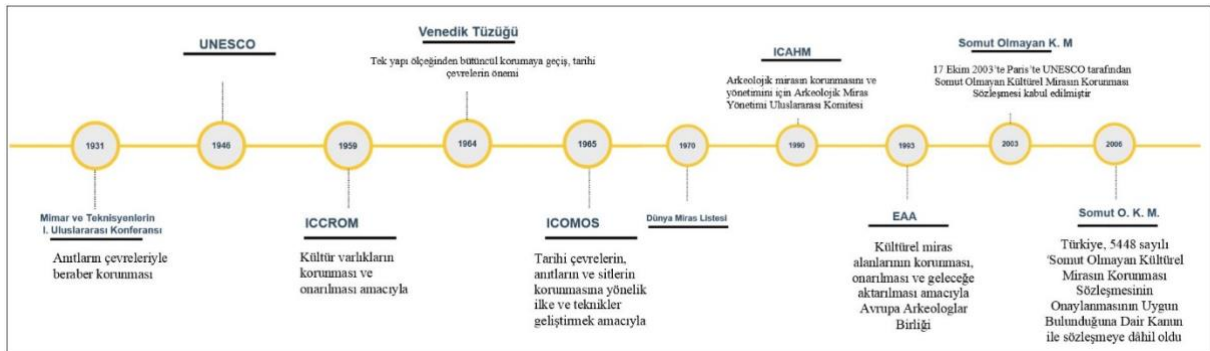
Kültürel miraslar; geçmiş ve gelecek arasında köprü kuran, toplumların tarihi ile kültürel özelliklerini yansıtan ve bireylerin yaşamlarından kesitler sunan birer belge nitelikli varlıklardır [13]. UNESCO ise bu mirası "her bir kültürün geçmişinden kalan sanatsal veya sembolik tüm maddi işaretlerin toplamı" olarak tanımlamıştır [14]. Dolayısıyla tarih boyunca pek çok kıymetli varlık korunarak yaşatılmak istenmiştir. Şekil 4'te görüldüğü gibi bu bazen yapıya ya da doğal çevre gibi somut bazen de dil veya gelenek gibi somut olmayan öğeleri kapsamıştır. Ancak ilk kapsamlı koruma algısı 18. yüzyılda Fransız İhtilali'nin getirdiği yıkımlara tepki biçiminde meydana gelmiştir. Çünkü Fransız İhtilali ile halk, kral ve çevresine karşı biriken kin ve nefretini yapıları yıkarak çıkartmıştır. Ama yapıların bir suçunun

olmadığını fark edince de korumak istemiştir. Bu bağlamda ilk kapsamlı koruma çalışmaları 19. yüzyılda Viollet-le-Duc'ün öncülüğünde gerçekleşmiştir. O'na göre yapılar ilk yapıldıkları döneme göre yani 'Üslup Birliğine Varma' olgusuyla yapılmalıydı. Fakat William Morris ve John Ruskin tarafından geliştirilen 'Romantik Görüş' olgusu ise restorasyonun yapılmasına kesinlikle karşı çıkmıştır. Yine aynı dönemde Luca Beltrami ile Camillo Boito'da koruma konusunda çalışmalarda bulunmuş ve Luca Beltrami 'Tarihi Restorasyon', Camillo Boito 'Çağdaş Restorasyon' fikrini ileri sürmüştür [15].



Şekil 4. Kültürel miras.

19. yüzyılda Sanayi Devrimi, 20. yüzyılda ise I. ile II. Dünya Savaşları doğal ve tarihi yerlerin yıkılmasına neden olmuştur. 1931 yılından sonra bu yıkımların önüne geçebilmek ve kalıcı çözüm önerileri geliştirebilmek amacıyla çeşitli adımlar atılmıştır. Öncelikle 1931'de Mimarlar ve Teknisyenlerin I. Uluslararası Konferansı'nda restorasyon kuralları kabul edilmiştir. 1933'te Atina Antlaşması ile tarihi yapıların bir bütün dâhilinde korunmasının önemi üzerinde durulmuştur. 1946'da II. Dünya Savaşı sonrası yıkılan yerlerin onarılması ve tekrardan olası bir yıkımın oluşmasının önlenmesi amacıyla Birleşmiş Milletler bünyesinde UNESCO kurulmuştur. 1959'da kültürel varlıkların korunması ve onarılması gayesiyle ICCROM oluşturulmuştur. Ancak tüm bu gelişmeler 1960 yılına kadar kalıcı bir çözüm sağlayamamıştır. 1964'te ise II. Mimarlar ve Teknisyenler Konferansı'nda Venedik Tüzüğü kabul edilerek daha çağdaş ve kalıcı koruma anlayışı benimsenmiştir. Bu tüzük ile tek yapı ölçeğinden bütüncül koruma anlayışına geçilmiş ve tarihi çevre kavramı önem kazanmıştır [16]. 1965'te tarihi çevrelerin, anıtların ve sitelerin korunmasına yönelik ilke ve tekniklerin geliştirilmesi için ICOMOS kurulmuştur. 1970'li yıllardan sonra tarihi yapıların muhafaza edilmesi ve yaşatılması için dünya miras listesi oluşturulmaya başlanmış ve korunması gereken yerler tescil edilmiştir. Bu durum 1975 senesinin 'Avrupa Mimari Miras Yılı' olarak kabul edilmesine katkı sağlamıştır. 1981'de Burra Tüzüğü yayınlanarak tarihi çevrelerin korunmasında alan yönetiminin önemi belirtilmiştir. 1990'da arkeolojik mirasın korunması ve yönetilmesi gayesiyle ICAHM oluşturulmuştur. 1993'te kültürel miras alanlarının korunması, onarılması ve geleceğe aktarılması amacıyla Avrupa Arkeologlar Birliği (EAA) kurulmuştur [17]. 2005'te ise UNESCO tarafından 'Dünya Kültürel Doğal Mirasın Korunmasına Dair Kriterler' kabul edilerek geçici listeye alınan adaylara alan yönetim planlarını hazırlamaları zorunlu tutulmuştur. Şekil 5'te koruma kavramının tarihsel gelişimi gösterilmiştir.



Şekil 5. Kültürel mirası koruma kavramının tarihsel gelişimi [yazarlar tarafından 18'den alınarak hazırlanmıştır].

İtalya, korumaya dair 1974 tarihli 657 sayılı, 1998 tarihli 148 sayılı, 1999 tarihli 490 sayılı, 2004 tarihli 42 sayılı yasaları ve kullanıcılarının bilinç düzeyi sayesinde dünyadaki en öncü ülkelerden biri olmuştur. Bu sayede kentte konumlanan pek çok evrensel değer muhafaza edilerek günümüze kadar gelebilmiştir

[19]. Ancak söz konusu yasaların içerikleri bu makale kapsamını aştığından detaylı bilgi verilmemiştir. 2015 yılında ise ülkede, iklim değişikliğine uyum sağlamak için eylem planı oluşturulmuş ve kritik altyapılar başlığı altında kültürel mirasa yer verilerek yenilenebilir enerji kullanımının önemi vurgulanmıştır. İlâveten Türkiye’de de ilk kapsamlı koruma anlayışı 1973’de Eski Eserler Kanunu’nun çıkartılması ile olsa da genellikle tarihi çevrelerin bütüncül korunmasına odaklanılmış ve kültürel miras hakkında detaylı bir altyapı oluşturulmamıştır. Kültürel varlık ve miras kavramlarının yasalara yerleşmesi ancak 1982 yılında 2883 sayılı Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Yasası ile sağlanmıştır [15]. 2004’te söz konusu kanunun kapsamı genişletilerek 5226 sayılı kanun yürürlüğe girmiş ve bu kapsamda koruma amaçlı imar planı, alan yönetim planı gibi uluslararası düzeyde benimsenen kavramlar yer almıştır. Günümüzde halen yürürlüktedir. Türkiye’nin 2011’de hazırladığı İklim Değişikliği Eylem Planı’nda ise enerjinin korunması için yeni binalarda yenilenebilir enerjinin kullanılması belirtilse de kültürel miras ile ilgili önerilerde bulunulmamıştır [20].

III. KÜLTÜREL MİRASIN SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞİ VE ENERJİ KORUNUMUNUN DEĞERLENDİRİLMESİ

A. SASSİ Dİ MATERA (İTALYA)

Sassi di Matera kenti, İtalya’nın Basilicata bölgesinin Matera ilinde konumlanan bir yerleşimdir. Söz konusu kentin kuruluşu MÖ 7000’lere dayandığından insanoğlunun ilk yerleşim merkezlerinden biri olduğu tahmin edilmektedir. Fransız, Bizans ve Araplar, alanda yaşamsal faaliyetlerini sürdürdüğü için yerleşimde bu toplumlara ait izlerin ve geniş bir kültürel birikimin varlığından söz etmek mümkündür. Bu bağlamda 2019 yılında Avrupa Kültür Başkenti seçilmiştir [21]. 1993 yılından itibaren ise UNESCO Dünya Miras Listesi’nde yer almaktadır. Yerleşimi meydana getiren ve tuf taşının oyulmasıyla şekillenen mağara nitelikli konutlar ve kiliseler kente özgün bir doku katmıştır. Bu yapılar, birbirlerinin ışığını kesmeyecek bir biçimde yer altı ve yer üstü oyma kaya mağaraları olarak biçimlendirilmiştir. Böylelikle doğal havalandırma açıklıklar sayesinde sağlanmıştır [22]. Ayrıca Akdeniz iklim kuşağında yer aldığından kışlar yağışlı, yazlar ise sıcak geçmektedir. Nitekim geleneksel tekniklerle ve yerel malzeme kullanılarak inşa edilen bu kentsel doku, doğaya uygun bir biçimde tasarlandığı için enerjinin korunum kriterleri olan topoğrafyaya uyum, iklimsel faktörler, yapıların yönü, yeri, formu ve havalandırma ilkelerini sağlamaktadır. Bu sayede az bir miktarda enerji tüketilmiştir. 80 küçük kayalık bölgeden meydana gelen Matera’nın yoğun bir kentleşme durumu olmadığından özgün kentsel silüet Şekil 6’da görüldüğü gibi korunmuştur [23].Günümüzde söz konusu dokuda bulunan yapılar genellikle otel, konut ve kilise işlevlerinde kullanılmaktadır. Kentsel doku, zaman zaman çeşitli restorasyonlar geçirse de yeni fonksiyonun getirdiği ihtiyaçlar doğrultusunda yapıların özgünlüğü bozulmadan onarılmıştır [24]. Müdahale kapsamında ise yapay yollarla aydınlatılmıştır. Bu durum yapılardaki enerji tüketimini arttırdığından enerjinin korunması zorlaşmıştır.



Şekil 6. Sassi di Matera kentinin silueti [20'den uyarlanmıştır].

Ekosistem sürekli ısındığı için iklim değişikliğinden Sassi di Matera'nın da etkilenmesi kaçınılmazdır. Bu tehlikeler doğrultusunda kentin; aşırı yağmur yağışı, zemin ile yeraltı suyu seviyesinde değişim, sıcak hava dalgalarındaki artma, rüzgârla gelen materyallerde çoğalma, asit yağmurları, küflenme, mantar oluşumu ve böcek türemeleri gibi risklere maruz kalması olasıdır. Bu bağlamda yerleşimin görünümü değişebilir, kültürel miras yapıları zarar görebilir, yapı malzemeleri aşınabilir ya da kararabilir, yapılarda çatlaklar ile kabarmalar meydana gelebilir, yüzeyler aşınabilir, enerjinin korunumu zorlaşabilir ve özgün doku zarar görebilir. Dolayısıyla alan kullanılamaz bir duruma geldiğinde ise kullanıcıları tarafından terk edilebilir. Bu duruma bağlı olarak kültürel bellekte kayıpların yaşanacağı ve yerleşimin sosyal yapısında farklılaşmaların meydana geleceği mümkündür. Şekil 7'de görüldüğü gibi günümüzde yapılar üzerinde kararma, küflenme, aşınma durumlarının oluşması ifade edilen etkilerin ileri ki yıllarda daha da artacağını göstermektedir. Ayrıca nem oranının yüksek olması ve suyun içeri sızması nedeniyle yapıların iç kısımlarındaki freskler bozulmuş ve bu durum yüzeysel erozyonu başlatmıştır [22].



Şekil 7. Sassi di Matera kenti [25].

B. FERRARA KENTİ (İTALYA)

Kent, İtalya'nın Emilia-Romagna bölgesinde konumlanmakta olup Bologna ile Venedik'e komşudur. Yerleşimin etrafı, tarihi kalın duvarlar ile çevrelenmiştir. En önemli yapılarını Castello Estense Kalesi, Ulusal Arkeoloji Müzesi, Palazzo Dei Diamanti Müzesi (Resim Müzesi) ve Saint George (Ferrara) Katedrali/Müzesi oluşturmaktadır [26]. Castello Estense Kalesi'nin inşasına 1385'te başlanmıştır. Günümüzde halen kale işlevinde kullanılmakta ve kullanıcıların ziyaretine açık tutulmaktadır. Ulusal Arkeoloji Müzesi, Palazzo Dei Diamanti Müzesi (Resim Müzesi) ve Saint George (Ferrara) Katedrali/Müzesi ise Orta Çağ'da inşa edilen yapılar olup mevcut fonksiyonları isimlerinde de belirtildiği üzere müzedir. Dolayısıyla şehir, tarihi ve kültürel değerleri sayesinde değerli bir yerleşimdir. Ayrıca kentin tarihi planı, Avrupa'nın ilk modern şehir unvanı almasına katkı sağlamıştır. Kentteki yapıların neredeyse tamamı özgünlüğünü korumuştur. 1995'de ise kentsel dokunun korunması sebebiyle 'ayakta kalan evrensel bir değer olarak' UNESCO tarafından Dünya Miras Listesi'ne alınmıştır [27]. Şekil 8'de yerleşimin kentsel dokusu gösterilmiştir [28].



Şekil 8. Ferrara kenti [28].

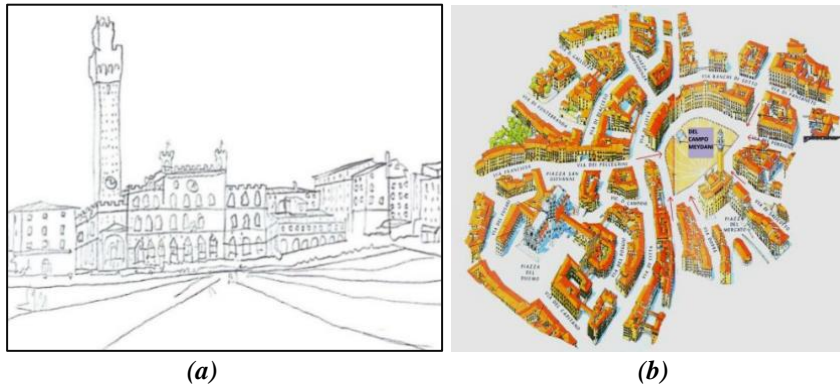
Tarihi kentler, yerel malzeme kullanılarak geleneksel tekniklerle doğaya uyumlu bir biçimde inşa edildikleri için sürdürülebilir mimarlığın en değerli örnekleri arasında yer almaktadır. Bu bağlamda Ferrara kenti de bu örneklerden biridir. Kentte konumlanan yapılar iklime ve topografyaya uygun inşa edilmiştir. Bu sayede enerji az bir miktarda tüketilip korunmuştur. Ancak küresel ısınma nedeniyle toprakların kimyasal yapısının bozulması, rüzgârların yön değiştirmesi, aşırı sıcak hava dalgalarının varlığı, mantar ve böcek gibi istilacı türlerin yaygınlaşacağı bilinen bir gerçektir. Bu bağlamda tarihi ve kültürel yapıda bozulmalar meydana gelebilir, özgün kent dokusu bozulabilir, yerleşimin silueti değişebilir, yapıların cepheleri aşınabilir, bu yapılarda strüktürel hasarlar yaşanabilir, bezemelerin rengi değişebilir. Alanın toprak yapısı değişirse yapıların zeminlerinde çökmeler görülebilir. Şekilde 9’da görüldüğü gibi günümüzde yapıların cephe yüzeylerinde çimlenme, malzemelerde kararma, silmelerde kopma, kemerlerde aşınma gibi durumlar meydana gelmeye başlamıştır [28]. Önlem alınmadığı takdirde belirtilen etkenlerin artacağı aşikârdır.



Şekil 9. Kentte konumlanan yapıların cepheleri [28].

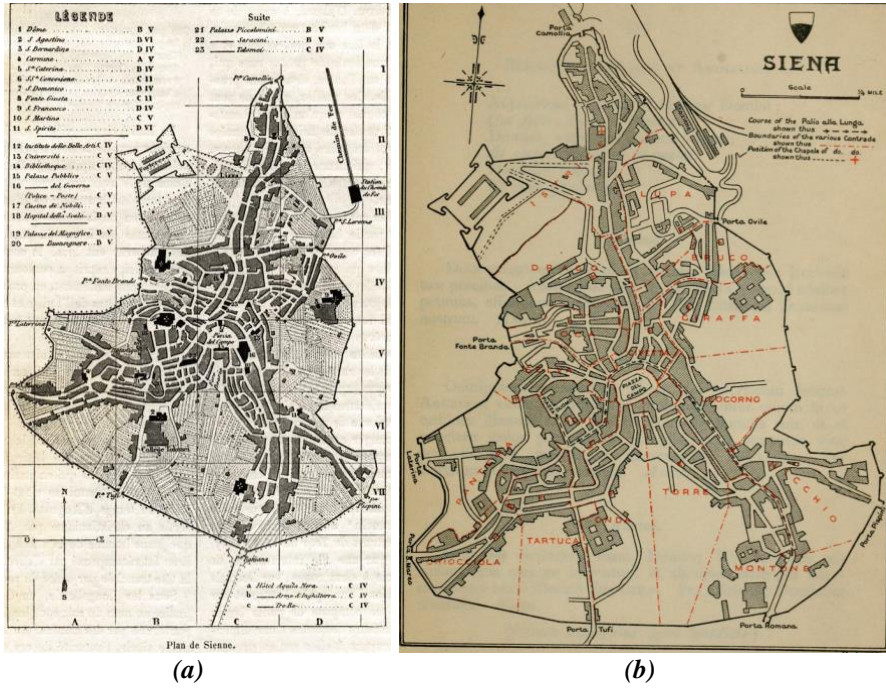
C. SIENA (İTALYA)

Siena, İtalya’nın Toskana bölgesinde konumlanmaktadır. Kentin sivil mimarisini kahverengi-kızıl renkli ve taş malzemeli yapılar meydana getirmektedir. [29]. Yerleşimin en ünlü meydanı ise Piazza del Campo Meydanı olup kentteki birçok dar sokak bu meydana çıkmaktadır. 1995 yılında UNESCO tarafından Dünya Miras Listesi’ne alınmıştır [30]. Kent, meydanın etrafında Y biçiminde kurgulanmış ve yapılar topografyaya göre merkeze eğimli bir biçimde yerleştirilmiştir [30]. Şekil 10’da meydanın silueti ve sokak giriş-çıkışları aktarılmıştır. 1297’de eğimin azaldığı alana, bir saray yapısı olan ve meydanın odak noktası durumuna gelen Palazzo Pubblico inşa edilmiştir. Günümüzde belediye binası olarak kullanılmaktadır [32]. 1339’da ise kırmızı tuğladan Mangia Kulesi yapılmış ve halen ziyaretçilere açık bulunmaktadır. Meydanın diğer bir odak noktası da 1409’da inşa edilen Gaia Çeşme’dir. Ayrıca yaz aylarında meydana, Palio Festivali düzenlenerek at yarışları yapılmıştır [33]. Dolayısıyla söz konusu yerleşim, bütün bu somut değerlerinin yanı sıra somut olmayan değerleriyle de kıymetli bir kenttir.



Şekil 10. (a) Siena Campo Meydanı silueti ve (b) sokak giriş-çıkışları [(a) yazarlar tarafından 34'ten uyarlanmış, (b) 35].

Siena'nın kentsel dokusunu oluşturan Campo Meydanı, günümüze kadar korunarak gelmiş ve halen aynı işlevde kullanılmaktadır. Şekil 11'de görüldüğü gibi 1866 ve 1904 yıllarında kentin ve meydanın formu değişmemiştir [36]. Özellikle bünyesinde yer alan yapıların çoğu Orta Çağ'da inşa edildiğinden kalın duvarlarla örülmüş ve yerel taş malzeme kullanılmıştır. Dolayısıyla hem duvarlar arasında hem de sokaklar ile yapıların konumlandırılmasında hava sirkülasyonu sağlanarak ısı alışverişi az bir seviyede gerçekleştirilmiş ve bu durum enerjinin korunmasına katkı sağlamıştır [33]. Ancak küresel ısınma nedeniyle dünyanın sıcaklığında sürekli olarak bir artışın gözlenmesi, tüm kentler için tehlike arz ettiğinden bu yerleşimde asit yağmurlarından, sıcak hava dalgalarından, rüzgârın esme yönündeki değişimlerinden, mantar oluşumundan, küflenmeden ve böceklenmeden etkilenmesi kaçınılmazdır. Bu bağlamda meydanda konumlanan yapıların cephesi aşınabilir, kararabilir, metal yüzeyler korozyona uğrayabilir, ahşap elemanlar çürüyebilir, çatlaklar ve kopmalar meydana gelebilir, enerji tüketimi artığından enerjinin korunması zorlaşabilir. Nitekim görsel bütünlük bozulabilir, insanoğlu göç edebilir ve gittikçe korunması zorlaşan somut ve somut olmayan değerler yitirilerek toplumsal ile kentsel bellekte kırılmalar yaşanabilir. Şekil 12'de görüldüğü gibi günümüzde bu yapılarda kararırma durumu nadir de olsa gözlenmektedir.



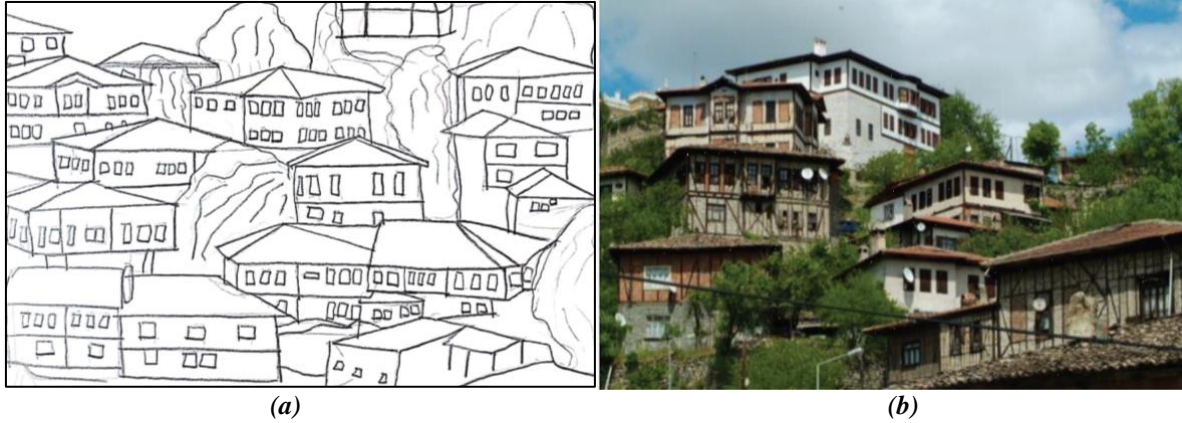
Şekil 11. (a) 1866 ve (b) 1904 yıllarında Siena kent planları [37].



Şekil 12. Cephe yüzeylerinde görülen durumlar [32].

D. TARİHİ SAFRANBOLU KENTİ

Tarihi Safranbolu kenti, konumu gereği Karadeniz kıyılarını Orta, Batı ve Kuzey Anadolu'ya bağlamaktadır. Yerleşim, günümüzde Karabük iline bağlı bir ilçedir. Kuruluşu MÖ 3000'lere kadar uzanmakta olup tarih boyunca Hititler, Romalılar, Osmanlılar gibi birçok topluma ev sahipliği yapmıştır. Nitekim bu toplumların yerleşmesindeki temel sebepler; zengin su kaynaklarının var olması, hayvancılığa elverişli bir ortamın bulunması, savunma açısından korunaklı bir bölgede yer almasıdır [38]. Şekil 13'te gösterildiği gibi kentsel doku, konutların topoğrafyaya uygun olarak manzaraya göre yerleştirilmesi ve doğal malzemenin kullanılması ile biçimlenmiştir. Özellikle kentte ahşabın varlığı, ahşap karkas arasına kerpiç ve taş malzeme doldurulan hımış yapım tekniğinin gelişmesine katkı sağlamıştır. Evler yamaçlara oturduğu için rüzgârdan ve kışın sert havasından koruma gerçekleştirilmiş ve söz konusu evler birbirlerinin güneşini kesmeyecek bir düzende açılı konumlandırılmıştır. Bu açılı konumlanma, kışın güneşten yararlanmayı yazın ise havalandırmayı sağlamaktadır. Sokakları eğimli olup taş döşeme ile kaplanmış ve yer yer çıkmaz sokaklar yer almıştır [39]. Nitekim Safranbolu, bol yağışlı doğal çevre ile ormanlık alanların içinde konumlanan özgün bir dokuya sahip olup coğrafi koşullara uygun bir eğilim göstermiştir. Bu bağlamda yerel malzemenin tercih edilmesi, yenilenebilir enerji kaynaklarının tüketilmesi ve doğayla uyumlu inşa edilmesi enerjinin korunmasına katkı sunmuş ve sürdürülebilirlik ilkelerini karşılayan en değerli örnekler arasında değerlendirilmiştir.

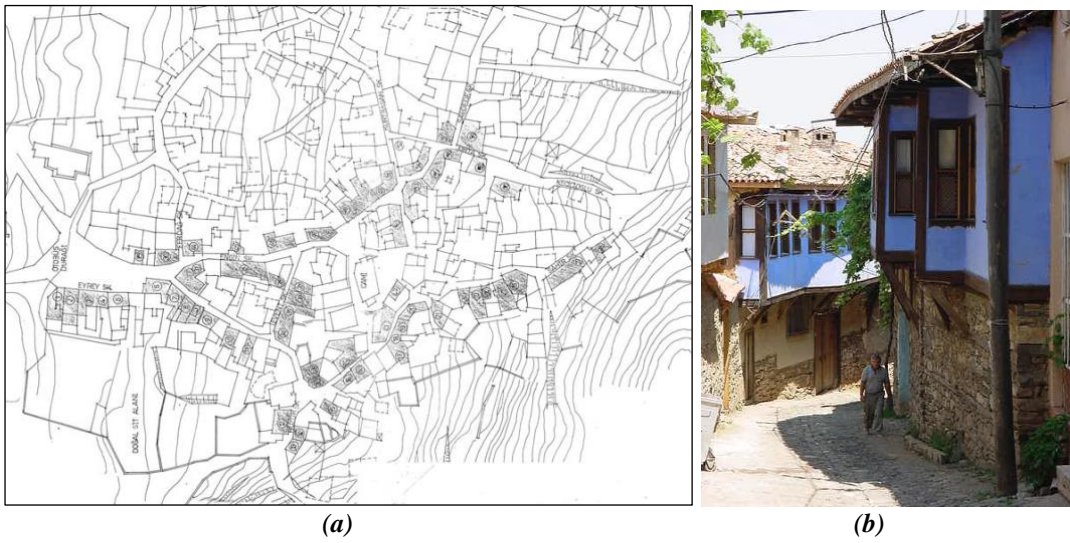


Şekil 13. (a) Tarihi Safranbolu kent silüeti ve (b) evlerin manzaraya göre konumlandırılışı [(a) yazarlar tarafından 40'dan uyarlanmış, (b) 39].

Korumanın öncü kentlerinden biri olarak UNESCO tarafından ise 17 Aralık 1994 yılında tescil edilmiş ve Dünya Miras Listesi'nde yer almıştır [41]. Günümüzde söz konusu kent, yerli kullanıcılar tarafından yöresel özelliklerini sürdürmekte ve birer açık hava müzesi olarak ziyaret edilmektedir. Ancak 21. yüzyılın en önemli problemi haline gelen küresel ısınma; nem, su ve asit seviyesinde değişim meydana getirmektedir. Safranbolu kenti, sürdürülebilir mimariyi yansıtan en değerli örnekler arasında yer alsa da yenilenebilir enerjinin kullanımı devam ettiği takdirde enerjinin korunması devam edecektir. Aksi takdirde koruma açısından oldukça ileri bir seviyede bulunan bu nadir yerleşimde değişimlerin yaşanması kaçınılmazdır. Özellikle dünyanın sıcaklığının her yıl arttığı düşünüldüğünde ileri ki süreçlerde kentin; sel felaketi, su seviyesinde farklılaşma, yeraltı toprağının kimyasal yapısında değişim, kırağı ve don artışı, heyelan, rüzgâr artışı gibi riskler ile karşı karşıya kalacağı aşikârdır. Bu bağlamda yapılarda çatlak ve kabarmalar, strüktürel aksaklıklar, bezemeli yüzeylerde hasarlar, kente özgünlük katan ahşap malzemelerde böceklenme, mantar türlerinde artışlar, zeminde kabarmalar veya çökmeler, strüktürel ahşap ile ahşap kaplama malzemelerde bozulmalar ve tarihi çevrenin silüetinde değişimler görülebilir. Dolayısıyla söz konusu alanın kullanıcıları burayı terk edebilir, toplumsal yapı değişebilir, sosyal etkileşim yok olabilir. Ancak günümüzde kentsel dokuda ve bu dokuda konumlanan yapılarda malzemenin aşınması ya da kirlenmesi gibi yüzeysel etkiler dışında geniş çaplı bir değişim bulunmamaktadır.

E. CUMALIKIZIK (BURSA) YERLEŞİMİ

Bursa'nın Yıldırım ilçesine bağlı mahalle olan kent, Uludağ'ın eteklerinde 1300'lü yıllarda kurulmuştur. UNESCO tarafından 2014 yılında Dünya Miras Listesi'ne alınarak tescil edilmiştir. Yerleşim, klasik dönem Osmanlı yapıları ile bu yapıların şekillendirdiği kaldırımsız, dar ve taş döşeli sokaklarla meydana gelen tarihi bir dokudur. Özellikle sivil mimarisini; kerpiç, ahşap veya moloz taş malzemeli 3 katlı cumbalı evler oluşturmaktadır [42]. Bu evlerin zemin katı moloz taş, üst katı ahşap karkas arası kerpiç dolgu olup üstleri kırma çatı ile örtülmüştür. Cepheler ise mavi, sarı, yeşil ve beyaz renkler ile boyanmıştır. Bu bağlamda geleneksel dokusu muhafaza edilerek günümüze ulaşmış ve Osmanlı kent biçimlenişini yansıtan değerli bölgelerden biri olmuştur. Günümüzde yerleşimde konumlanan sivil mimarlık örnekleri yerli halk tarafından kullanılmaya devam etmekte ve turistlerin ziyaretine açık bulunmaktadır. Konutlarla biçimlenen dar sokaklar, yapıların lodostan korunmasını sağlayarak enerji akışını düzenli bir seviyede tutmuştur. Nitekim birbirine bitişik nizamlı evler sayesinde rüzgâr kontrol edilmektedir [43]. Şekil 14'te yerleşimin dokusu gösterilmiştir.



Şekil 14. (a) Cumalıkızık kentsel dokusu ve (b) Konutlar ile sokakların biçimlenişi [a. 44, b. 45].

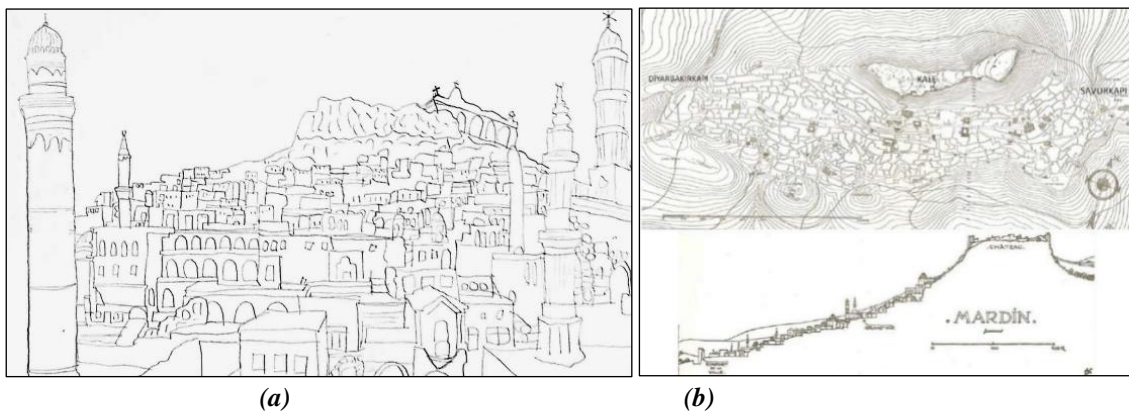
Tarihi doku topoğrafyaya uygun biçimlenmiş ve yerel malzeme ile yöresel tekniklerin kullanılması sürdürülebilir mimarlığın ilkelerini karşılamıştır. Bu yerel malzemeler, enerji verimliliğine katkı sağlamıştır. Söz konusu yerleşimde; küresel ısınmaya bağlı hava olaylarında artma, zemin suyunda ve nem döngüsünde değişme, donma-erime döngüsünde farklılaşma, rüzgârın getirdiği tuz ve kum gibi malzemelerde çoğalma, asit yağmurları, yeni böcek ve mantar türlerinin yaygınlaşması ilerleyen yıllarda beklenen risklerdir. Bu bağlamda yapılarda karbonatların çözünmesi nedeniyle aşınma, malzemede kararma ve metal korozyonu görülebilir. Aşınmaya bağlı yüzey bozulmaları, strüktürel çökmeler yaşanabilir. Isı nedeniyle cepheler bozulabilir, nem miktarının değişmesi sonucu çatlak ve kabarmalar görülebilir, bezemeler bozulabilir. Meydana gelen hasarlara bağlı olarak tarihi çevrenin özgün dokusu zedelenebilir, peyzaj alanlarının görünümü değişebilir. Yerleşim kullanılamaz bir seviyeye gelir ise toplum sağlığı etkilenebilir ve kentli başka bölgelere göç edebilir. Bu duruma bağlı olarak sosyal etkileşim azalabilir, kültürel hafıza yok olabilir ve toplumsal dönüşüm yaşanabilir. Ayrıca enerjinin korunması güçleşebilir ve enerji tüketimindeki artış gittikçe fazlalaşabilir. Şekilde 15'de görüldüğü gibi günümüzde alanda konumlanan yapıların ahşap malzemelerinde bozulma, yüzeylerinde mantar oluşumu, aşınma, kararma, renk değişimi, çatlak oluşumu gibi etkiler gözlenmiş ve iklim değişikliğine bağlı olarak bu etkilerin artacağı öngörülmektedir.



Şekil 15. Bozulma durumları [a. 44, b. 45].

F. MARDİN KÜLTÜREL PEYZAJ ALANI

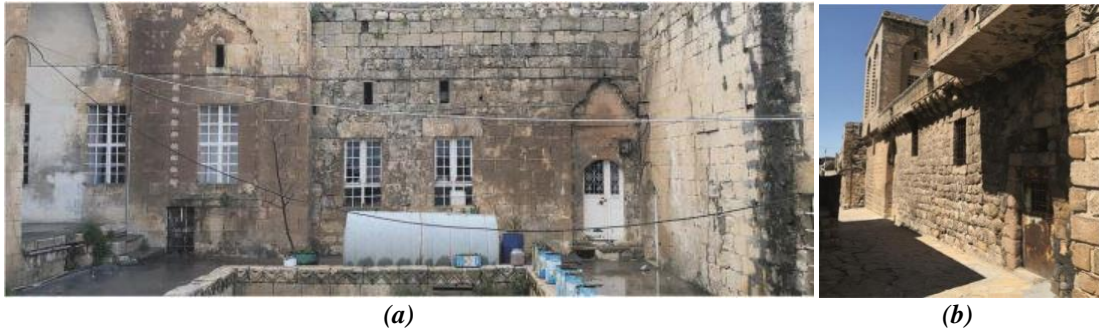
Mardin İli, Dicle ve Fırat Nehirlerinin birleşerek meydana getirdiği Mezopotamya Ovasında yer almaktadır. Kuruluşu kesin olmamakla birlikte MÖ 4500'lere dayandığı tahmin edilmektedir. Kent; Sümer, Babil, Pers, Bizans ve Osmanlı gibi çeşitli milletlere ev sahipliği yapmıştır. Dolayısıyla o zamanlardan günümüze değin bünyesinde birçok tarihi, kültürel ve mimari izler barındırmaktadır [46]. Kentin; toplumsal, kültürel ve ekonomik yapısı, iklimsel özellikleri, topoğrafyası, yapı malzemesi bir araya gelince kendine has organik bir dokusu meydana gelmiştir. Bu doku, yerleşimin güney yamacında doğu-batı yönünde gelişerek oluşmuştur. Bu kapsamda konutlar, Şekil 16'da görüldüğü gibi öncelikle düşey doğrultuda eğime uyumlu bir gelişme göstererek planlanmış ve iki katlı, kalker taş malzeme kullanılarak kâgir teknikle inşa edilmiştir. Sokaklar, eğime paralel uzanmış ve alanda çıkmaz sokaklar da bulunmaktadır [47]. Nitekim yapıların yerel malzemeler kullanılarak geleneksel yöntemlerle yöreye uygun bir biçimde inşa edilmesi enerjinin korunmasına katkı sağlamıştır. Yaz aylarının uzun sürüp aşırı kurak ve sıcak geçmesi avlulu plan tipolojilerinin tercih edilmesine neden olmuştur. Dolayısıyla yapıların hiçbirini diğerinin cephesini kapatmadan teraslar oluşturmuş ve söz konusu cephe genellikle güney tarafa yönlendirilmiştir. Bu bağlamda yerleşimin sürdürülebilir bir özellikte gelişme gösterdiği ve kaynakların bilhassa da enerjinin korunduğunu belirtmek mümkündür. Günümüzde yapılar, özgün işlevleriyle kentli tarafından kullanılmaya devam etmektedir.



Şekil 16. (a) Mardin kültürel peyzaj alanı ve (b) kentin topoğrafya kesiti [(a) 48'den uyarlanmış, (b) 49].

Yerleşim; somut değerlerinin yanı sıra somut olmayan kültürel mirasıyla da korunması gerekli bir bölgedir. 1979'da geleneksel kent merkezi "Kentsel Sit Alanı" olarak ilan edilmiştir. 2000 yılında ise UNESCO Geçici Miras Listesi'ne alınmıştır [50]. Fakat tam listeye alınması için alan yönetim raporunun hazırlanıp UNESCO'ya sunulması gerekmektedir. Nitekim zengin doğal unsurlar ile sosyal yapının birleşmesi kente özgün bir değer katsa da günümüzün en önemli sorunların biri olan küresel

ısınmadan etkileneceği açıktır. Dolayısıyla alan yönetim planı hazırlanırken bu problem üzerinde durulmalıdır. Toprağın kimyasal yapısının değişmesi, aşırı sıcak hava dalgasının varlığı, Basra rüzgârının taşıdığı kum tanelerinin artması, kuraklık, yeraltı su seviyesinin azalması, böcek ile mantar türlerinin yaygınlaşması ve küflenme durumları risk faktörleridir. Bu bağlamda alandaki yapılarda çatlaklar ve kabarmalar gözlenebilir, yapı malzemeleri ile bezemeler bozulabilir, toprağın yapısı değişerek zeminde kabarmalar ve çökmeler meydana gelebilir, aşırı sıcaklık sonucu cepheler aşınabilir, strüktürel aksaklıklar olabilir, erozyon yaşanabilir, taş malzemeler kararabilir. Bu duruma bağlı olarak yerleşimin özgün dokusunun zedelenmesi, toplumun başka bölgelere göç etmesine ve alana yeni kullanıcıların yerleşmesine neden olacağından kentsel belleğin sürekliliği kesintiye uğrama tehlikesiyle karşı karşıyadır. Nitekim Şekil 17’de görüldüğü gibi günümüzde iklim değişikliği nedeniyle belirtilen kararma gibi durumların gözlemlendiği görülmekte ve kapsamlı çözüm önerileri alınmadığı takdirde ekosistemin ısınmasına paralel olarak bu durumların artacağı beklenmektedir.

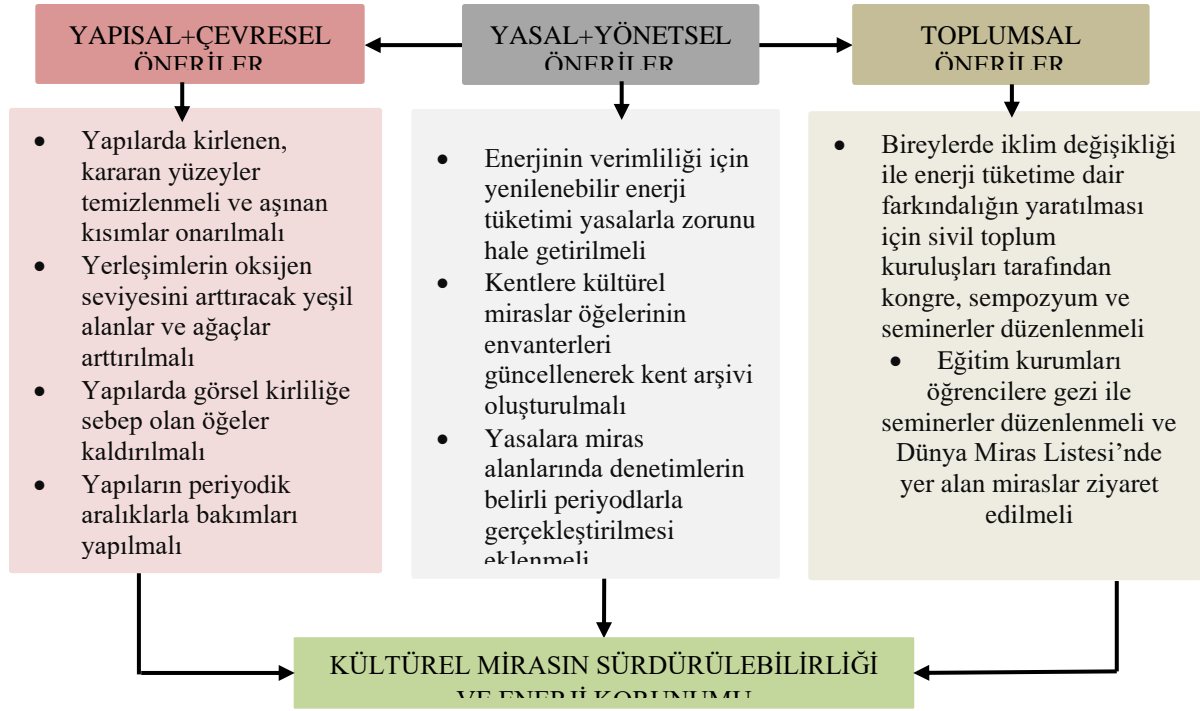


Şekil 17. Cephelelerde görülen durumlar [50].

IV. TARTIŞMA, ÖNERİLER VE SONUÇ

‘İklim Değişikliği Bağlamında Kültürel Mirasın Sürdürülebilirliği ve Enerji Korunumunun Değerlendirilmesi’ isimli bu makale çalışması kapsamında İtalya ile Türkiye’de konumlanan tarihi, kültürel, özgünlük, teknik ve teknolojik değerlere sahip evrensel nitelikli 6 adet örnek incelenmiştir. Söz konusu örnekler, yerel malzeme kullanılarak geleneksel yapıım teknikleri ile topoğrafyaya ve iklimsel koşullara uygun inşa edildiklerinden sürdürülebilir mimarlık ilkelerini karşılayan en değerli yerleşimler arasında yer almakta ve betonarme yapılara göre daha az enerji tüketip bu enerjiyi korumaktadır. Ancak gerekli koruma önlemleri alınmadığı takdirde tüm dünyanın küresel ısınma tehlikesiyle karşı karşıya kalacağı ve iklim değişikliğinden etkileneceği bilinen bir gerçektir. Çalışma kapsamında incelenen örneklerin ise günümüzde etkilenmeye başladığı bilhassa koruma konusunda öncü bir ülke olan İtalya’da bile gözüktüğü görülmüştür. Bu durum evrensel değere sahip bu örneklerin gelecek kuşaklara aktarılmasını zorlaştırmakta ve yok olma tehlikesini ortaya çıkartmaktadır. Ayrıca yapılar yıkılıp yerlerine yenileri yapıldığında ise hem mevcut enerji muhafaza edilmediğinden ekosisteme fazladan karbondioksit salınmakta hem de yapıım ve kullanım aşamalarında tekrardan enerji harcanarak dünyadaki enerji tüketimi artmaktadır. Dolayısıyla iklim değişikliği ve enerjinin korunmasına dair kapsamlı çözüm önerilerinin alınması gerekmektedir.

Koruma konusunda ilk kapsamlı çerçeveyi oluşturan Venedik Tüzüğü’nde ve diğer koruma çalışmalarında, sürdürülebilir kalkınma amaçları başta olmak üzere öteki uluslararası girişimlerde ve İtalya ile Türkiye’nin hem koruma yasalarında hem de eylem planlarında iklim değişikliği karşısında kültürel mirasın sürdürülebilirliğine ve enerji korunumuna ilişkin yeterli çözümlerin önerilmediği araştırmalar doğrultusunda bulunmuştur. Bu bağlamda seçilen örneklerde görülen etkilerin azaltılıp enerji korunumlarının devam ettirilmesi ve finansal ile hukuki şartların oluşturulması bu makale kapsamını aşan disiplinler arası bir çalışma gerektirdiğinden söz konusu makale doğrultusunda Şekil 18’de görüldüğü gibi öneri bir model geliştirilerek ilerde yapılacak çalışmalara kaynaklık etmesi ve altyapı oluşturması hedeflenmiştir.



Şekil 18. Kültürel mirasın sürdürülebilirliği ve enerji korunumuna dair model önerisi.

Sonuç olarak tarihi yerleşimler ve bu yerleşimlerde konumlanan kültürel miraslar evrensel niteliğe sahip korunması gerekli yerlerdir. Özellikle sürdürülebilir mimarlığın öncü örnekleri arasında yer aldıklarından az bir seviyede enerji tüketmektedirler. Ancak günümüzün ve ileriki zamanların en büyük küresel sorunu haline gelen iklim değişiminden etkilenecekleri bilinen bir gerçektir. Dolayısıyla bu çalışma boyunca Türkiye ile korumada öncü bir ülke olan ve dünya miras listesinde Avrupa sınırları içerisinde en fazla mirası bulunan İtalya'dan örnekler seçilerek iklim değişimi bağlamında sürdürülebilirlikleri ve enerji korunumları irdelenmiştir. Araştırma kapsamında kavramsal çerçeve oluşturulduktan sonra söz konusu örneklerin iklim değişikliği karşısında sürdürülebilirlikleri ve enerji korunumları analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular doğrultusunda tespit edilen olumsuz etkilerin azaltılıp bu korunumlarının devam ettirilmesi için öneri bir model sunulmuştur. Bu model ile toplumun küresel ısınmaya dair farkındalığının artırılarak söz konusu değerlerin muhafaza edilmesi ve gelecek kuşaklara aktarılması öngörülmektedir.

TEŞEKKÜR: Bu çalışmada fotoğraf arşivini bizimle paylaşan çok değerli hocam Dr. Öğretim Üyesi Sayın Nur UMAR'a teşekkürlerimizi sunarız.

V. KAYNAKLAR

- [1] C. Aksu, *Sürdürülebilir Kalkınma ve Çevre*, Türkiye: Güney Ege Kalkınma Ajansı, 2011.
- [2] Climate Change 2007: (IPCC). (2021, 30 Ekim). *Impacts, adaptation and vulnerability* [Çevrimiçi]. Erişim: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ar4_wg2_full_report.pdf.
- [3] A. Sev, *Sürdürülebilir Mimarlık*, 1. Baskı, İstanbul, Türkiye: Yapı Endüstri Merkezi Yayınları, 2009.
- [4] Esin, Yüksek, "Çevre dostu ekolojik yapılar," *5.Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu(IATS'09)*, Karabük, Türkiye,2009.

- [5] B. Kışlalıoğlu, F. Berkes, *Ekoloji ve Çevre Bilimleri*, İstanbul, Türkiye: Remzi Kitabevi, 2003.
- [6] T. Tıkansak, “Konutlarda enerji etkinliği,” *Iconarp International Journal of Architecture and Plannig*, c. 1, s. 2, ss. 189-200, 2013.
- [7] United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). (2021, 30 Ekim). *1992 Reports* [Çevrimiçi]. Erişim: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf>.
- [8] Climate Change 2013: (IPCC). (2021, 30 Ekim). *2013 Synthesis report* [Çevrimiçi]. Erişim: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_all_final.pdf.
- [9] Climate Change 2001: (IPCC). (2021, 30 Ekim). *2001 Synthesis report* [Çevrimiçi]. Erişim: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/SYR_TAR_full_report.pdf.
- [10] LEED. (17.04.2022). *LEED Rating Systems* [Çevrimiçi]: <https://www.usgbc.org/leed>
- [11] F. Doğan, “Sürdürülebilir tasarım ilkelerinin sağlık yapılarını şekillendirmesi,” Yüksek lisans tezi, Mimarlık ABD, Beykent Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2009.
- [12] S. Kaplan, “Enerji kimlik belgesi uygulamasının bina enerji performansını etkileyen tasarım parametreleri ve yeşil bina sertifika sistemleri bağlamında değerlendirilmesi,” Yüksek lisans tezi, Mimarlık ABD, Dicle Üniversitesi, Diyarbakır, Türkiye, 2018.
- [13] C. Tweed, M. Sutherland, “Built cultural heritage and sustainable urban development,” *Landscape and Urban Planning*, vol. 83, no. 1, pp. 62-69, 2007.
- [14] UNESCO, “Third Medium-Term Plan,” UNESCO Executive Board 130th Session, France, Reports, 107, 1989.
- [15] Z. Ahunbay, “Anıtlarda bozulmaya neden olan etmenler,” *Tarihi Çevre Koruma ve Restorasyon*, 5. baskı. İstanbul, Türkiye: Yapı Endüstri Merkezi Yayınları, 2009, bölüm 3, ss. 38-58.
- [16] ICOMOS. (2021, 30 Ekim). *1964 Venedik Tüzüğü* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.icomos.org/venicecharter2004/turkish.pdf>
- [17] L. Thomas, J. Middleton, A. Phillips. (2021, 30 Ekim). *Guidelines for management planning of protected areas* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://portals.iucn.org/library/efiles/documents/pag-010.pdf>
- [18] Z. Ahunbay, *Tarihi Çevre Koruma ve Restorasyon*, İstanbul, Türkiye: Yapı Endüstri Merkezi Yayınları, 2009, ss. 192.
- [19] ICOMOS. (16.04.2022). *Salalah Guidelines for the Management of Public Archaeological Sites (2017)* [Çevrimiçi]. Erişim: https://www.icomos.org/images/DOCUMENTS/General_Assemblies/19th_Delhi_2017/Working_Documents-First_Batch-August_2017/GA_2017_6-33_SalalahGuidelines_EN_final20170730.pdf
- [20] Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (16.04.2022). *Eylem Planı* [Çevrimiçi]: https://webdosya.csb.gov.tr/db/iklim/editordosya/file/eylem%20planlari/Iklim%20Degisikligi%20Eylem%20Plani_TR.pdf
- [21] Wikipedia. (2021, 16 Kasım). *Sassi di Matera* [Çevrimiçi]. Erişim: https://tr.wikipedia.org/wiki/Sassi_di_Matera

- [22] E. Negro, T. Cardinale, N. Cardinale, G. Rospi, “Italian guidelines for energy performance of cultural heritage and historical buildings: the case study of the Sassi of Matera,” *Energy Procedia*, v. 97, pp. 7-14, 2016.
- [23] F. Gizzi, M. Sileo, M. Biscione, M. Danese, M. Buergo, “The conservation state of the Sassi of Matera site (Southern Italy) and its correlation with the environmental conditions analysed through spatial analysis techniques,” *Journal of Cultural Heritage*, v. 17, pp. 61-74, 2016.
- [24] A. Kırbaş, “Kaya oyma mekanların turizm amaçlı yeniden kullanımı: Argos in Cappadocia örneği,” Yüksek lisans tezi, İç Mimari Tasarım ABD, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2019.
- [25] Matera. (16.04.2022). *Matera* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.chiesadimilano.it/news/arte-cultura/lirc-ambrosiana-a-matera-per-la-passione-di-cristo-263688.html>
- [26] UNESCO. (2021, 25 Kasım). *Ferrara city of the renaissance and its po Delta* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://whc.unesco.org/en/list/733>
- [27] D. Pini, “Urban Mobility in the City of Ferrara,” *Indian Heritage Cities Network Third Biennial Conference*, Indian, 2011.
- [28] N. Umar, *Fotoğraf Arşivi*, Adana, 2017.
- [29] UNESCO. (2021, 25 Kasım). *Historic centre of Siena*. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://whc.unesco.org/en/list/717>
- [30] UNESCO. (16.04.2022). *Historic Centre of Siena* [Çevrimiçi]. Erişim: <http://whc.unesco.org/en/list/717/>
- [31] M. Çaçtaş, “Kent meydanlarının fonksiyonellikleri açısından irdelenmesi: İzmir örneği,” Yüksek lisans tezi, Bahçeşehir Üniversitesi Yüksek lisans tezi, Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi, Bahçeşehir Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2016.
- [32] Great Public Spaces. (17.04.2022). *Piazza del Campo* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.pps.org/places/piazza-del-campo>
- [33] A. Scala, F. Gabrielli, M. Giamello, S. Mugnaini, “Archaeometric analysis of building mortars used in the historic centre of Siena (Italy) between the 13th and 16th centuries,” *Journal of Archaeological Science: Reports*, v. 35, 2021.
- [34] Wikipedia. (2021, 16 Kasım). *Piazza del Campo* [Çevrimiçi]. Erişim: https://tr.wikipedia.org/wiki/Piazza_del_Campo
- [35] D. Erten, Arşiv, *Fotoğraf Arşivi*, 2013.
- [36] D. Sayın, “Meydanı oluşturan yapıların fonksiyonel sürekliliği: Beyazıt meydanı örneği,” Yüksek lisans tezi, Mimarlık ABD, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2019.
- [37] Siena. (17.04.2022). *Siena* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.arcgis.com/>
- [38] İ.Y. Hacısalıhoğlu, 1995. “Şehir coğrafyası açısından Safranbolu-Karabük ikilemi,” Doktora tezi, Beşeri ve İktisadi Coğrafya ABD, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 1995.

- [39] S. G. Bozkurt, H. Altınçekiç, “Anadolu’da geleneksel konut ve avluların özellikleri ile tarihsel gelişiminin Safranbolu evleri örneğinde irdelenmesi,” *Journal of the Faculty of Forestry, Istanbul University*, c. 63, s. 1, ss. 69-91, 2013.
- [40] Haber Sitesi. (2021, 1 Kasım). [Çevrimiçi]. *Tarihi Safranbolu nerede?* Erişim: <https://www.mynet.com/tarihi-safranbolu-nerede-safranbolu-hangi-ile-bagli-safranbolu-yol-tarifi-190101251204>
- [41] T.C Kültür ve Turizm Bakanlığı. (2021, 1 Kasım). *Safranbolu* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://karabuk.ktb.gov.tr/TR-63695/safranbolu.html>
- [42] N. Akinciturk, M. Kilic, “A study on the fire protection of historic Cumalıkızık village,” *Journal of Cultural Heritage*, vol. 5, no. 2, pp. 213-219, 2004.
- [43] M. M. Güleç, “700 yıllık tarihi geçmişe sahip bursa cumalıkızık köyü alan araştırmasının sosyolojik analizi,” *Uludağ Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Sosyal Bilimler Dergisi*, c. 12, s. 20, ss. 35-49, 2011.
- [44] N. Akincitürk, “700 yıllık Cumalıkızık köyü yapısal sorunlarının fiziksel boyutu,” *Uludağ Üniversitesi Mühendislik - Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 7, s. 1, ss. 197-210, 2002.
- [45] Z. S. Perker, N. Akincitürk, “Geleneksel Cumalıkızık evlerinde ahşap konut sistemi,” *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 16, S. ss. 41-51, 2011.
- [46] F. Alioğlu, “Koruma konusunda geliştirilmiş yaklaşımlar ve Mardin örneği”, *A.Ü. DTCF Fakülte Dergisi*, c. 36, s. 1 ss. 262-280, 1993.
- [47] M. Tunçer, “Mardin’in korunması ve UNESCO Dünya Miras Listesi’ne girmesi,” *İdealkent dergisi*, c. 4, s. 9, Mayıs 2013, ss. 94-113, 2013.
- [48] Haber Sitesi. (2021, 16 Kasım). *Sonbaharda Mardin* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://blog.ofix.com/mardin/>
- [49] A. Gabriel, *Voyages Archeologiques Dans la Turquie Orientale*, E. De Boccard, Paris, 1940.
- [50] C. Yıldırım, “Mardin’in geleneksel konutlarında iklimsel konfor elemanlarının incelenmesi,” Yüksek lisans tezi, Mimarlık ABD, Dicle Üniversitesi, Diyarbakır, Türkiye, 2019.



Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

Mean inequalities with the help of the weighted Jensen inequality

 Mehmet Zeki SARIKAYA ^{a,*},  Gizem KOZAN ^b

^a Department of Mathematics, Faculty of Science and Arts, Düzce University, Düzce, TURKEY

^b Department of Mathematics, Faculty of Science and Arts, Düzce University, Düzce TURKEY

* Corresponding author's e-mail address: sarikayamz@gmail.com

DOI: 10.29130/dubited.1153656

ABSTRACT

In this article, our aim is to first obtain a new integral inequality with the weighted Jensen inequality, and by applying this inequality, new mean inequalities will be obtained.

Keywords: Convex functions, Jensen's inequality, mean inequalities.

Ağırlıklı Jensen eşitsizliği yardımıyla ortalama eşitsizlikler

ÖZET

Bu makalede amacımız, ağırlıklı Jensen eşitsizliği ile ilk olarak yeni bir integral eşitsizliği elde etmek ve bu eşitsizliğin uygulanması ile yeni ortalama eşitsizlikler elde edilecektir.

Anahtar Kelimeler: Konveks fonksiyonlar, Jensen eşitsizliği, ortalama eşitsizlikler.

I. GİRİŞ

Jensen eşitsizliklerinin [3], [6] optimizasyonda (bakınız, ör., [4]), olasılık teorisinde (bakınız, ör., [5]) ve matematiğin birçok alanında önemli bir rol oynadığı bilinmektedir. Ayrıca, Jensen eşitsizliği, yıllar içinde, ölçülebilir uzaylar ve özellikle olasılık uzayları gibi çeşitli bağlamlarda artan sayıda yeni versiyonlara sahiptir [2]. Jensen eşitsizliği; $f : (a,b) \rightarrow R$ konveks bir fonksiyon ve $n \in N$, $r_1 + r_2 + \dots + r_n = 1$ olacak şekilde $r_1, r_2, \dots, r_n \in (0,1)$ olsun. O halde $x_1, x_2, \dots, x_n \in (a,b)$ için

$$f(r_1x_1 + r_2x_2 + \dots + r_nx_n) \leq r_1f(x_1) + r_2f(x_2) + \dots + r_nf(x_n)$$

olarak bilinmektedir. Bu eşitsizliğin ağırlıklı versiyonu ise $f : I \rightarrow R$ konveks bir fonksiyon, $x_1, x_2, \dots, x_n \in I$ ve $m_1 + m_2 + \dots + m_n > 0$ olacak şekilde $m_1, m_2, \dots, m_n \geq 0$ reel sayılar olsun. O halde

$$f\left(\frac{m_1x_1 + m_2x_2 + \dots + m_nx_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n}\right) \leq \frac{m_1f(x_1) + m_2f(x_2) + \dots + m_nf(x_n)}{m_1 + m_2 + \dots + m_n}.$$

Jensen eşitsizlikleri literatürde önemli bir yere sahip olduğu bilinmektedir. Öyle ki bu eşitsizlikler yardımıyla Aritmetik-Geometrik Ortalama(AO-GO), Cauchy-Schwarz, Young, Hölder ve Minkowski gibi literatürde çokça kullanılan bu eşitsizliklerin bazılarını kolayca elde edilebildiğini aşağıdaki fonksiyon seçimleri ile kolayca görülmektedir.

a) $f(x) = -\ln x$ fonksiyonu $(0, \infty)$ aralığı üzerinde konveks fonksiyon olduğunda $r_1 = r_2 = \dots = r_n = \frac{1}{n}$ ve $x_i \in (0, \infty)$, $i = 1, 2, \dots, n$ seçilmesi ile Jensen eşitsizliğini uygularsak

$$-\ln\left(\frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}\right) \leq -\left(\frac{\ln x_1 + \ln x_2 + \dots + \ln x_n}{n}\right)$$

olup gerekli düzenlemeler yapıldığında

$$\sqrt[n]{x_1x_2\dots x_n} \leq \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

yani

$$GO \leq AO$$

bulunur.

b) $f(x) = x^2$ fonksiyonu R konveks fonksiyon olduğunda ağırlıklı Jensen eşitsizliğini uygularsak

$$\left(\frac{m_1x_1 + m_2x_2 + \dots + m_nx_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n}\right)^2 \leq \frac{m_1x_1^2 + m_2x_2^2 + \dots + m_nx_n^2}{m_1 + m_2 + \dots + m_n}$$

olup burada $m_i = b_i^2$ ve $x_i = \frac{a_i}{b_i}$, $i = 1, 2, \dots, n$ seçilmesi ile

$$(a_1b_1 + a_2b_2 + \dots + a_nb_n)^2 \leq (a_1^2 + a_2^2 + \dots + a_n^2)(b_1^2 + b_2^2 + \dots + b_n^2)$$

şeklinde Cauchy-Schwarz eşitsizliği bulunur.

c) $f(x) = e^x$ fonksiyonu $(0, \infty)$ aralığında konveks fonksiyon olduğunda $r_1 + r_2 = 1$ olacak şekilde $r_1 = \frac{1}{p}$, $r_2 = \frac{1}{q}$ ve $x_1 = p \ln a$, $x_2 = q \ln b$ seçilmesi ile

$$e^{\frac{x+y}{p+q}} \leq \frac{e^x}{p} + \frac{e^y}{q}$$

eşitsizliğinde gerekli düzenlemeler yapılırsa

$$ab \leq \frac{a^p}{p} + \frac{b^q}{q}$$

şeklinde Young eşitsizliği bulunur.

İntegraller için ağırlıklı Jensen eşitsizliği aşağıdaki şekilde verilir [5].

Teorem 1. (Ağırlıklı Jensen Eşitsizliği) $F : [a, b] \rightarrow R$ konveks ve $g : (a, b) \rightarrow R$ sürekli ve $\int_a^b f(x)dx < \infty$

$$F\left(\frac{\int_a^b f(x)g(x)dx}{\int_a^b f(x)dx}\right) \leq \frac{1}{\int_a^b f(x)dx} \int_a^b f(x)F(g(x))dx$$

dır.

$a, b > 0$ olmak üzere bazı önemli ortalama eşitsizliklerini aşağıdaki şekilde hatırlatalım [1]:

1) Aritmetik Ortalama

$$AO = A(a, b) = \frac{a+b}{2},$$

2) Geometrik Ortalama

$$GO = G(a, b) = \sqrt{ab},$$

3) Harmonik Ortalama

$$HO = H(a, b) = \frac{2ab}{a+b},$$

4) Logaritmik Ortalama

$$LO = L(a, b) = \begin{cases} a & , a = b \text{ için} \\ \frac{b-a}{\ln b - \ln a} & , a \neq b \text{ için} \end{cases},$$

5) Özdeş Ortalama

$$IO = I(a, b) = \begin{cases} a & , a = b \text{ için} \\ \frac{1}{e} \left(\frac{b^b}{a^a}\right)^{\frac{1}{b-a}} & , a \neq b \text{ için} \end{cases},$$

6) p -Logaritmik Ortalama

$$L_p O = L_p(a, b) = \begin{cases} a & , a = b \text{ için} \\ \left[\frac{b^{p+1} - a^{p+1}}{(p+1)(b-a)}\right]^{\frac{1}{p}} & , a \neq b \text{ için} \end{cases}.$$

Dolayısıyla bu ortalamalar arasında

$$HO \leq GO \leq LO \leq IO \leq AO$$

şeklinde bir ilişki vardır.

Bu çalışmada amacımız yukardaki özel eşitsizliklerin elde edilmesi düşüncesi ile ağırlıklı Jensen eşitsizliğinin uygulamasıyla yeni bir eşitsizlik tanımlamaktır. Böylece elde edilen bu eşitsizliğin uygulamaları yardımıyla da bazı ortalama eşitsizlikler elde edilecektir.

II. ANA SONUÇLAR

Teorem 2. *Negatif olmayan $f, g \in L^\alpha([a, b])$, $0 < a < b$, $\alpha \geq 1$ için*

$$\left(\int_a^b f(x)g(x)dx \right)^\alpha \leq (b-a)^{(\alpha-2)} \left(\int_a^b f^\alpha(x)dx \right) \left(\int_a^b g^\alpha(x)dx \right) \quad (1)$$

dır.

İspat. $F(t) = t^{\alpha-1}$, $\alpha \geq 1$ konveks fonksiyonu için ağırlıklı Jensen eşitsizliğini uygulanırsa, bu durumda

$$\left(\frac{\int_a^b f(x)g(x)dx}{\int_a^b f(x)dx} \right)^{\alpha-1} \leq \frac{1}{\int_a^b f(x)dx} \int_a^b f(x)g^{\alpha-1}(x)dx,$$

$$\left(\int_a^b f(x)g(x)dx \right)^{\alpha-1} \leq \left(\int_a^b f(x)dx \right)^{\alpha-2} \int_a^b f(x)g^{\alpha-1}(x)dx$$

yazılır. Buradan da $\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = 1$ olacak şekilde $p = \alpha$, $q = \frac{\alpha}{\alpha-1}$ seçilmesi ile Hölder eşitsizliğini

sağ taraftaki integrallere uygulanırsa,

$$\begin{aligned} & \left(\int_a^b f(x)g(x)dx \right)^{\alpha-1} \\ & \leq \left[\left(\int_a^b f^\alpha(x)dx \right)^{\frac{1}{\alpha}} \left(\int_a^b dx \right)^{\frac{\alpha-1}{\alpha}} \right]^{(\alpha-2)} \left(\int_a^b f^\alpha(x)dx \right)^{\frac{1}{\alpha}} \left(\int_a^b g^\alpha(x)dx \right)^{\frac{\alpha-1}{\alpha}} \\ & = (b-a)^{\frac{(\alpha-1)(\alpha-2)}{\alpha}} \left(\int_a^b f^\alpha(x)dx \right)^{\frac{\alpha-1}{\alpha}} \left(\int_a^b g^\alpha(x)dx \right)^{\frac{\alpha-1}{\alpha}} \end{aligned}$$

olur. Böylece

$$\left(\int_a^b f(x)g(x)dx \right)^\alpha \leq (b-a)^{(\alpha-2)} \left(\int_a^b f^\alpha(x)dx \right) \left(\int_a^b g^\alpha(x)dx \right)$$

istenilen eşitsizlik elde edilmiş olur.

Sonuç 3. $\alpha \geq 1$ ve $0 < a < b$ olmak üzere

$$L_\alpha(a, b) \leq L_{\alpha(\alpha-1)}(a, b) \quad (2)$$

ortalama eşitsizliği sağlanır. Burada $L_\alpha(a, b) = \left(\frac{b^{\alpha+1} - a^{\alpha+1}}{(\alpha+1)(b-a)} \right)^{\frac{1}{\alpha}}$ dır.

İspat. (1) eşitsizliğinde $f(x) = x$ ve $g(x) = x^{\alpha-1}$, $\alpha \geq 1$ olacak şekilde seçilirse

$$\left(\int_a^b x^\alpha dx \right)^{\alpha-1} \leq (b-a)^{\alpha-2} \left(\int_a^b x^{\alpha(\alpha-1)} dx \right)$$

$$\left(\frac{b^{\alpha+1} - a^{\alpha+1}}{\alpha + 1} \right)^{\alpha-1} \leq (b-a)^{\alpha-2} \frac{b^{\alpha(\alpha-1)+1} - a^{\alpha(\alpha-1)+1}}{\alpha(\alpha-1)+1}$$

$$\left(\frac{b^{\alpha+1} - a^{\alpha+1}}{(\alpha + 1)(b-a)} \right)^{\alpha-1} \leq \frac{b^{\alpha(\alpha-1)+1} - a^{\alpha(\alpha-1)+1}}{(\alpha(\alpha-1)+1)(b-a)}$$

$$\left(\frac{b^{\alpha+1} - a^{\alpha+1}}{(\alpha + 1)(b-a)} \right)^{\frac{1}{\alpha}} \leq \left(\frac{b^{\alpha(\alpha-1)+1} - a^{\alpha(\alpha-1)+1}}{(\alpha(\alpha-1)+1)(b-a)} \right)^{\frac{1}{\alpha(\alpha-1)}}$$

$$L_{\alpha}(a, b) \leq L_{\alpha(\alpha-1)}(a, b)$$

elde edilir ve istenilen sonuç elde edilmiş olur.

Hatırlatma 4. Özel olarak (2) eşitsizliğinde $\alpha = 2$ için $L_2(a, b) = L_2(a, b)$ olur. Diğer yandan, (2) de $\alpha = 3$ alınırsa $L_3(a, b) < L_6(a, b)$ bulunur.

Sonuç 5. $\alpha \geq 1$ ve $0 < a < b$ olmak üzere

$$L_{\frac{\alpha+1}{\alpha}}^{\alpha+1}(a, b) \leq L_{\alpha}^{\alpha}(a, b)A(a, b) \quad (3)$$

ortalama eşitsizliği sağlanılır. Burada $A(a, b) = \left(\frac{b+a}{2}\right)$ dir.

İspat. (1) eşitsizliğinde $f(x) = x$ ve $g(x) = x^{\frac{1}{\alpha}}$, $\alpha \geq 1$ olacak şekilde seçilirse

$$\left(\int_a^b x^{\frac{\alpha+1}{\alpha}} dx \right)^{\alpha} \leq (b-a)^{\alpha-2} \left(\int_a^b x^{\alpha} dx \right) \left(\int_a^b x dx \right)$$

$$\left(\frac{b^{\frac{2\alpha+1}{\alpha}} - a^{\frac{2\alpha+1}{\alpha}}}{\frac{2\alpha+1}{\alpha}(b-a)} \right)^{\alpha} \leq \left(\frac{b^{\alpha+1} - a^{\alpha+1}}{(\alpha+1)(b-a)} \right) \left(\frac{b^2 - a^2}{2(b-a)} \right)$$

$$\left(\frac{b^{\frac{2\alpha+1}{\alpha}} - a^{\frac{2\alpha+1}{\alpha}}}{\frac{2\alpha+1}{\alpha}(b-a)} \right)^{\alpha \frac{(\alpha+1)}{(\alpha+1)}} \leq \left(\frac{b^{\alpha+1} - a^{\alpha+1}}{(\alpha+1)(b-a)} \right)^{\alpha \frac{1}{\alpha}} \left(\frac{b+a}{2} \right)$$

$$L_{\frac{\alpha+1}{\alpha}}^{\alpha+1}(a, b) \leq L_{\alpha}^{\alpha}(a, b)A(a, b)$$

elde edilir ve istenilen sonuç elde edilmiş olur.

Hatırlatma 6. Özel olarak (3) eşitsizliğinde $\alpha = 2$ için $L_{\frac{3}{2}}^3(a, b) \leq L_2^2(a, b)A(a, b)$ yazılır.

Sonuç 7. $\alpha \geq 1$ ve $0 < a < b$ olmak üzere

$$L_{-\alpha}^{\alpha}(a, b)L_{\frac{1}{\alpha}}(\ln a, \ln b) \leq L^{\alpha}(a, b) \ln I(a, b) \quad (4)$$

ortalama eşitsizliği sağlanılır.

İspat. (1) eşitsizliğinde $f(x) = \frac{1}{x}$ ve $g(x) = \ln^{\frac{1}{\alpha}} x$, $\alpha \geq 1$ olacak şekilde seçilirse

$$\left(\int_a^b \ln^{\frac{1}{\alpha}} x \frac{dx}{x} \right)^{\alpha} \leq (b-a)^{\alpha-2} \int_a^b x^{-\alpha} dx \int_a^b \ln x dx$$

$$(\ln b - \ln a)^{\alpha} \left(\frac{(\ln b)^{\frac{1}{\alpha}+1} - (\ln a)^{\frac{1}{\alpha}+1}}{(\frac{1}{\alpha}+1)(\ln b - \ln a)} \right)^{\alpha} \leq (b-a)^{\alpha-2} \left(\frac{b^{-\alpha+1} - a^{-\alpha+1}}{-\alpha+1} \right) [b(\ln b - 1) - a(\ln a - 1)]$$

$$\left(\frac{\ln b - \ln a}{b-a} \right)^{\alpha} L_{\frac{1}{\alpha}}^{\alpha}(\ln a, \ln b) \leq \left(\frac{b^{-\alpha+1} - a^{-\alpha+1}}{(-\alpha+1)(b-a)} \right)^{\frac{1}{\alpha}(-\alpha)} \left(\frac{b \ln b - b - a \ln a + a}{b-a} \right)$$

$$L_0^{\alpha}(\ln a, \ln b) L_{-\alpha}^{\alpha}(a, b) L_{\frac{1}{\alpha}}(\ln a, \ln b) \leq \frac{\ln b^b - \ln a^a - b + a}{b-a}$$

$$L_{-\alpha}^{\alpha}(a, b) L_{\frac{1}{\alpha}}(\ln a, \ln b) \leq L^{\alpha}(a, b) \ln I(a, b)$$

elde edilir ve istenilen sonuç elde edilmiş olur.

Hatırlatma 8. Özel olarak (4) eşitsizliğinde $\alpha = 2$ için

$$L_{\frac{1}{2}}^2(a, b) L_{\frac{1}{2}}(\ln a, \ln b) \leq L^2(a, b) \ln I(a, b)$$

yazılır.

Sonuç 9. $\alpha \geq 1$ ve $0 < a < b$ olmak üzere

$$L_{-\alpha}(a, b) \leq G(a, b) \tag{5}$$

ortalama eşitsizliği sağlanır. Burada $G(a, b) = \sqrt{a \cdot b}$ dir.

İspat. (1) eşitsizliğinde $f(x) = \frac{1}{x}$ ve $g(x) = \frac{1}{x}$, $\alpha \geq 1$ olacak şekilde seçilirse

$$\left(\int_a^b \frac{1}{x^2} dx\right)^\alpha \leq (b-a)^{\alpha-2} \left(\int_a^b x^{-\alpha} dx\right)^2$$

$$\left(\frac{1}{a} - \frac{1}{b}\right)^\alpha \leq (b-a)^{\alpha-2} \left(\frac{b^{1-\alpha} - a^{1-\alpha}}{1-\alpha}\right)^2$$

$$\left(\frac{b^{1-\alpha} - a^{1-\alpha}}{(1-\alpha)(b-a)}\right)^{\frac{1}{\alpha}} \leq \sqrt[\alpha]{a \cdot b}$$

$$L_{-\alpha}(a, b) \leq G(a, b)$$

istenilen sonuç elde edilmiş olur.

Hatırlatma 10. Özel olarak (5) eşitsizliğinde $\alpha = 2$ için $L_{-2}(a, b) = G(a, b)$ olur. Diğer yandan, (5) de $\alpha = 3$ alınırsa $L_{-3}(a, b) \leq G(a, b)$ bulunur.

Sonuç 11. $\alpha \geq 1$ ve $0 < a < b$ olmak üzere

$$L(a, b) \leq A(a, b)$$

ortalama eşitsizliği sağlanır. Burada $L(a, b) = \frac{b-a}{\ln b - \ln a}$ ve $A(a, b) = \frac{a+b}{2}$ dir.

İspat. (1) eşitsizliğinde $f(x) = x^{\frac{1}{\alpha}}$ ve $g(x) = x^{-\frac{1}{\alpha}}$, $\alpha \geq 1$ olacak şekilde seçilirse

$$\left(\int_a^b dx\right)^\alpha \leq (b-a)^{\alpha-2} \int_a^b x dx \int_a^b \frac{1}{x} dx$$

$$(b-a)^\alpha \leq (b-a)^\alpha (b-a)^{-2} \left(\frac{b^2 - a^2}{2}\right) (\ln b - \ln a)$$

$$1 \leq \left(\frac{a+b}{2}\right) \left(\frac{\ln b - \ln a}{b-a}\right)$$

$$\frac{b-a}{\ln b - \ln a} \leq \frac{a+b}{2}$$

$$L(a, b) \leq A(a, b)$$

elde edilir ve istenilen sonuç elde edilmiş olur.

Sonuç 12. $\alpha \geq 1$ ve $0 < a < b$ olmak üzere

$$L_{\frac{2}{\alpha}}(a, b) \leq A(a, b) \quad (6)$$

ortalama eşitsizliği sağlanır.

İspat. (1) eşitsizliğinde $f(x) = x^{\frac{1}{\alpha}}$ ve $g(x) = x^{-\frac{1}{\alpha}}$, $\alpha \geq 2$ olacak şekilde seçilirse

$$\left(\int_a^b x^{\frac{2}{\alpha}} dx\right)^\alpha \leq (b-a)^{\alpha-2} \left(\int_a^b x dx\right)^2$$

$$\left(\frac{b^{\frac{2}{\alpha}+1} - a^{\frac{2}{\alpha}+1}}{(\frac{2}{\alpha}+1)(b-a)}\right)^{\frac{\alpha}{2}} \leq \frac{a+b}{2}$$

$$L_{\frac{2}{\alpha}}(a,b) \leq A(a,b)$$

elde edilir ve istenilen sonuç elde edilmiş olur.

Hatırlatma 13. Özel olarak (6) eşitsizliğinde $\alpha=2$ için $L_1(a,b) \leq A(a,b)$ yazılır.

Teorem 14. $f : [a,b] \subset (0,\infty) \rightarrow R$ negatif olmayan sürekli bir fonksiyon olmak üzere $\alpha \geq 1$ için

$$\left(\frac{1}{b-a} \int_a^b f^2(x) dx\right)^\alpha \leq \left(\frac{1}{b-a} \int_a^b f^\alpha(x) dx\right)^2 \quad (7)$$

dır.

İspat. Teorem 2 de özel olarak $f = g$ seçilirse istenilen eşitsizlik elde edilir.

Sonuç 15. $\alpha \geq 1$ ve $0 < a < b$ olmak üzere

$$L_{-\alpha}(a,b) \leq G(a,b) \quad (8)$$

ortalama eşitsizliği sağlanır.

İspat. (7) eşitsizliğinde $f(x) = \frac{1}{x}$, $\alpha \geq 1$ olacak şekilde seçilirse

$$\left(\frac{1}{b-a} \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{b}\right)\right)^\alpha \leq \left(\frac{1}{b-a} \frac{b^{1-\alpha} - a^{1-\alpha}}{1-\alpha}\right)^2$$

$$\frac{1}{\sqrt[2]{ab}} \leq \left(\frac{b^{1-\alpha} - a^{1-\alpha}}{(b-a)(1-\alpha)}\right)^{\frac{1}{\alpha}} = \frac{1}{L_{-\alpha}(a,b)}$$

$$L_{-\alpha}(a,b) \leq G(a,b)$$

elde edilir ve istenilen sonuç elde edilmiş olur.

Sonuç 16. $\alpha \geq 1$ ve $0 < a < b$ olmak üzere

$$T_2(a,b) \leq T_\alpha(a,b)$$

ortalama eşitsizliği sağlanır. Burada $T_\alpha(a,b) = \left(\frac{s^\alpha - r^\alpha}{\alpha(\ln s - \ln r)}\right)^{\frac{1}{\alpha}}$ dır.

İspat. (7) eşitsizliğinde $f(x) = e^x$, $\alpha \geq 1$ olacak şekilde seçilirse

$$\left(\frac{1}{b-a} \frac{e^{2b} - e^{2a}}{2} \right)^\alpha \leq \left(\frac{1}{b-a} \frac{e^{b\alpha} - e^{a\alpha}}{\alpha} \right)^2$$

$$\left(\frac{e^{2b} - e^{2a}}{2(b-a)} \right)^{\frac{1}{2}} \leq \left(\frac{e^{b\alpha} - e^{a\alpha}}{\alpha(b-a)} \right)^{\frac{1}{\alpha}}$$

olur. Buradan da $e^b = s \rightarrow b = \ln s$ ve $e^a = r \rightarrow a = \ln r$ olarak alınırsa istenilen eşitsizlik elde edilmiş olur.

III. REFERANSLAR

[1] Dragomir SS., Pearce CEM. Selected Topics on Hermite-Hadamard Inequalities and Applications, RGMIA Monographs, Victoria University, 2000.

[2] P. Auscher, T. Coulhon, A. Grigoryan, Heat Kernels and Analysis on Manifolds, Graphs, and Metric Spaces: Lecture Notes from a Quarter Program on Heat Kernels, Random Walks, and Analysis on Manifolds and Graphs: April 16--July 13, 2002, Emile Borel Centre of the Henri Poincaré Institute, Paris, France, Contemporary Mathematics, American Mathematical Society (2003).

[3] J.L.W.V. Jensen, Sur les fonctions convexes et les inégalités entre les valeurs moyennes, Acta Math., vol. 30, no 1, 1905, pp. 175-193.

[4] Y. Nesterov, Introductory Lectures on Convex Optimization: A Basic Course, Applied Optimization Springer US (2013).

[5] J.E. Pecaric, Y.L. Tong, Convex Functions, Partial Orderings, and Statistical Applications, Mathematics in Science and Engineering Elsevier Science (1992).

[6] W. Rudin, Real and Complex Analysis, McGraw-Hill, Inc., New York, NY, USA (1987).



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Hidrolik Sistemlerdeki 90° Bükümlü Borularda Oluşan Basınç Kayıplarının Sayısal Olarak İncelenmesi

 Yavuz Selim KORKMAZ ^{a*},  İsmet TIKIZ ^b,

^a Altan Hidrolik Mühendislik Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi, İstanbul, TÜRKİYE

^b Gemi Makineleri İşletme Mühendisliği Bölümü, Denizcilik Fakültesi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, TÜRKİYE

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

DOI: 10.29130/dubited.1123834

Öz

Hidrolik sistemler, günümüzde birçok alanda kullanılmaktadır. Özellikle yüksek güç ihtiyacı olan işlerde tercih edilmektedir. Hidrolik sistemler temelde birkaç basit devre elemanı ve bu elemanları birbirlerine bağlayan devre iletim parçalarından, iletim ve bağlantı parçaları ise borular, hortumlar, rakor, dirsek gibi bağlantı elemanlarından oluşmaktadır. Hidrolik devrelerde enerji tasarrufu ve düşük maliyetli bir sistem oluşturabilmek için minimum basınç kaybı oluşturacak şekilde devrenin tasarlanması gerekmektedir. İletim boruları basınç kaybı yaratan önemli devre elemanlarının başında gelmektedir. Bu çalışmada 90° bükümlü bir hidrolik devre borusunda meydana gelen basınç kayıpları sayısal olarak hesaplanmıştır. İlk olarak büküm yarıçapının basınç kaybına etkisi, daha sonra büküm sırasında oluşacak ovalite (büküm sırasında oluşan daralmalar) incelenmiştir. Sonuç olarak; büküm yarıçapının artmasının basınç kayıplarını azalttığı, ovalitenin yaklaşık %15'e kadar çok fazla bir basınç kaybı oluşturmadığı ancak bu değerden sonra basınç kayıplarının arttığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Basınç kaybı, Hidrolik boru, Hidrolik sistemler, Ovalite, Verimlilik

Numerical Investigation of Pressure Drops Occurring in 90° Elbow Pipes in Hydraulic Systems

ABSTRACT

Hydraulic systems are used in many fields today. It is especially preferred in areas requiring high power. Hydraulic systems basically consist of a few simple circuit elements and circuit transmission parts that connect these elements. Transmission and connection parts consist of pipes, hoses, and fittings such as unions and elbows. In order to create an energy-saving and low-cost system in hydraulic circuits, The circuit must be designed to create a minimum pressure loss. Circuit pipes are one of the most important system elements that create pressure loss. In this study, pressure drops occurring in a hydraulic circuit pipe bent at 90° were investigated numerically. First of all, the effect of the bending radius on the pressure drop was examined, then the ovality that will occur during bending (narrowing during bending) was examined. As a result; it has been determined that increasing in the bending radius reduces the pressure drops, the ovality up to %15 does not cause a pressure drop but after this value, the pressure drops increase.

Keywords: Efficiency, Hydraulic pipe, Hydraulic systems, Ovality, Pressure drop

I. GİRİŞ

Akışkan bir borudan akarken, boru içerisinde bir direnç meydana gelir. Bu direnç nedeniyle boru içerisinde bir basınç kaybı oluşur. Diğer taraftan boru içerisindeki ölçülerin değişmesi, daralmalar ve genişlemeler basınç değişimine neden olmaktadır. Genel olarak bakılırsa bir boru içerisindeki basınç kaybı, boru içerisindeki sürtünmeler, daralmalar, genişlemeler veya borunun bir bağlantı parçasına (dirsek, valf vb.) monte edilmesi gibi faktörlerden oluşur. Basınç kaybı, boru tasarımında önemli bir konudur. Yapılan çalışmalarda araştırmacılar basınç kayıplarını minimize etmeye çalışmışlardır [1-5]. 90° bükümlü borular, farklı bileşenleri birbirine monte etmek için birçok boru bağlantı sisteminde ve hidrolik devrede yaygın olarak kullanılmaktadır. Dirseklerdeki akışın araştırılması, performansının anlaşılması ve iyileştirilmesi, kayıpların azaltılması için büyük önem taşımaktadır. Dirsekli borularda akışkanın akışı sırasında, ikincil bir akış hareketi oluşmaktadır. Bu ikincil akış hareketi bükümün eğriliğine, boru çapına, akış hızına, büküm yarıçapına ve Reynolds sayısına bağlıdır. Bir akışkan bir bükümden geçtiği sırada akışkana etki eden merkezkaç kuvveti tarafından bir radyal basınç gradyanı oluşturur. Bundan dolayı dirsek içerisinde ikincil akışlar ve vorteksler görülür [6-8]. Diğer bir ifadeyle basınç gradyanının varlığı nedeniyle boru merkezindeki akışkan, duvarlara doğru hareket eder ve tekrar iç tarafa geri gelir. Eğer büküm yarıçapı küçükse, ters basınç gradyanı akış ayrılmalarına neden olur ve basınç kayıplarında büyük artışlar meydana gelir [8]. İki fazlı akış olgusu, havacılık, otomotiv, nükleer, petrol ve gaz uygulamaları gibi çeşitli endüstriyel uygulamalar da sıklıkla görülmektedir. İki fazlı akışta farklı iki akışkan aynı anda farklı akış davranışları oluşturmaktadır. İki fazlı akışla ilgili karmaşık akışları belirlemek için denklemlerin bulunmaması nedeniyle, bunları hesaplamak pek mümkün değildir. Bu nedenle iki fazlı akışları doğru tahmin etmek büyük önem arz etmektedir [9]. Hidrolik devrelerde mineral yağlar kullanılır. Ancak bu yağlar içerisinde çözünmüş hava, su gibi ikincil akış oluşturacak farklı maddeler bulunmaktadır. Bundan dolayı bu çalışmada bulunan sonuçlar, ikincil akışlar dikkate alınmadan gerçekleştirilmiştir.

Boru akışlarıyla ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Shabani ve ark. [1], kanatlı veya kanatsız dairesel kesitli boru dirseğinde türbülanslı akışların neden olduğu basınç dağılımını ve basınç kayıplarını simüle etmişlerdir. Jongtae ve ark. [6], 90° bir borudaki türbülanslı akışı deneysel ve sayısal olarak hesaplamışlardır. Gogolin ve ark. [7], U şeklindeki bir boru içindeki akışı incelemişlerdir. Çalışmada boru geometrisi ve iç yüzey pürüzlülüğündeki farklılıklar incelenmiş ve akış doğası, maksimum hız ve basınç kaybı gibi özelliklerin incelendiği bir akış simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Dutta ve ark. [8], boru dirseklerinde oluşan akış ayrılmalarını incelemişler ve k-ε modeli kullanmışlardır. Farklı Reynolds sayılarında hem deneysel hem de sayısal çalışma yapmışlardır. Akış ayrılmalarının Reynolds sayısının ve eğriliğin artmasıyla arttığını tespit etmişlerdir. Mazumder ve ark. [9], HAD (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği) analizi kullanarak 12,7 mm boru çapında bir dirsek boyunca iki fazlı bir hava-su akışı için çalışma yapmışlardır. Çalışmada farklı hava hızları ve farklı su hızları kullanmışlardır. Yüksek hava hızlarında basınç kayıplarının daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Su hızının artmasının basınç kaybına etkisinin az olduğunu görmüşlerdir. Hossain ve ark. [10], iki ayrı gerçekleştirilebilir k-ε ve Reynolds Stres Modeli (RSM) kullanarak 180° bükülmüş bir kanal içindeki akış özelliklerinin analizine odaklanmışlardır. Her iki çalışmada da elde edilen hesaplama sonuçlarını, bükülme bölgesi boyunca farklı kesitlerde ve hız dağılımı için deneysel verilerle doğrulamışlardır. Renzhi ve Qin [11], HAD yöntemiyle 90° bükümlü boru dirseğinin akış karakteristiğini ve enerji kayıplarını incelemişlerdir. Gajbhiye ve ark. [12], çeşitli boru bağlantı elemanlarındaki (dirsek, bükülme, te rakor ve redüktör) akışı, HAD yöntemi kullanarak çalışmışlardır. Perumal ve ark. [13], Reynolds sayılarını değiştirerek dirsekteki basınç kayıplarını HAD analiziyle hesaplamışlardır. Knežević ve ark. [14], literatürde basınç kayıplarını hesaplamak, Reynolds sayısına dayanan yöntemlerin eksikliklerini gidermek için yağ basıncını, çalışma sıcaklığı altındaki yoğunluğu ve viskozitedeki gerçek değişiklikleri dikkate alarak çalışma yapmışlardır. Piotr ve ark. [15], hidrolik dirsek içeren bir hidrolik sistemi ultrasonik bir akış ölçerle akışı ölçmüşlerdir. Mazum ve ark. [16], bükümlü boruda oluşan akış nedeniyle boru içerisinde oluşan deformasyonu incelemişlerdir. Bunun için dirsek içerisinde akış hızlarını HAD kullanarak hesaplamışlardır. Ayrıca bir particle image velocimetry (PIV) sistemiyle akışı görüntülemişlerdir. PIV ve HAD sonuçlarını birbirlerine yakın bulmuşlardır. Proskurin [17], 90 derece bükülmüş bir dirsekte

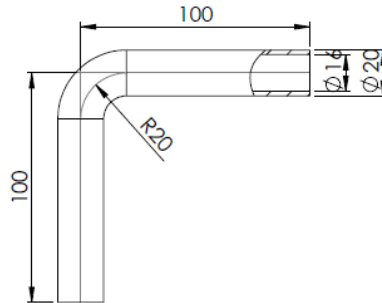
oluşan akışı incelemişlerdir. Kararlı akış elde etmek için farklı Reynolds sayılarında çalışmalar yapmışlardır. Mazumder ve ark. [18], HAD kullanarak, hava-su iki fazlı akışlarla dört farklı 90 derecelik dirsekte çalışma yapmışlardır. Çalışmada iç çapları 6,35 mm ve 12,7 mm'dir ve yarıçap/çap oranları (r/D) 1,5 -3 olan dirsekler kullanılmıştır. Çalışma deneysel ve sayısal olarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmada 15,24 ile 45,72 m/sn arasında değişen üç farklı hava hızı ile 0,1-10,0 m/s arasında değişen dokuz farklı su hızının kombinasyonu kullanılmıştır. Sonuçların deneysel ve sayısal çalışmalarda benzerlik gösterdiğini tespit etmişlerdir. Feng ve ark. [19] Bir dirsek içindeki helyum gazının etkilerini gözlemlemişlerdir. Farsani ve ark. [20], k- ϵ modeli kullanarak 90° ve 60° dirseklerdeki ısı transferini incelemişlerdir. Atılgan ve ark. [21], boru bağlantılarında oluşan enerji kayıplarını deneysel ve sayısal olarak karşılaştırmışlardır. Aracı ve ark. [22], farklı tipte boru elemanlarını incelemişlerdir. Dirseklerdeki kayıpların Reynolds sayısı ile ilişkili olduğunu ortaya koymuşlardır. Ayala ve ark. [23], Farklı Reynolds sayılarında boru içindeki deformasyonları incelemişlerdir. Liang ve ark. [24], 90° borudaki gaz ve sıvıdan oluşan 2 fazlı akışı araştırmışlardır. Kalpaklı [25], Dairesel kesitli 90 derecelik bükümlü borulardaki türbülanslı akışları ele almıştır. Deneysel olarak incelenen akış durumları, girdaplı veya titreşimli türbülanslı akış olarak ele almıştır. Bu karmaşık akışı ayrıntılı olarak incelemiştir. Hâkim ve ark. [26], Kare kanallı bir profilin 90° bükülmüş halindeki akışı incelemiştir. HAD yazılımı kullanarak yaptığı çalışmada maksimum hızı bulmuştur. Majumder ve ark. [27], Dikdörtgen bir dirsekte akışın oluşturduğu ısı transferini incelemişlerdir. Çalışmalarında k- ϵ modeli kullanmışlardır. HAD programıyla sonucu yaklaşık olarak tahmin etmişlerdir. Yapılan literatür incelemesinde araştırmacıların farklı açılarda bükülmüş boruların basınç kayıplarının incelendiği görülmektedir. Literatürde özellikle büküm sonrası oluşacak büküm hatalarını (ovalite) dikkate alarak yapılan bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Bu yüzden, bu çalışmada boru üreticilerinin sıklıkla karşılaştığı ovalite problemi ele alınmıştır. Çalışmada bir boru dirseğindeki akış, farklı büküm yarıçaplarında ve ovalitelere incelenmiş ve basınç kayıpları hesaplanmıştır.

II. MALZEME VE YÖNTEM

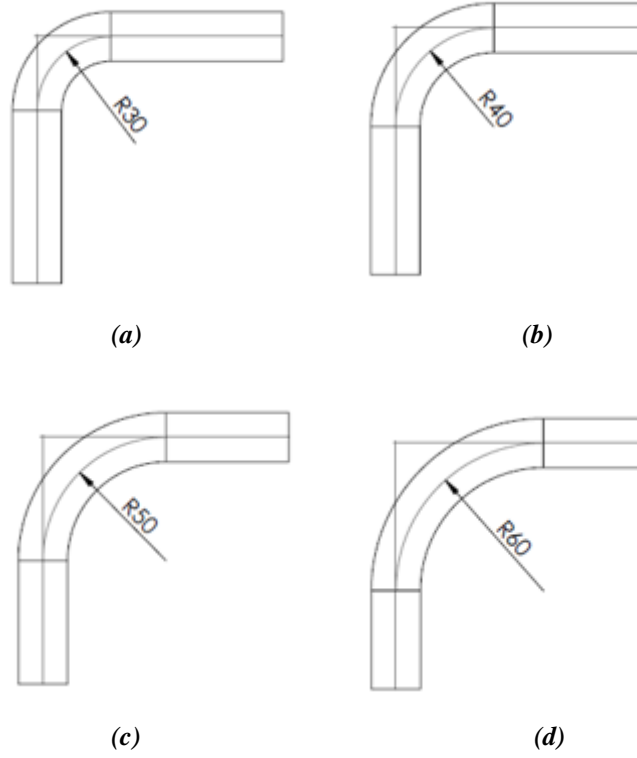
A. MALZEME

Bu çalışmada EN 10305-4 standardında ve E235 malzeme kalitesinde, Şekil 1'de gösterilen dış çapı 20 mm, iç çapı 16 mm olan 100 mm uzunluğunda 90° bir hidrolik devre borusu içerisindeki akış incelenmiştir. Çalışmada ilk aşama olarak devre borusunun büküm yarıçapları R20, R30, R40, R50 ve R60 olacak şekilde değiştirilerek büküm yarıçaplarının akışa etkileri incelenmiştir. 2. aşama olarak ise R50 ve R60 büküm yarıçaplarında büküm sırasında meydana gelen ovalitenin oluşturduğu akış incelenmiştir.



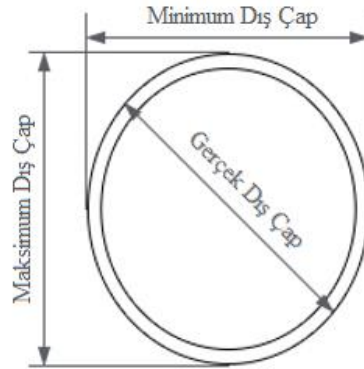
Şekil 1. 90° R20 büküm yarıçapına sahip devre borusu

Şekil 2'de aynı bükümlü borunun farklı büküm yarıçaplarında şekilleri gösterilmiştir.



Şekil 2. 90° devre borusu (a) R30 (b) R40 (c) R50 (d) R60

Şekil 3’de boru büküm bölgesinde oluşan ovalitenin şekli gösterilmiştir. Normal şartlarda borunun büküldüğünde tam bir yuvarlak olması beklenir. Ancak büküm sırasında mutlaka bir miktar ovalite oluşmaktadır. Bu ovalite normal şartlarda %5’e kadar uygun kabul edilir. ASME B31.1-2001 şartnamesine göre %8’e kadar uygun olduğu belirtilmiştir [28].



Şekil 3. Ovalitenin gösterilmesi [28]

Ovalite aşağıdaki formülle hesaplanır. Formüldeki ifadeler Şekil 3’de gösterilmiştir.

$$(\%)\text{Ovalleşme} = \frac{(\text{Maksimum Dış Çap} - \text{Minimum Dış Çap})}{\text{Gerçek Dış Çap}} \times 100 \quad (1)$$

Şekil 4’te ovalitenin nasıl ölçüldüğü gösterilmiştir. Boru büküm sırasında boru bir bölgeden daralırken diğer taraftan genişlemeye başlar. Bu durum ovalleşmeye neden olur. Bu bölgeler kumpasla aşağıda gösterildiği gibi ölçülmektedir.



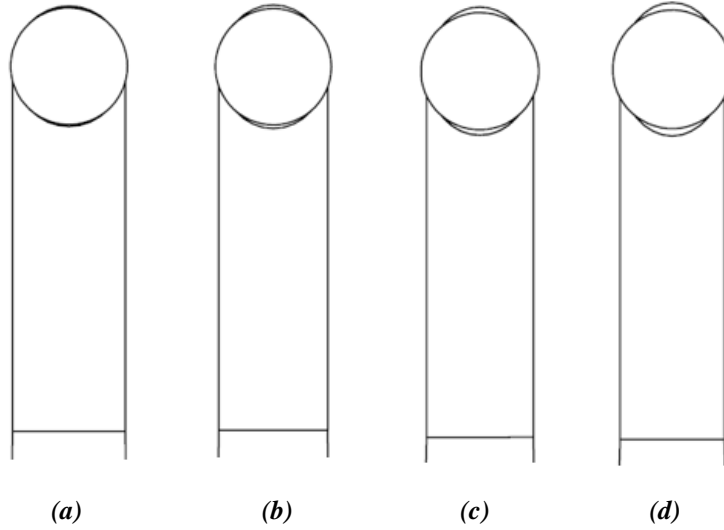
(a)



(b)

Şekil 4. Ovalitenin ölçülmesi (a) Minimum dış çap ölçümü (b) Maksimum dış çap ölçümü

Şekil 5’de ovalitenin boru büküm nasıl oluştuğu gösterilmiştir. %5-%20’ye kadar ovalitede şekilde görüldüğü gibi büküm bölgesinde daralma olmaktadır.



Şekil 5. Ovalitenin gösterilmesi (a) %5 (b) %10 (c) %15 (d) %20

B. SAYISAL ÇALIŞMALAR

Simülasyon çalışmaları Siemens Star CCM+ yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Akış modellemesi sabit yoğunluk ve sıkıştırılmaz bir akışkan için gerçekleştirilmiştir. Tablo 1’de akışkanın özellikleri gösterilmiştir. Navier Stokes denklemleri denklem 4 ve denklem 5’te gösterilmiştir. Çalışmada k-ε modeli kullanılmıştır. k-ε modeli denklem 8 ve 9’da gösterilmiştir. Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde çok büyük çoğunluğunda k-ε modeli kullanıldığı görülmektedir [4,5,7,9,13,16,22].

Boru iç çapı 16 mm’ye göre boru içindeki akış hızları hesaplanmıştır. Bu hızlar Reynolds sayısının hesaplanması için kullanılmıştır.

Bir boru içerisindeki akış laminar veya türbülanslı olarak gerçekleşebilir. Laminar akışta düzgün akım çizgileri ve düzenli bir akış hareketi varken, türbülanslı akışta bu hareketler oldukça düzensizdir. Pratikte akışların büyük çoğunluğu türbülanslı olarak gerçekleşir. Laminar akıştan türbülanslı akışa geçiş bir anda gerçekleşmez türbülanslı akışa geçilmeden akış, ara bir bölgede dalgalanır. Laminar akıştan türbülanslı akışa geçiş geometriye, akış hızına, yüzey sıcaklığına, viskoziteye bağlıdır [29].

Reynolds sayısı, akış rejimindeki bu değişikliğin atalet kuvvetlerinin viskoz kuvvetlere oranı olarak açıklamaktadır. Buna göre dairesel borulu akışlar için Reynolds sayısı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$Re_D = \frac{\text{Atalet Kuvvetleri}}{\text{Viskoz Kuvvetleri}} = \frac{\rho U D}{\mu} \quad (2)$$

Düz plaka üzerindeki akışlar için Reynolds sayısı;

$$Re_x = \frac{\text{Atalet Kuvvetleri}}{\text{Viskoz Kuvvetleri}} = \frac{\rho U x}{\mu} \quad (3)$$

Burada D: boru çapı ρ : akışkan yoğunluğu U: akışın ortalama hızı μ : akışkanın dinamik viskozitesi x: plaka girişinden itibaren ölçülen mesafedir.

Reynolds sayısı akışın hangi rejimde olduğunu belirten bir sayıdır. Buna göre;

- $Re \leq 2300$ laminer akış
- $2300 \leq Re \leq 4000$ geçiş akışı
- $Re \geq 4000$ türbülanslı akış

olarak hesaplamalarda dikkate alınmalıdır.

Yapılan çalışmada 90° bükümlü boru 6003, 6754, 7504 ve 8254 Reynolds sayılarında simüle edilmiştir. Reynolds sayısı 4000'den büyük olduğu için akış türbülanslı olarak dikkate alınmıştır. Basınç kayıplarının birbirlerine yakın ve küçük değerler olmasından dolayı Reynolds sayıları hesaplandığı şekilde kullanılmıştır. Değerlerde yuvarlamama yapılmamıştır.

Tablo 1. Sayısal çalışmalarda kullanılan akışkanın özellikleri

Kinematik Viskozite (cSt)	Sıcaklık (°C)	Yoğunluk (kg/m ³)
22	40	860

Kütlenin korunumu denklemi;

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{V}) \quad (4)$$

Momentum korunumu denklemi;

$$\rho \frac{\partial \vec{V}}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{V} \vec{V}) = \vec{f}_b - \nabla p + \nabla \cdot \tau \quad (5)$$

Burada ρ : yoğunluk, v: hız, p: basınç, τ : viskoz gerilme tensörü, f_b : dış yüzey kuvvetleri

Korunum denklemleri çözülemeseler bile Reynolds Sayısı gibi boyutsuz parametleri uygun biçimlerde ortaya çıkarmaktadırlar. Bu denklemler üç temel boyut olan M, L, T'yi içermektedir. Tüm değişkenler p, V, x, y, z ve t belirli bir akışın karakteristikleri olabilecek iki referans sabitini ve yoğunluğu kullanarak boyutsuzlaştırılabilirler. Bu aşamada Referans hız=U ve referans uzunluk yada çap=L kullanılır ve değişkenler boyutsuzlaştırılır. Boyutsuzlaştırılmış değerler aşağıda * ile gösterilmiştir [30].

$$V^* = \frac{V}{U}, \quad x^* = \frac{x}{L}, \quad y^* = \frac{y}{L}, \quad z^* = \frac{z}{L}, \quad t^* = \frac{tU}{L}, \quad p^* = \frac{p + \rho g z}{\rho U^2} \quad (6)$$

Buna göre yeni momentum denklemi aşağıdaki gibi yazılır.

$$\frac{dV^*}{dt^*} = -\nabla^* p^* + \frac{\mu}{\rho U L} \nabla^{*2} (V^*) \quad (7)$$

Momentum denklemi boyutsuz Reynolds Sayısını içerir (denklem 2 ve 3).

k-ε modeli;

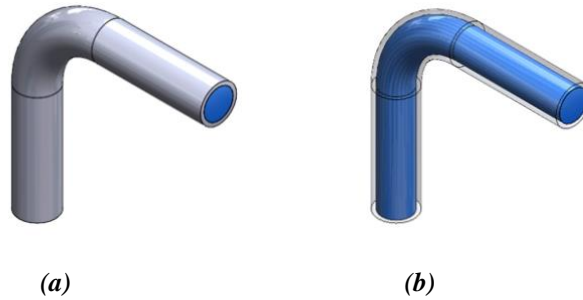
$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k - \rho \epsilon \quad (8)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \epsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + \rho C_1 S_\epsilon C_2 \rho \frac{\epsilon^2}{k + \sqrt{\theta \epsilon}} \quad (9)$$

Burada G_k : ortalama hız gradyanlarından dolayı türbülans kinetik enerjisinin oluşumu, S , ortalama gerinim oranı, C_1 , C_2 , σ_k , σ_ϵ model sabitleri, μ_t : Türbülans viskozitesi

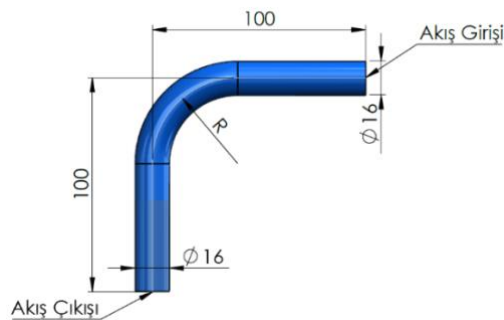
B.1. Geometrik Model ve Sınır Şartları

Şekil 6 (a)'da 90° bükümlü borunun 3D CAD modeli Şekil 6 (b)'de ise hesaplama alanı mavi renkli olarak gösterilmiştir. Hesaplama alanı dirsek gövdesiyle iç kısımdaki boşluktan elde edilmiştir. Analiz çalışmalarında Reynolds 6003, 6754, 7504 ve 8254 sayılarında basınç kayıplarını hesaplamak için ovalitesi 0 olan 5 bükümlü boru ve ovalitesi %5-10-15-20 olan 2 adet bükümlü boru olmak üzere 52 adet analiz çalışması yapılmıştır.



Şekil 6. (a) 3D CAD model (b) Hesaplama Alanı

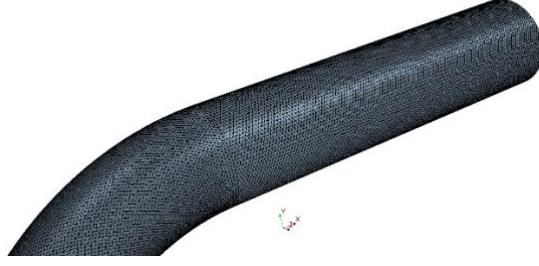
Şekil 7'de analiz çalışmalarında kullanılan hesaplama alanı ölçüleri gösterilmiştir. Akışkan Ø16 mm çapta girmektedir. Daha sonra 90° dönüş yaparak tekrar Ø10 mm çapta çıkmaktadır. Akışkan girişi kütleli debi, çıkış basıncı atmosfer basıncı, diğer tüm yüzeyler ise duvar sınırı olarak belirlenmiştir.



Şekil 7. Hesaplama Alanı Ölçüleri

B.2. Sayısal Çözüm Ağı ve Sayısal Çözüm Ağından Bağımsızlık Çalışması

Bu çalışmada 90° bükümlü boru içerisindeki akışı analiz etmek için dörtyüzlü sayısal çözüm ağı kullanılmıştır. Sayısal çözüm ağından bağımsızlık çalışması için dört farklı çözüm ağı yapısı oluşturulmuştur. Tablo 2'de görüldüğü gibi dört durum için 7757153, 2960195, 1441411 ve 887334 adet sayısal çözüm ağı hücresi, Şekil 8'de ise oluşturulan sayısal çözüm ağı yapısı gösterilmiştir.

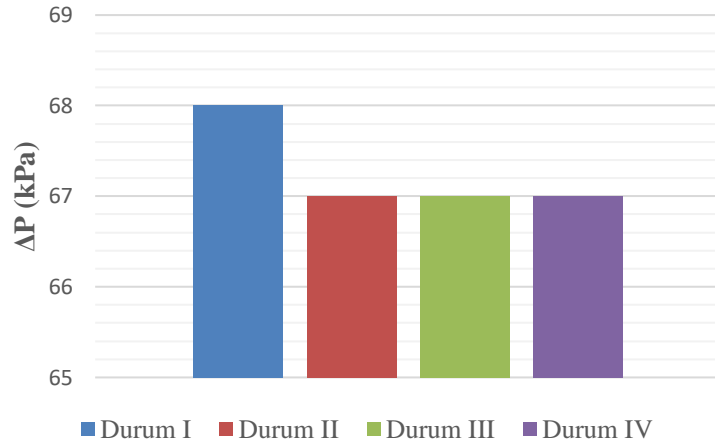


Şekil 8. Dörtüzlü çözüm ağı yapısı

Tablo 2. Çözüm ağından bağımsızlık çalışması için oluşturulan hücre sayıları

Durumlar	Hücre Sayıları
I	7757153
II	2960195
III	1441411
IV	887334

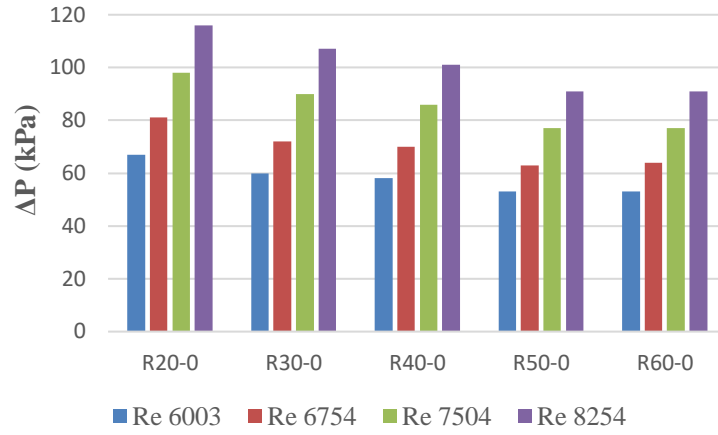
90° bükümlü boru için yapılan çözüm ağından bağımsızlık çalışmasından 4 farklı durum incelenmiştir. Buna göre durum I için 68 kPa, durum II için 67 kPa, durum III için 67 kPa ve durum IV için 67 kPa basınç kaybı oluşturmuştur. Bu kayıplar Şekil 9’da gösterilmiştir. Yapılacak analiz çalışmalarında daha az zaman harcamak ve hücre sayılarına göre basınç kayıplarının yakın olması nedeniyle durum III analiz çalışmalarına devam etmek için uygun bulunmuştur. Ayrıca her bir analiz çalışması için 2000 iterasyon olacak şekilde programlar çalıştırılmış ve sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 9. 90° bükümlü borunun çözüm ağından bağımsızlık çalışması için basınç kayıpları

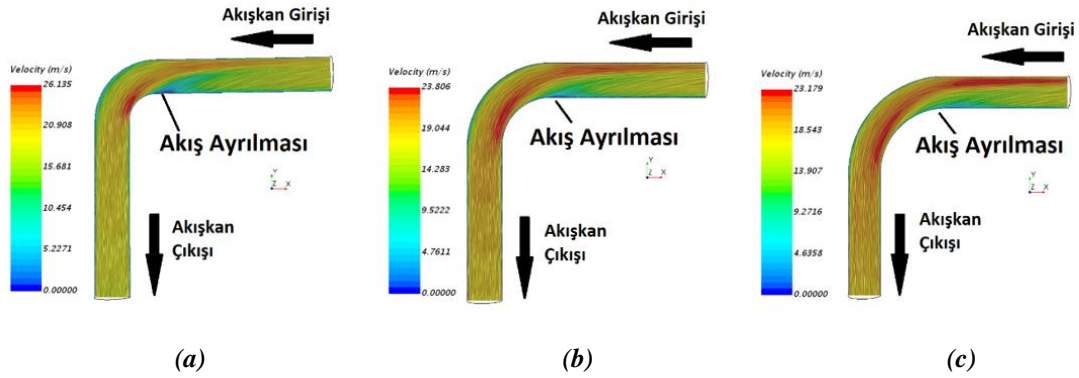
III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmada 90° bükümlü bir boruda meydana gelen basınç kayıpları incelenmiştir. Buna göre ovalitenin sıfır olduğu R20-30-40-50-60 büküm yarıçaplarında meydana gelen basınç kayıpları Şekil 10’da gösterilmiştir. En fazla basınç kaybı R20 büküm yarıçapında meydana gelmiştir. Sırasıyla R30-40-50-60 büküm yarıçapında azalan miktarlarda basınç kayıpları oluşmuştur. Şekil 10 incelendiğinde R20’de Reynolds 6003’te 67 kPa basınç kaybı oluşurken R60’da 53 kPa basınç kaybı oluşmuştur. R20’de Reynolds 8254’de 116 kPa basınç kaybı oluşurken R60’da 91 kPa basınç kaybı oluşmuştur.



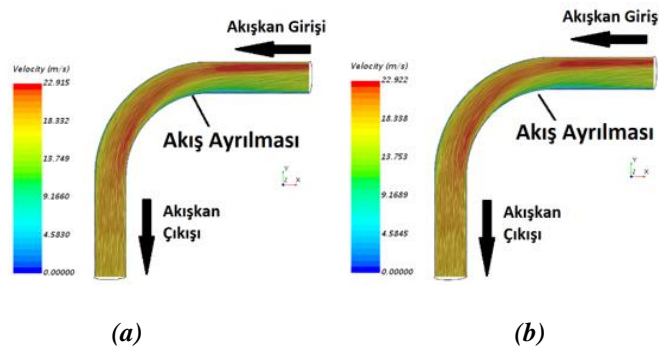
Şekil 10. 90° bükümlü boruda farklı Reynolds sayılarında meydana gelen basınç kayıpları

Şekil 11’de R20-30-40 büküm yarıçapındaki bükümlü borunun orta kesitteki görüntüleri verilmiştir. R20 büküm yarıçapında oluşan akış ayrılması R40’a doğru azalma göstermiştir. Kesit içerisindeki akışın hızları incelendiğinde basınç kaybının fazla olduğu R20’de akış hızlarının daha düşük seyrettiği, R40’da ise hızların arttığı görülmektedir. Akış hızının artması boru içerisindeki basınç kaybının azalmasına neden olmuştur.



Şekil 11. Orta kesitte akışın durumu (a) R20 (b) R30 (c) R40

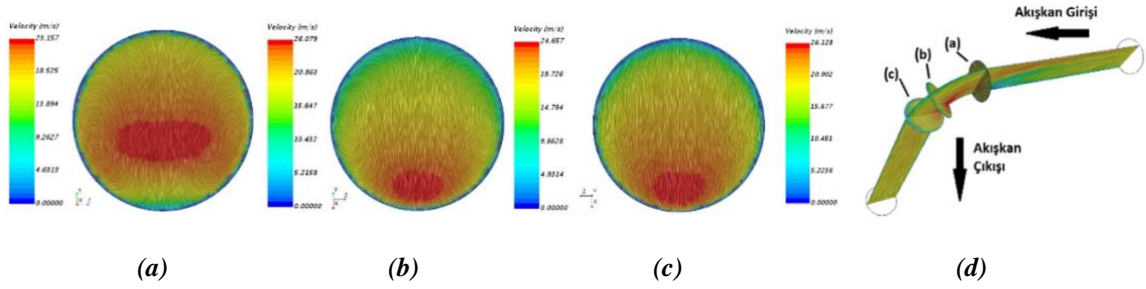
Şekil 12’de R50-60 büküm yarıçapındaki bükümlü borunun orta kesitteki görüntüleri verilmiştir. R50 ve R60 büküm yarıçapında oluşan akış ayrılmaları Şekil 11’deki büküm yarıçaplarına göre oldukça azalmıştır. Akış hızları da aynı şekilde artmış ve basınç kaybı azalmıştır.



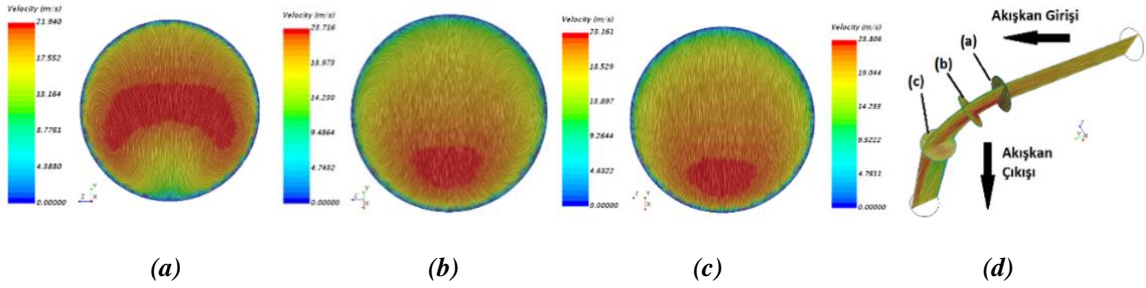
Şekil 12. Orta kesitte akışın durumu (a) R50 (b) R60

Şekil 13-14-15-16-17’de farklı kesitlerdeki akış görüntüleri verilmiştir. Akış girişi tarafından alınan kesit a)’da genel anlamda oluşan basınç kaybının nedeni görülmektedir. Şekildeki a) ve b) kesitlerinde

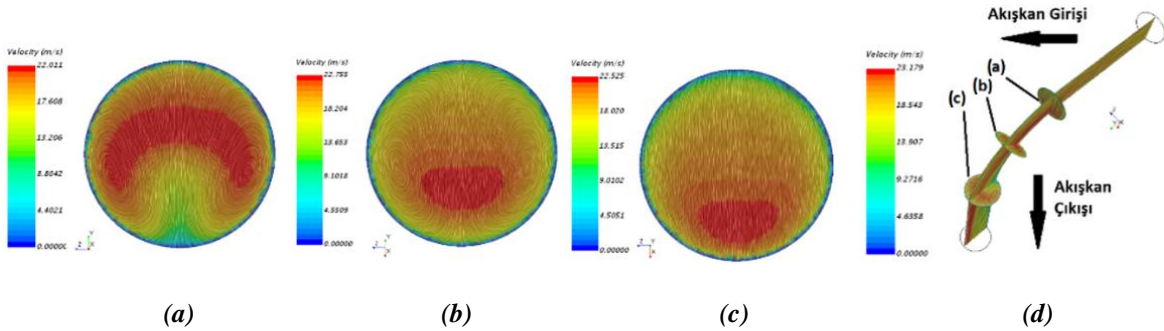
oluşan vorteksler mevcuttur. Akışkan çıkışının olduğu taraftaki c) kesitinde vortekslerin yok olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum akışkanın büküm bölgesinden çıktıktan sonra normal akışın oluştuğunu gösterir. Şekil 13'den Şekil 17'ye doğru büküm yarıçapının artmasıyla boru içerisinde akış hızlarının arttığı görülmektedir. Bu durumda büküm yarıçapının düşük olması hem akışın dengesiz bir dağılım oluşturmasına hem de basınç kayıplarının yüksek olmasına neden olmaktadır. Boru içerisindeki akış hızının artması, akışkanın boru içerisinde beklememesi ve bir an önce boruyu terk etmesi anlamına gelmektedir. Akışkan boruyu ne kadar hızlı terk ederse basınç kaybı azalmaktadır. Bu durum boru kesitlerinde görülmektedir.



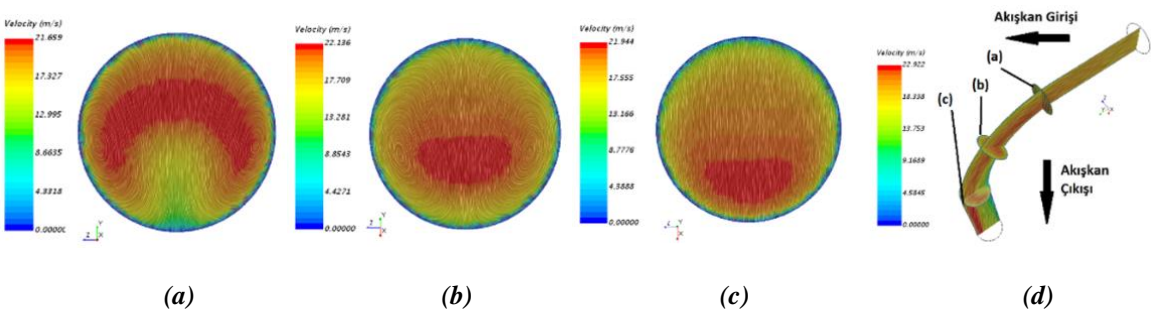
Şekil 13. R20 büküm yarıçapında farklı kesitlerdeki akışın görüntüsü



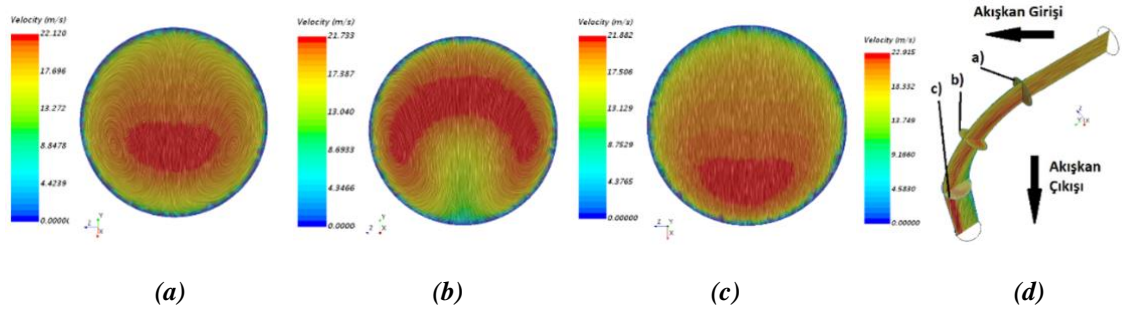
Şekil 14. R30 büküm yarıçapında farklı kesitlerdeki akışın görüntüsü



Şekil 15. R40 büküm yarıçapında farklı kesitlerdeki akışın görüntüsü

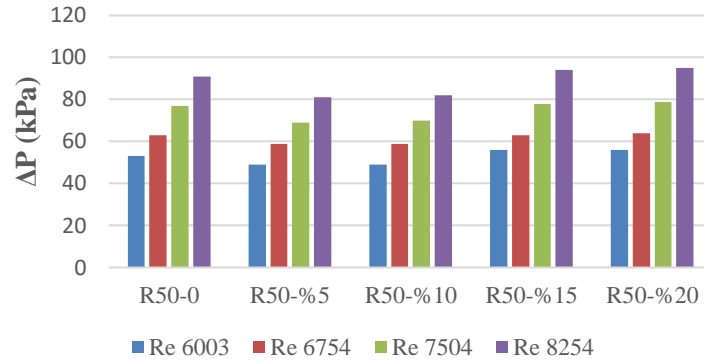


Şekil 16. R50 büküm yarıçapında farklı kesitlerdeki akışın görüntüsü



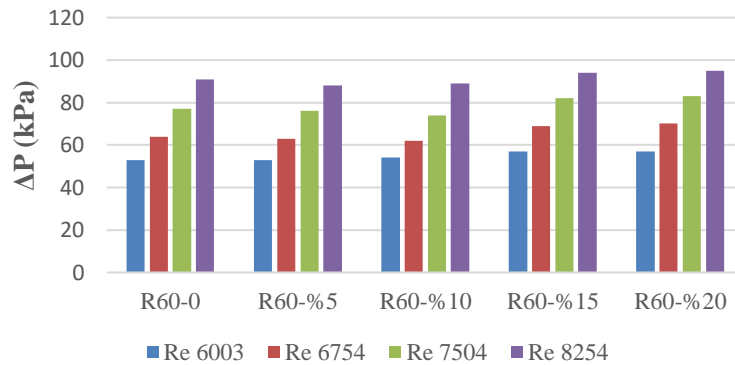
Şekil 17. R60 büküm yarıçapında farklı kesitlerdeki akışın görüntüsü

Şekil 18’de R50 büküm yarıçapında farklı % ovalitelerde oluşan basınç kayıpları gösterilmiştir. Buna göre %5 ve %10 ovalite basınç kayıplarının bir miktar azaldığı ancak %15 ve %20 ovalitede kayıpların arttığı 0 ovaliteninde üzerine çıktığı görülmektedir.

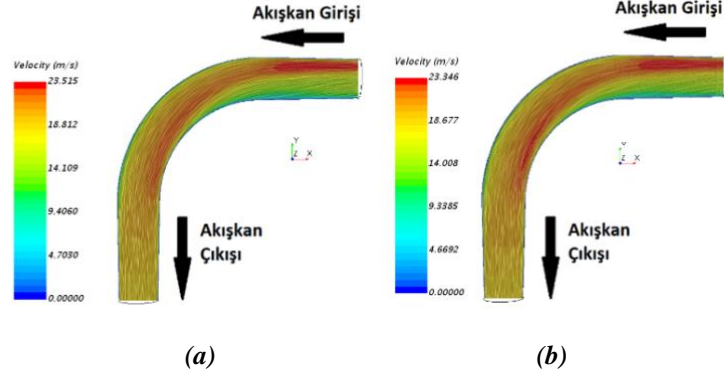


Şekil 18. R50 büküm yarıçapında farklı ovalitelerde oluşan basınç kayıpları

Şekil 19’da R60 büküm yarıçapında farklı % ovalitelerde oluşan basınç kayıpları gösterilmiştir. Buna göre %5 ve %10 ovalite basınç kayıplarının bir miktar azaldığı ancak %15 ve %20 ovalitede kayıpların arttığı 0 ovaliteninde üzerine çıktığı görülmektedir. Bu durum şekil 18’de gösterilen basınç kayıplarına benzer bir şekilde oluşmuştur.

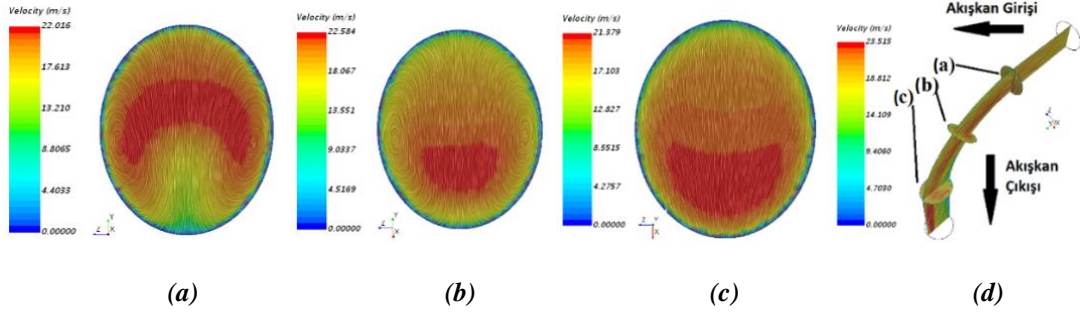


Şekil 19. R60 büküm yarıçapında farklı ovalitelerde oluşan basınç kayıpları

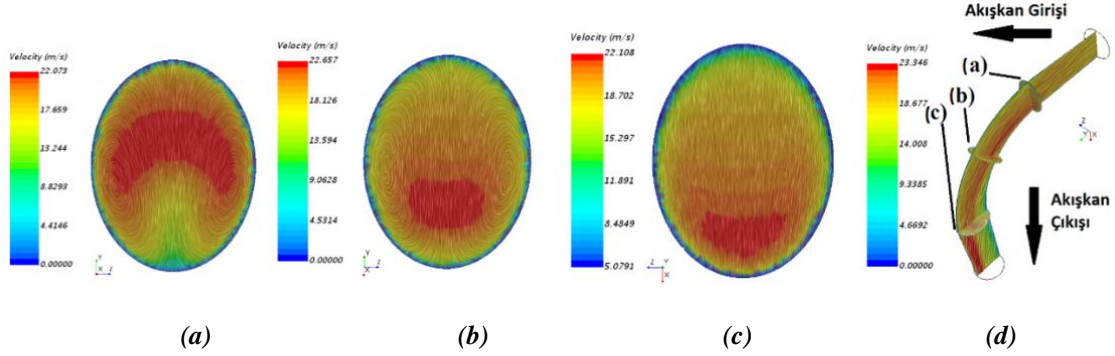


Şekil 20. R50 büküm yarıçapında ovalite (a) %15 (b) %20

Şekil 21 ve Şekil 22 incelendiğinde ise 0 ovaliteye göre akışın dış kısımlarda daha yavaş iç kısımlarda daha hızlı olduğu görülmektedir. Bu durum kesit daralması sonucu meydana gelmiştir. Akış hızının yavaşlaması basınç artışına neden olmuştur. Bu durum kayıpları artırmaktadır.

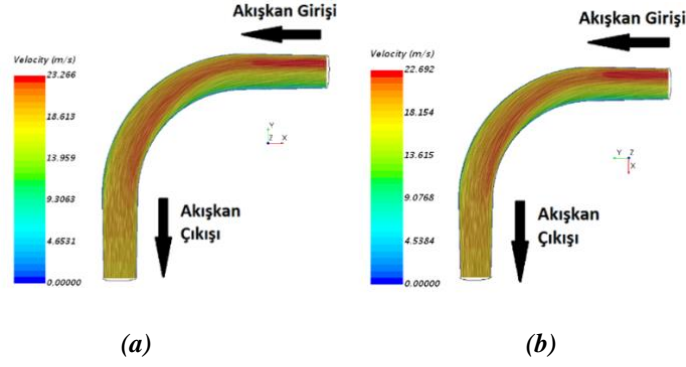


Şekil 21. R50 büküm yarıçapında %15 ovalitede farklı kesitlerdeki akışın görüntüsü



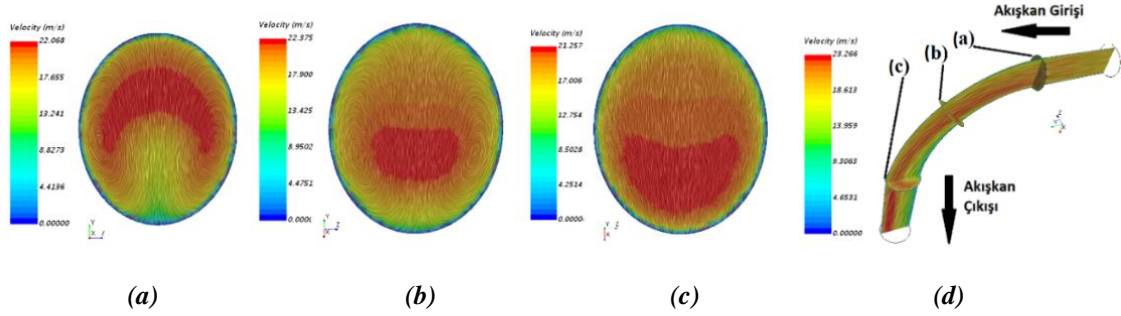
Şekil 22. R50 büküm yarıçapında %20 ovalitede farklı kesitlerdeki akışın görüntüsü

Şekil 23'de R60 büküm yarıçapında %15 ve %20 ovalitedeki 90° bükümlü boruların orta kesitleri gösterilmiştir. Burada 0 ovaliteye göre benzer bir akış dağılımı olduğu görülmektedir. Giriş kısmında akış hızlarına bakıldığında 0 ovalitede akışkanın daha hızlı olduğu tespit edilmiştir.

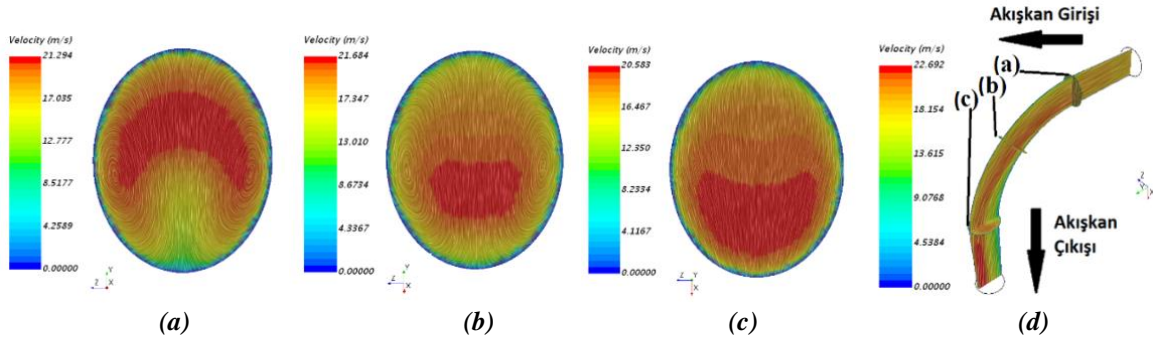


Şekil 23. R60 büküm yarıçapında ovalite (a) %15 (b) %20

Şekil 24 ve Şekil 25 incelendiğinde ise 0 ovaliteye göre akışın dış kısımlarda daha yavaş iç kısımlarda daha hızlı olduğu görülmektedir. Bu durum kesit daralması sonucu meydana gelmiştir. Akış hızının yavaşlaması basınç artışına neden olmuştur. Bu durum kayıpları artırmaktadır.



Şekil 24. R60 büküm yarıçapında %15 ovalitede farklı kesitlerdeki akışın görüntüsü



Şekil 25. R60 büküm yarıçapında %20 ovalitede farklı kesitlerdeki akışın görüntüsü

IV. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada hidrolik sistemlerdeki devrelerde kullanılan dış çap 20 mm iç çap 16 mm olan 90° bükümlü bir devre borusu içerisinde akış incelenmiştir. Buna göre yapılan tespitler aşağıda belirtilmiştir.

- Şekil 11 ve Şekil 12'de akış hızlarının büküm yarıçapının artmasıyla boru içerisinde arttığı görülmektedir. Bu durum, düşük bir büküm yarıçapı kullanmak boru içerisindeki hızı azaltmakta ve basınç kaybını artırmaktadır. Büküm yarıçapını artırmak hem basınç kaybını azaltmakta hem de akışın daha düzenli olmasını sağlamaktadır. Akışın daha düzenli olması akışkan sıcaklığının düşük olmasına sebep olacaktır. Böylece sıcaklık artışının sebep olduğu

viskozite artışlarının önüne geçileceği gibi viskozite artışına bağlı sistemdeki bağlantı noktalarından oluşabilecek akışkan kaçaklarının da önüne geçilmesi sağlanacaktır.

- Boru üzerinde büyük büküm yarıçaplarında ovalite daha fazla olmaktadır. Bundan dolayı çok büyük büküm yarıçapı seçmek, 0 ovalitede basınç kaybını azaltıyor olarak gözükse de oluşacak ovalite bu durumu tersine çevirebilir. Şekil 19'daki R60 büküm yarıçapındaki basınç kayıpları incelendiğinde %10 ovalite sonrasında tekrar basınç kayıplarının arttığı görülmektedir. Borunun kullanılacağı sistem eğer ağır şartlarda çalışan bir sistemse kayıplar çok daha fazla olabilecektir.
- Ovalitenin az miktarda olması basınç kaybında çok fazla bir değişikliğe sebep olmamaktadır. Literatürde uygun kabul edilen %10 ovaliteye kadar basınç kaybında çok fazla bir değişiklik olmamıştır. Ancak bunun üzerine çıkılması basınç kayıplarını artıracaktır.
- Boru içerisinde oluşan akış ayrılmalarının düşük büküm yarıçapında daha fazla olduğu, büküm yarıçapı arttıkça bunların azaldığı görülmektedir.

Öneriler ve gelecekte yapılabilecek çalışmalar,

- 0 ovalite teorik bir terimdir. Büküm esnasında mutlaka soğuk şekillendirmeden dolayı deformasyonlar ve bir miktar ovalite oluşacaktır. Bunun için boru üretimi sırasında doğru ekipman kullanımı ve uygun tasarlanmış boru büküm kalıbı kullanılması bunları minimize edecektir.
- Büküm sırasında malzemede oluşan deformasyonlar bu çalışmada dikkate alınmamıştır. Akış kayıplarının yüksek olması bu deformasyonların etkilerini artırabilir. Bu durum boru içerisinde zamanla malzemede aşınma ve hidrolik sistemde kirliliğe neden olabilir. Bunun için manyetik filtre kullanılması ve mutlaka offline filtre kullanılması önerilmektedir.
- Boru bükümü için literatürde belirtilen hidrolik sistemlere uygun olan malzemeler seçilmelidir. Hidrolik sistemlere uygun olarak üretilen borular hassas çekilmiş borular olduğu için büküm sırasında büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Karbon çelik borular için EN 10305-4, paslanmaz borular için ASTM A-269 normuna uygun boruların kullanılması önerilmektedir.
- Konuyla ilgili literatürde çok fazla çalışma vardır. Özellikle bir deney düzeneği kurularak borular hem deney hem de analiz edilerek daha doğru sonuçlar elde edilebilir. Ayrıca burada oluşan deformasyonlar, bu deformasyonların oluşturduğu kirlilik gibi konular araştırılabilir. Tüm bu bilgiler toparlanarak gelecekte yeni bir çalışma yapılabilir. Çalışmanın özellikle hidrolik sistemler üzerinde yoğunlaştırılması, sektörde oluşan birçok problemin sorununa çözüm olacaktır. Bu problemlerin başlıcaları; kirlilik, malzemelerin kısa sürede deforme olması, yanlış malzeme seçimi ve yanlış tasarım vb.

V. KAYNAKLAR

- [1] S. Shabani, A. A. Abedini and M. Ali, "The effect of the pipe bending angle on the pressure losses vane elbow pipes," *The Asian Review of Civil Engineering*, vol. 8, no. 1, pp. 1-8, 2019.
- [2] B. Takgil, R. Kara, "A novel comparative model proposal for hospital pneumatic systems" *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering*, Article in press, 2022.
- [3] B. Takgil, R. Kara "Hastane pnömatik sistemlerinin bulanık mantıkla modellenmesi" *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, vol.12 pp. 18-20, 2011.

- [4] Y.S. Korkmaz, A. Kibar, and Yigit K.S, "Experimental and numerical investigation of fluid flow in hydraulic filters," *Journal of Applied Fluid Mechanics*, vol.15, no.2 pp, 363-371, 2022
- [5] Y.S. Korkmaz, A. Kibar, and Yigit K.S, "Experimental and numerical investigation of flow in hydraulic elbows," *Journal of Applied Fluid Mechanics*, vol.14, no.4 pp, 1137-1146, 2021
- [6] K. Jongtae, Y. Mohan and K. Seungjin, "Characteristics of secondary flow induced by 90-degree elbow in turbulent pipe flow," *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*, vol. 8, no.2, pp. 229-239, 2014.
- [7] A. Gogolin, M. Wasilewski, G. Ligus, S. Wojciechowski, B. Gapinski, J.B. Krolczyk, D. Zajac and G.M. Krolczyk, "Influence of geometry and surface morphology of the U-tube on the fluid flow in the range of various velocities," *Measurement*, vol. 164, 2020.
- [8] D. Prasun, S. K. Saha, N. Nandi and N. Pal, "Numerical study on flow separation in 90° pipe bend under high Reynolds number by k-ε modelling," *Engineering Science and Technology, an International Journal*, vol. 19, no. 2, pp. 904-910, 2016.
- [9] Q. H. Mazumder, S. A. Siddique, "CFD analysis of two-phase flow characteristics in a 90 degree elbow," *The Journal of Computational Multiphase Flows*, vol. 3, no. 3, pp. 165-175, 2011.
- [10] H. Safayet, H. Ishtiaque, "Computational investigation of turbulent flow development in 180 channel with circular cross section," *European Journal of Engineering and Technology Research*, vol. 3, no. 12, pp. 98-105, 2018.
- [11] Z. Wei, J. Wang, S. Du, W. Zhao and H. Li, "Energy management strategies for hybrid construction machinery: Evolution, classification, comparison and future trends," *Energies*, vol. 12, no. 10, 2019.
- [12] B. D. Gajbhiye, H. A. Kulkarni, Shashank S. Tiwari and C.S. Mathpati, "Teaching turbulent flow through pipe fittings using computational fluid dynamics approach," *Engineering Reports*, vol. 2, no.1, 2020.
- [13] P. Kumar, G. Rajamohan, "CFD modeling for the estimation of pressure loss coefficients of pipe fittings: An undergraduate Project," *Computer Applications in Engineering Education*, vol. 24, no. 2, pp. 180-185, 2016.
- [14] S. Vladimir, D. Knežević, "Determination of pressure losses in hydraulic pipeline systems by considering temperature and pressure," *Strojniški Vestnik-Journal of Mechanical Engineering*, vol. 55, no. 4, pp. 237-243, 2009.
- [15] P. Piotr, S. Piotr, A. Artur and W. Wieslaw, "Selection of the relevant turbulence model in a CFD simulation of a flow disturbed by hydraulic elbow—comparative analysis of the simulation with measurements results obtained by the ultrasonic flowmeter," *Journal of Thermal Science*, vol. 27, no. 5, pp. 413-420, 2018.
- [16] M. Quamrul, V. T. Nallamotheu and F. Mazumder, "Comparison of characteristic particle velocities in solid-liquid multiphase flow in elbow," *International Journal of Thermofluids*, vol. 4, 2020.
- [17] A. Proskurin, "Linear stability of flow in a 90° bend. *Physics of Fluids*," vol. 34, no. 3, 2022.
- [18] Q. H. Mazumder, "CFD analysis of the effect of elbow radius on pressure drop in multiphase flow," *Modelling and Simulation in Engineering*, vol. 2012, 2012.



- [19] B. Feng, Y. Sun, X. Yang, S. Li, J. Tu and S. Jiang, “Characteristics of helium gas with high temperature and high pressure flowing through a 90-degree elbow,” *International Scholarly Research Notices*, vol. 2014, 2014.
- [20] M. J. Farsani, A.A. Nodooshan, “Numerical simulation of turbulent nano-fluid flow in a circular elbow,” *International Journal of Advanced Design & Manufacturing Technology*, vol. 9, no. 1, pp. 103-110, 2016.
- [21] M. Atılgan, H. K. Öztürk, “Borularda, boru bağlantı elemanlarında ve geçiş borularında enerji kayıpları,” *IV. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi*, pp. 547-560, 1999.
- [22] S. Aracı, Ö. K. Kınacı, “Boru içi akışlarda basınç kaybının sayısal hesabı,” *Gemi ve Deniz Teknolojisi*, no. 211, pp. 39-60, 2018.
- [23] O. Ayala, G. R. Hernandez and C. Knight, “Computational fluid dynamics study of the effects of secondary flows in 90-degree pipe elbow erosion,” *Comsol Conference*, 2020.
- [24] Z. Liang, C. Guo, and C. Wang, “The Connection between flow pattern evolution and vibration in 90-degree pipeline: Bidirectional fluid-structure interaction,” *Energy Science & Engineering*, vol. 12, no. 2, pp. 308-323, 2022.
- [25] A. Kalpakli, “Experimental study of turbulent flows through pipe bends” Ph.D. dissertation, KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, 2012.
- [26] L. Hakim, E. T. Asmorowati, “Numerical simulation on the effect of damper opening angle in square duct 90-degree elbow,” *Journal of Physics Conference Series*, 2019.
- [27] S. Majumder, D. Roy, R. Debnath, A. Mandal and S. Bhattacharjee, “Numerical study for forced convective turbulent flow in a rectangular elbow,” *International Conference on Mechanical Engineering*, pp. 18-20, 2011.
- [28] Cansa Makina (2022, Mayıs 30), *Ovalleşme Hesaplaması* [Online]. Available: <https://www.cansamakina.com/Calculation2.aspx>
- [29] Y. A. Çengel, J. M. Cimbala, *Fluid Mechanics*, 3rd ed., New York, USA: McGraw-Hill, 2014
- [30] F.M White, *Fluid Mechanics*, 7th ed., New York, USA: McGraw-Hill, 2011



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Seçilmiş Bazı Bitki Ekstraktlarının *Penicillium expansum*'un Misel Büyümesi Üzerine *in vivo* ve *in vitro* Etkinliği

 Seda BALKAN ^{a,*},  Bilal BALKAN ^a

^aMoleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kırklareli Üniversitesi, Kırklareli, TÜRKİYE

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

DOI: 10.29130/dubited.1111469

Öz

Hasat sonrası elmalarda oldukça yaygın görülen *Penicillium expansum*'un neden olduğu mavi küf dünya çapında önemli ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Bu çalışmada Lamiaceae, Asteraceae, Caprifoliaceae, Papaveraceae familyalarına ait 14 bitki türünün gövde, yaprak ve çiçek kısımlarından elde edilen bitki tozları ve sulu ekstraktlar *Penicillium expansum*'un misel büyümesinin kontrolü için *in vivo* ve *in vitro* etkinlikleri açısından değerlendirildi. *in vitro* sonuçlara göre *Penicillium expansum*'un misel büyümesini Lamiaceae familyasına ait *Origanum vulgare* ve *Thymus longicaulis* sırası ile %100 ve %87,11'lik oranlarında inhibe etti. En düşük MİK değerini *O. vulgare* sulu ekstraktı gösterdi (250 µg/mL). *O. vulgare* sulu ekstraktı (32 mg/mL) elmada yapay olarak oluşturulan mavi küf enfeksiyonunu %69,21 oranında engelledi. SEM analizinde *Penicillium expansum*'un hifal yapısı üzerine *O. vulgare* ve *T. longicaulis*'in çökertme, yassılaştırma ve kırışık hücre yüzeyli hücreler etkileri gözlemlendi. Mavi küf enfeksiyonlarını kontrol edebilmek için *O. vulgare* sulu ekstraktının doğal bir antifungal madde olarak değerlendirilebileceğini önerebiliriz.

Anahtar Kelimeler: *Penicillium expansum*, Antifungal aktivite, Bitki ekstraktı

in vivo and *in vitro* Efficacy of Selected Some Plant Extracts on Mycelial Growth of *Penicillium expansum*

ABSTRACT

Blue mold caused by *Penicillium expansum*, which is very common in post-harvest apples, causes significant economic losses worldwide. In this study, plant powders and aqueous extracts obtained from the stem, leaf and flower parts of 14 plant species belonging to the Lamiaceae, Asteraceae, Caprifoliaceae, Papaveraceae families were evaluated for their *in vivo* and *in vitro* activities for the control of mycelial growth of *Penicillium expansum*. According to *in vitro* results, *Penicillium expansum* inhibited mycelial growth of Lamiaceae family *Origanum vulgare* and *Thymus longicaulis* by 100% and 87,11%, respectively. *O. vulgare* aqueous extract showed the lowest MIC value (250 µg/mL). At 32 mg/mL, *O. vulgare* aqueous extract prevented artificially induced blue mold infection in apples by 69,21%. In SEM analysis, collapsing, flattening and rough cells effects of *O. vulgare* and *T. longicaulis* on hyphal structure of *Penicillium expansum* were observed. We can suggest that the aqueous extract of *O. vulgare* can be evaluated as a natural antifungal agent in order to control blue mold infections.

Keywords: *Penicillium expansum*, Antifungal activity, Plant extract

I. GİRİŞ

Elma (*Malus domestica* Borkh.) ülkemizdeki önemli tarım ürünlerinden biridir. 2020 yılında dünyadaki meyve üretiminin yaklaşık %9,7'sini oluşturmuştur. Dünyadaki elma üretiminin 2021/22 sezonunda 81,8 milyon ton olacağı öngörülmektedir. 2020 verilerine göre Türkiye'de elma üretimi toplam 4,3 milyon tondur. Isparta ili üretimde ilk sırayı almaktadır. 2020/21 sezonunda dünya sıralamasında Türkiye, AB ülkelerinden sonra elma üretiminde 3. sırada, ihracatta ise 10. sırada bulunmaktadır [1].

Hasat, nakliye ve/veya işleme sırasında sürekli oluşan yaralar nedeni ile depolama sırasında patojenik fungusların sebze ve meyveleri enfekte ederek mikrobiyal çürümelere oluşturması gıda endüstrisinin temel sorunudur [2,3]. Fungusların gıdalarda oluşturdukları enfeksiyonlar nedeni ile gıdaların besin değeri düşmekte ve tüketim için uygun olmayan hale gelmektedirler. Bazı funguslar ise mikotoksinler üreterek depolama sırasında gıdalarda önemli hasara neden olmaktadır [4].

Penicillium expansum Link. (1809) depolanmış ürünlerde %50'ye varan kayıplara neden olan ve meyve kabuğunun yaralanması ile ürün içine giren bir yara patojenidir [5]. Bu patojen, elmalarda oluşturduğu mavi küf hastalığı nedeni ile çürüklük kayıpları yanında, kanserojenik etkiye sahip patulin mikotoksinini de üretmektedir [6]. Depolama ve nakliye sırasında gıda kayıplarının önlenmesi için çeşitli sentetik fungusitler geliştirilmiş ve kullanılmıştır. Ülkemizde hasat sonrası depolarda elmada *Penicillium expansum*'un meydana getirebileceği enfeksiyonları önlemek için kullanılan ruhsatlı bir fungusit bulunmamaktadır. Boscalid 25,2 g/kg + Pyraclostrobin 12,8 g/kg (Bellis® WG, BASF) hasat öncesi ruhsatlı olarak bu hastalığa karşı kullanılmaktadır [7]. Fakat bu sentetik fungusitler insanlar ve çevre için istenilmeyen olumsuz etkilere neden olmaktadır. Tüketiciler enfeksiyonlara karşı sentetik fungusitler ile korunmuş meyveleri daha az tercih ettiğinden dolayı alternatif yollara olan talep hızla artış göstermektedir. Bitki ekstraktları bu alternatif yollardan biridir. Birçok bitki mikroorganizmalar üzerinde antimikrobiyal ve sitotoksik etkiler sergileyen fitokimyasallar içerdikleri için doğal antimikrobiyal potansiyele sahiptir. Toksik olmamaları ve çevre ve doğa dostu olmaları nedeni ile tarım ürünlerine ve gıdalara uygulamada sentetik fungusitler yerine alternatif potansiyelleri söz konusudur [8,9].

Bu çalışmada Lamiaceae, Asteraceae, Caprifoliaceae, Papaveraceae familyalarına ait 14 bitki türü *Penicillium expansum*'un misel büyümesi üzerine *in vitro* ve *in vivo* antifungal etkinliği açısından ilk kez değerlendirilmiştir.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

A. MİKROORGANİZMA

Penicillium expansum Trakya Üniversitesi Arda Meslek Yüksekokulu küf koleksiyonundan temin edildi. Saf kültür, canlılığı devam ettirilmek üzere yatkın agarlı Patates Dekstroz Agar (PDA) besiyerlerinde +4°C'de muhafaza edilerek ayda bir pasajlandı.

B. BİTKİ EKSTRAKTLARININ HAZIRLANMASI

Çalışma materyali olarak kullanılan bitki örnekleri Kırklareli'nin (Türkiye) farklı lokasyonlarından toplandı. Örneklerin Merkez, Dereköy çıkışı, Yörükbayır-Armağan arası, Armağan köyü-baraj civarı tamamı Dr. Hüseyin ERSOY tarafından teşhis edilmiş ve Trakya Üniversitesi, Fen Fakültesi herbaryumunda saklanmaktadır. Lamiaceae, Asteraceae, Caprifoliaceae, Papaveraceae familyalarına ait 14 bitki türüne ait örneklerin gövde, yaprak ve çiçek kısımları direk güneş ışığı almayacak bir alanda gölgede kurutuldu, öğütülerek toz haline getirildi ve kullanıma kadar +4°C'de muhafaza edildi. 10 gr bitki tozu 100 mL kaynayan distile suda 10 dk. demlenerek ekstrakte edildi. Filtre edilen sulu ekstraktlar

lyofilize edildi ve kullanıma kadar -20°C'de saklandı. Deneylerde kullanılan sulu bitki ekstraktlarının çeşitli konsantrasyonları ekstraktların uygun ağırlığının distile suda çözülmesi ile hazırlandı [10].

C. BİTKİ TOZLARININ *PENICILLIUM EXPANSUM*'UN MİSEL BÜYÜMESİ ÜZERİNE *in vitro* ETKİSİ

10 gr bitki tozu 40°C'de eritilmiş 100 mL PDA'ya eklendi. Oluşan süspansiyon 10 dk. karıştırılarak 121°C'de 15 dk. otoklavlandı. Daha sonra steril 4 katlı gazlı bezden süzülerek petri plaklarına döküldü [2]. Petri plakları PDA besiyerinde aktif olarak büyüyen bir haftalık kültürün aktif büyüme ucundan steril mantar delici ile alınan 7 mm çapındaki küf diskleri ile aşılandı. 25°C'de 5 gün inkübe edildi. Misel büyüme inhibisyonu (MBİ) = [(KBMÇ-BTBMÇ)/KMBÇ] x 100 formülünden hesaplandı (KBMÇ; kontrol besiyeri misel çapını, BTBMÇ; bitki tozlu besiyerinin misel çapını ifade etmektedir [11]. Tüm deneyler 3 kez tekrarlandı ve sonuçların ortalaması standart sapmalı olarak belirtildi. Antifungal aktivitelerine göre %80 ve üzeri MBİ gösteren bitkilerin ekstraktları ile diğer çalışmalara devam edildi.

D. BİTKİ EKSTRAKTLARININ MİNİMUM İNHİBİTÖR KONSANTRASYONLARININ (MİK) BELİRLENMESİ

Penicillium expansum küfüne (10⁴ CFU/mL) karşı sulu bitki ekstraktının antifungal aktivitesini belirlemek için mikrodilüsyon testleri Klinik ve Laboratuvar Standartları Enstitüsü (CLSI) prosedürüne göre belirlendi [12]. MİK değerleri morfolinopropansülfonik (MOPS) ile pH 7,0'ye tamponlanmış RPMI-1640 (Sigma) besiyerinde 96 kuyucuklu plaklarda gerçekleştirildi. Plaklar 5 gün süresince 25°C'de inkübe edildi. MİK değeri görsel olarak, inkübasyondan sonra fungal büyümenin olmadığı en düşük konsantrasyon şeklinde belirlendi.

E. SULU EKSTRAKTLARIN HİFAL MORFOLOJİ ÜZERİNE ETKİSİNİN TARAMALI ELEKTRON MİKROSKOBU İLE BELİRLENMESİ

7 günlük kültürden hazırlanan spor süspansiyonundan (10⁴ spor/mL) PDA içeren petri plaklarının merkezine 10 µL damlatıldı ve 2 gün 25°C'de inkübe edilerek misel büyümesi sağlandı. Daha sonra bitki ekstraktlarının 4 kat minimum inhibitör konsantrasyonları (4MİK) petri plaklarının üzerini tamamen kapatacak şekilde damlatıldı. 3 gün 25°C'de inkübe edilen fungal kültürlerden mantar delici ile yarıçapı 1 cm'lik misel diskler çıkarıldı. SEM analizi için bu misel diskler oda sıcaklığında 2 saat 0.1 M fosfat tamponu (pH 7,2) içinde hazırlanmış %2,5'lik gluteraldehit ile fiske edildi. Fiksasyondan sonra örnekler her bir seri 30 ar dakikalık sürelerde dereceli olarak etanol serilerinden (% 70, 80, 90 ve % 100) geçirilerek dehidrasyona uğratıldı [11]. Örneklerin 5Kv voltajda SEM Quanta 400 kullanılarak dijital görüntüleri elde edildi.

F. ELMALARDA YAPAY OLARAK OLUŞTURULAN MAVİ KÜF ÇÜRÜMESİNE KARŞI SULU BİTKİ EKSTRAKTLARININ ETKİSİ

Deneyde kullanılan elmalar distile su ile yıkandı, % 0,1 hipoklorit ile dezenfekte edildi ve steril suda üç defa durulandı. Yaralar, steril mantar delici kullanılarak 2 mm derinliğinde 3 mm genişliğinde yapıldı. Yaralar 4, 8, 16 ve 32 mg/mL konsantrasyonlarda sulu bitki ekstraktının 30 µL'si ile kontroller ise aynı miktar steril distile su ile muamele edildi. Oda sıcaklığında 2 saat inkübasyondan sonra her bir yara küf süspansiyonunun (10⁴ spor/mL) 20 µL ile aşılandı ve 7 gün 20°C'de inkübe edildi. Her bir tedavi 3 tekrarı içerdi.

Hastalığın şiddeti aşağıdaki formüle göre hesaplandı [10,13].

$$\text{Hastalığın şiddeti (\%)} = \frac{\text{Tedavili ortalama lezyon yarıçapı}}{\text{Kontrolün ortalama lezyon yarıçapı}} \times 100$$

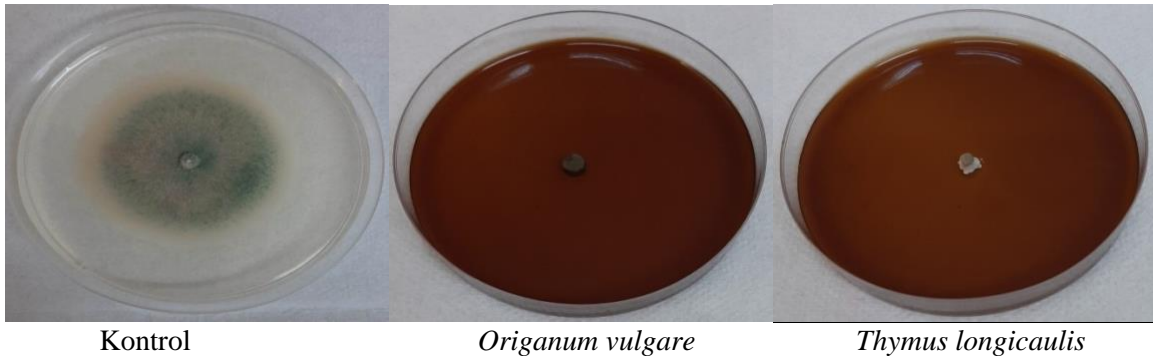
III. BULGULAR VE TARTIŞMA

A. *PENICILLIUM EXPANSUM*'UN MİSEL BÜYÜMESİ ÜZERİNE BİTKİ TOZLARININ *in vitro* ETKİSİ

Sentetik kimyasalların olumsuz etkileri yüzünden yeni antifungal ürünlere ihtiyaç duyulmaktadır. Günümüzde bitki ekstraktı içeren biyolojik kontrol ajanları büyük popülariteye sahiptir. Yapılan çalışmalarda bitkilerin antifungal biyoaktif moleküller olarak oldukça etkili oldukları vurgulanmaktadır [9,14,15,16]. Bu çalışmada bazı bitki türlerinin *Penicillium expansum*'a karşı antifungal aktiviteleri değerlendirildi. *in vitro* sonuçlarda bitkilerin tozuna (%10 v/w) *Penicillium expansum*'un yanıtı ya misel büyümesinin artması ya da inhibisyonu şeklindedir. Test edilen 14 bitki türünden 11'ünün küfün misel büyümesini *in vitro* inhibe ettiği, 3 bitki türünün ise misel büyümeyi arttırdığı belirlendi (Tablo 1). Bitki tozlarının küfün misel büyümesini %10,96-100 arasında değişen oranlarda inhibe ettiği tespit edildi. Bu bitkiler arasında Lamiaceae familyasına ait *Origanum vulgare*, *Penicillium expansum*'un misel büyümesini %100 inhibe etti (Şekil 1). Aynı familyaya ait *Thymus longicaulis* tozları elmalarda mavi küf çürümesine neden olan ajanın misel büyümesi üzerine %80'in üzerinde inhibitör etki gösterdi. Bu çalışmada *Penicillium expansum*' un misel büyümesi üzerine % 80'in üzerinde inhibisyon etkisi gösteren bitki örnekleri ile sonraki çalışmalara devam edildi.

Bitkilerin tanenler, terpenoidler, alkaloidler, flavonoidler ve antimikrobiyal aktivitelere sahip peptitler gibi fitokimyasallar açısından zengin aktif bileşenlere sahip olduğu, bitki ekstraktlarında bulunan bu bileşenlerin küfün gelişimini inhibe ettiği bildirilmiştir [17]. Bu ve benzer çalışmalarda da belirtildiği gibi [2,10,13] çalışmamızda misel büyüme inhibisyonu gösteren bitkilerin potansiyel antifungal aktiviteye sahip olduğunu söyleyebiliriz. Daha önceki yapılan çalışmalarda, *T. longicaulis*'in uçucu yağının antimikrobiyal [18] ve *O.vulgare*'nin uçucu yağının antifungal [19,20] ve antibakteriyal [20] aktiviteye sahip olduğu rapor edilmiştir.

Gwa vd. (2018) tarafından *in vitro* *Penicillium expansum*'un misel büyümesini *Piper nigrum* ekstraktlarının 30 g/L, 60 g/L ve 90 g/L konsantrasyonlarında sırasıyla %60,38, %71,32 ve %76,29 oranında inhibe ettiğini; bunu sırasıyla 30 g/L, 60 g/L ve 90 g/L'de ortalama %57,37, %63,85 ve %72,06 büyüme inhibisyonu ile *Zingiber officinale*'nin izlediği rapor edilmiştir. En az inhibe eden bitki ekstraktının %43,52, %47,91 ve %63,24 ortalama büyüme inhibisyonu ile 30 g/L, 60 g/L 90 g/L konsantrasyonlarında *Carica papaya* ait olduğunu bildirmişlerdir [21]. Ikeura vd. (2011) *Allium sativum*'un kaba ekstraktlarının *Penicillium expansum* misel büyümesi üzerine oldukça etkili olduğunu tespit etmişlerdir [22]. *Biarum carduchorum* metanol ekstraktlarının 2000 µg/mL konsantrasyonda *Penicillium expansum*'un büyümesini inhibe ettiği bildirilmiştir [17].



Şekil 1. Petri plaklarında *Penicillium expansum*'un misel büyümesi üzerine bazı bitki tozlarının (%10 v/w) *in vitro* etkisinin görüntüleri. İnkübasyon süresi 7 gün, inkübasyon sıcaklığı 25°C

Tablo 1. *Penicillium expansum*'un misel büyümesine seçilmiş bitki tozlarının (%10 v/w) *in vitro* etkisi

Familya	Tür İsmi	Ortalama Zon çapı	İnhibisyon (%)
Lamiaceae	<i>Origanum vulgare</i> L. hirtum (Link) letsw	0±0	100
Lamiaceae	<i>Thymus longicaulis</i> C. Presl longicaulis	7,11±1,36	87,11
Lamiaceae	<i>Salvia verticillate</i> L.	15,63±1,90	71,38
Lamiaceae	<i>Melissa officinalis</i> L.	21,63±3,57	60,39
Lamiaceae	<i>Sideritis montana</i> L.	21,74±0,35	60,19
Asteraceae	<i>Eupatorium cannabinum</i> L.	26,23±3,08	51,96
Asteraceae	<i>Cirsium arvense</i> (L.) Scop.	26,45±0,95	51,56
Lamiaceae	<i>Clinopodium vulgare</i> L. vulgare	28,33±1,56	48,12
Asteraceae	<i>Tanacetum parthenium</i> L. Schultz. Bip.	45,10±4,20	14,22
Asteraceae	<i>Lactuca serriola</i> L.	48,56±1,12	11,07
Asteraceae	<i>Matricaria chamomilla</i> L.	48,62±2,65	10,96
Caprifoliaceae	<i>Sambucus ebulus</i> L.	67,05±0,92	22,80
Lamiaceae	<i>Mentha pulegium</i> L.	70,15±5,29	28,48
Asteraceae	<i>Artemisia absinthium</i> L.	76,33±4,04	39,79
Kontrol		54,60±0,71	

B. SULU BİTKİ EKSTRAKTLARININ MİNİMUM İNHİBİTÖR KONSANTRASYONLARININ (MİK) BELİRLENMESİ

Test edilen bitki ekstraktlarının MİK değerleri Tablo 2’de verilmiştir. *Penicillium expansum*’a karşı en düşük MİK değerine sahip bitki ekstraktı *O. vulgare* (250 µg/mL) dir. *T. longicaulis* ekstraktının MİK değeri *O. vulgare* ekstraktı ile karşılaştırıldığında daha yüksekti (500 µg/mL). Bu sonuçlar *O. vulgare* sulu ekstraktlarının *Penicillium expansum*’a karşı daha fazla antifungal ajana sahip olabileceğini göstermektedir.

Biarum carduchorum sulu ve metanol ekstraktlarının *Penicillium expansum* için MİK değerlerinin sırası ile 32 ve 16 mg/mL olduğu rapor edilmiştir [17]. Bu değerler çalışmamızda tespit ettiğimiz MİK değerlerinden oldukça yüksektir.

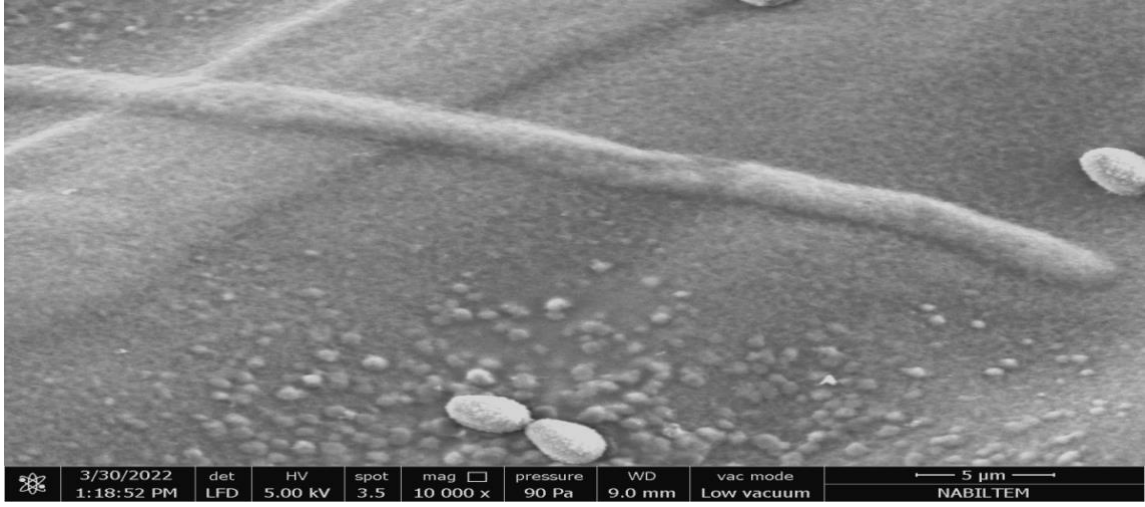
Tablo 2. *Penicillium expansum*’a karşı bazı sulu bitki ekstraktlarının Minimum İnhibitör Konsantrasyonları (MİK), inkübasyon süresi 5 gün, inkübasyon sıcaklığı 25 °C

Bitki ismi	MİK (µg/mL)
<i>Origanum vulgare</i>	250
<i>Thymus longicaulis</i>	500

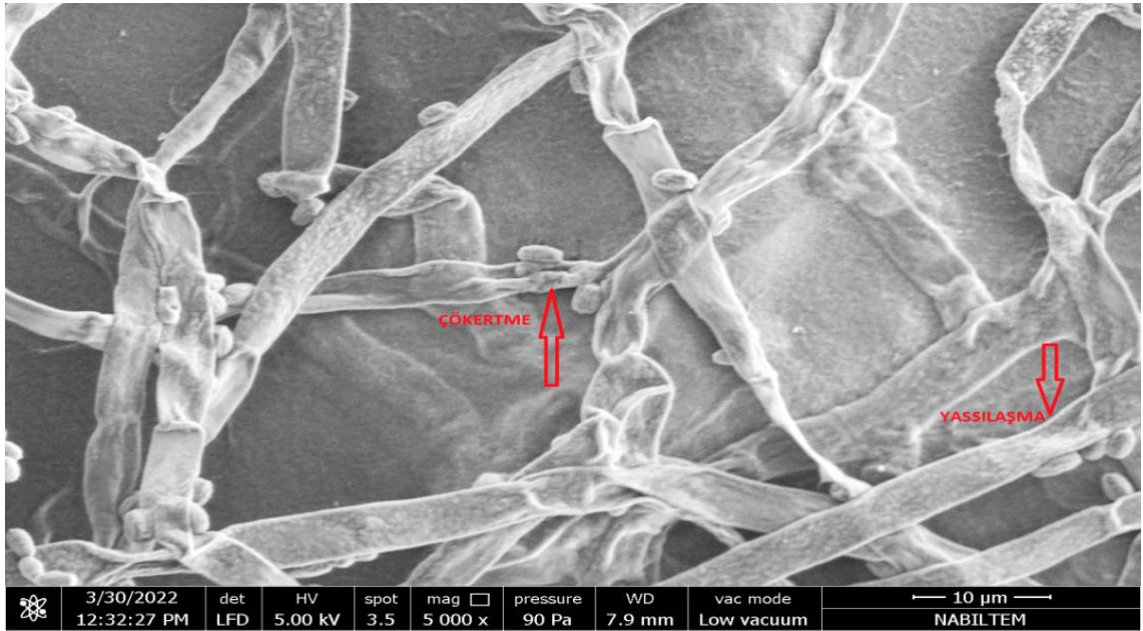
C. HİFAL MORFOLOJİ ÜZERİNE SULU EKSTRAKTLARIN ETKİSİ

Sağlıklı ve dejeneratif değişimlere sahip hiflerin SEM görüntüleri Şekil 2, 3 ve 4’te gösterildi. *O. vulgare* ve *T. longicaulis*’un 4MİK sulu ekstraktına maruz kalmış ve maruz kalmamış *Penicillium expansum*’un hifal morfolojileri karşılaştırıldığında önemli morfolojik değişimler belirlendi. Sağlıklı *Penicillium expansum*’un hifal yapısı doğrusal, düzenli ve homojen olarak gözlemlendi. *O. vulgare* ve *T. longicaulis* sulu ekstraktlarının hifal morfoloji üzerine yaptığı belirlenen dejeneratif değişimleri; çökertme, yassılaştırma ve kırışık hücre yüzeyli hücreler olarak sıralayabiliriz. Hif üzerine kırışık hücre yüzeyli hücreler etkisi *T. longicaulis* sulu ekstraktlarında görülürken bu etki *O. vulgare* ekstraktlarında görülmedi. Bu bulgular uygulanan sulu bitki ekstraktlarının fitotoksik özelliklere sahip olduğunu doğrulamaktadır. Birçok ekstrakt bileşiğinin küf hücre duvarını ve zarlarını geçerek, zar proteinleri ve enzimlerle etkileşime girerek hücre metabolizmasını bozduğu ve sonuçta hücre ölümüne yol açtığı bildirilmiştir [23]. *O. vulgare* ve *T. longicaulis* ekstraktlarının *Penicillium expansum*’un hifal

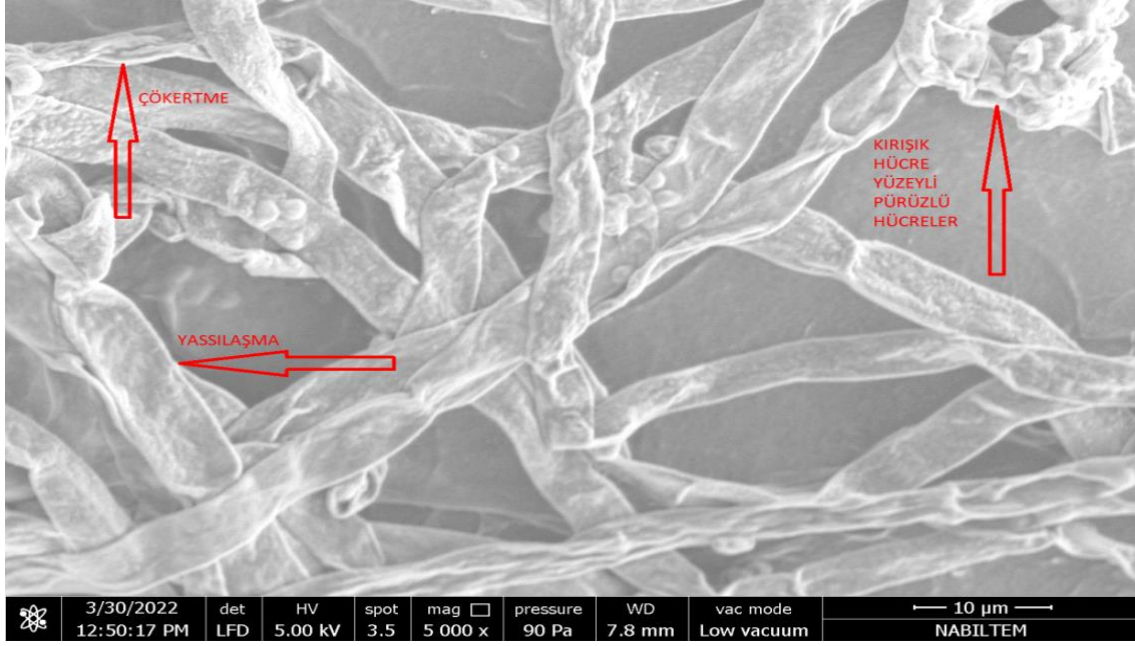
morfolojisi üzerine etkileri ilk kez bu araştırmada rapor edilmiştir. *O. vulgare* ve *T. longicaulis*'in *Alternaria tenuissima* ve *Trichothecium roseum* bitki patojeni küflerinin hifleri üzerine benzer etkileri SEM analizinde gözlenmiştir [24,25]. Fungal morfolojinin bozulmasının ve hifal büyümenin etkilenmesinin uygulanan bitki ekstraktlarının etkisi ile ilişkili olabileceğini ifade edebiliriz.



şekil 2. Bitki ekstraktına maruz kalmamış *Penicillium expansum* sağlıklı hifinin SEM görüntüsü



şekil 3. 4MIK *O. vulgare* sulu ekstraktına maruz kalmış *Penicillium expansum* hiflerinin SEM görüntüsü



Şekil 4. 4MİK *T. longicaulis* sulu ekstraktına maruz kalmış *Penicillium expansum* hiflerinin SEM görüntüsü

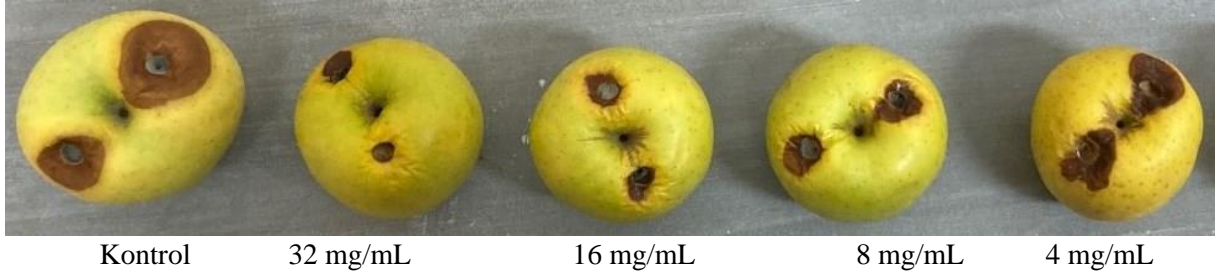
D. ELMALARDA YAPAY OLARAK OLUŞTURULAN MAVİ KÜF ÇÜRÜMESİNE KARŞI SULU BİTKİ EKSTRAKTLARININ ETKİNLİĞİ

Yapay olarak elmalarda geliştirilen mavi küf çürümesinin şiddetinin azaltılmasında *O. vulgare* ve *T. longicaulis* sulu bitki ekstraktlarının 4, 8, 16 ve 32 mg/mL konsantrasyonlarının etkisinin sonuçları Şekil 5 ve 6'da gösterildi. Elmalarda mavi küf çürümesinin şiddetini sulu bitki ekstraktlarının test edilen bütün konsantrasyonları kontrol ile kıyaslandığında azalttığı belirlendi (Şekil 7). *O. vulgare* ekstraktları enfeksiyonun şiddetini *T. longicaulis*'e göre daha yüksek oranlarda engelledi. Hastalığın şiddetini en az *T. longicaulis*'in 4mg/mL konsantrasyondaki ekstraktları azalttı. Fungal patojenlere karşı antifungal potansiyelli bitki seçiminde bitki ekstraktlarının *in vitro* testleri ilk basamak olmasına rağmen, *in vitro* testlerde elde edilen pozitif sonuçların tekrar elde edilip edilemeyeceğini kontrol etmek için *in vivo* testlere ihtiyaç duyulmaktadır [26].

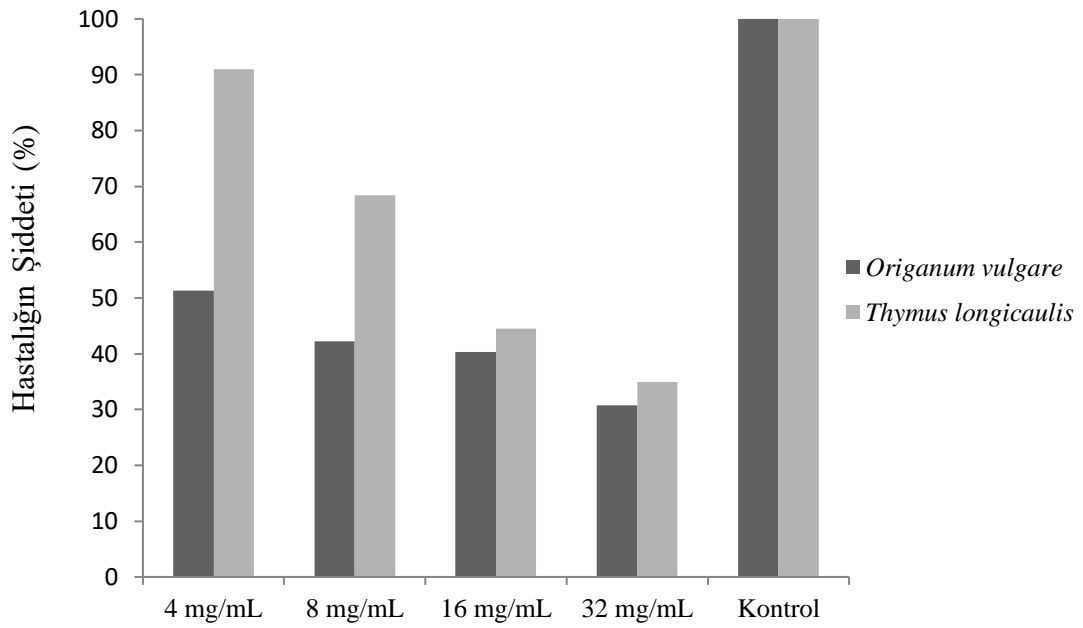
O. vulgare, *in vitro* durumlarda olduğu gibi *in vivo* şartlarda da *Penicillium expansum*'un misel büyümesi üzerine en yüksek etkiyi gösterdi. Fakat test edilen konsantrasyonlarda her iki bitki ekstraktı *Penicillium expansum*'un elmalarda meydana getirdiği lezyonların çaplarını azaltmasına rağmen küf gelişimini tamamen kontrol edemedi. *O. vulgare* ve *T. longicaulis* 32 mg/mL'de hastalığın şiddetini sırası ile %69,21 ve 65,02 gibi yüksek oranlarda azalttılar. Ekstraktların *in vitro* durumlardaki kadar etkili olamamasının nedeni meyve veya sebze dokusunun mineralleri, vitaminleri, nitrojen içeren bileşiklerinin düzeyi, pH'sı veya doğal fenolik bileşikler gibi özelliklerinden dolayı olabilir.



Şekil 5. Elmalarda *Penicillium expansum*'a karşı *O. vulgare* sulu ekstraktlarının in vivo etkisi.



Şekil 6. Elmalarda *Penicillium expansum*'a karşı *T. longicaulis* sulu ekstraktlarının in vivo etkisi.



Şekil 7. Elmalarda mavi küfün şiddeti üzerine sulu bitki ekstraktlarının etkileri (saklama süresi 7 gün, sıcaklık 20°C)

IV. SONUC

Yeni antifungal bileşiklerin potansiyel kaynaklarının belirlenmesi için bitkilerin bilimsel olarak incelenmesi önemlidir. Hem *in vitro* hem de *in vivo* koşullarda yapılan bu çalışmada elde edilen sonuçlar *O. vulgare* ve *T. longicaulis*'in *Penicillium expansum*'un misel büyümesi üzerine antifungal etkinliğini, özellikle *O. vulgare* sulu ekstraktlarının mavi küfün kontrolü için oldukça etkin olduğunu kanıtlamıştır. Bütün bitkiler metabolizmalarında rolleri yeterince bilinmeyen sekonder metabolit olarak çok sayıda antifungal özellikte fenolik madde oluşturduğu bilinmektedir. Mavi küf enfeksiyonlarını kontrol edebilmek için *O. vulgare* sulu ekstraktının doğal bir antifungal madde olarak değerlendirilebileceğini ayrıca *O. vulgare*'nin içerdiği fenolik bileşiklerden hangisi veya hangilerinin *Penicillium expansum*'a karşı antifungal etkinliğinin belirlenmesinin uygun olacağını önerebiliriz.

V. KAYNAKLAR

- [1] Türkiye Cumhuriyeti Tarım ve Orman Bakanlığı, *Tarım Ürünleri Piyasaları*, Elma, Ocak-2022.

- [2] N, Hendel, L. Larous, L. Belbey. “Antioxidant activity of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) and its in vitro inhibitory effect on *Penicillium digitatum*”. *International Food Research Journal*. vol. 23(4), pp. 1725-1732, 2016.
- [3] F. Reyes-Jurado, A.R. Navarro-Cruz, C.E. Ochoa-Velasco, E. Palou, A. López-Malo, R. Ávila-Sosa. “Essential oils in vapor phase as alternative antimicrobials: A review”. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, vol.60, pp.1641–1650, 2020.
- [4] G.P. Munkvold, R.H. Proctor, A. Moretti. “Mycotoxin Production in *Fusarium* According to Contemporary Species Concepts”. *Annu. Rev. Phytopathol.* vol. 59, pp.373-402, 2021.
- [5] R.D. Jeong, E.J. Shin, E.H. Chu, H.J. Park. “Effects of Ionizing Radiation on Postharvest Fungal Pathogens”. *Plant Pathol J.* vol.31, pp.176-180, 2015.
- [6] C.K. Jimdjio, H. Xue, Y. Bi, M. Nan, L. Li, R. Zhang, Q. Liu, L. Pu. “Effect of Ambient pH on Growth, Pathogenicity, and Patulin Production of *Penicillium expansum*”. *Toxins (Basel)*. Vol. 13, pp.550, 2021.
- [7] İ. Erper, Ç. Kalkan, G. Kaçar, M. Türkkın, “Elmada mavi küfe neden olan *Penicillium expansum*’a karşı bazı bor tuzlarının antifungal etkisi”. *Anadolu Tarım Bilim. Derg./Anadolu J Agr Sci*, vol.34, pp.250-258, 2019.
- [8] N. Salhi, S.A. Mohammed Saghir, V. Terzi, I. Brahmi, N. Ghedairi, S. Bissati, “Antifungal Activity of Aqueous Extracts of Some Dominant Algerian Medicinal Plants”. *Biomed Res Int*. doi: 10.1155/2017/7526291, 2017.
- [9] A.A. El-Shahir, D.A. El-Wakil, A.A.H. Abdel Latef, N.H. Youssef, “Bioactive Compounds and Antifungal Activity of Leaves and Fruits Methanolic Extracts of *Ziziphus spina-christi* L.”. *Plants*. Vol.11, pp.746, 2022.
- [10] I. Talibi, L. Askarne, H. Boubaker, E.H. Boudyach, F. Msanda, B. Saadi, A. Ait Ben Aoumar, “Antifungal activity of some Moroccan plants against *Geotrichum candidum*, the causal agent of postharvest citrus sour rot”. *Crop Protection*, vol.35, pp.41-46, 2012.
- [11] E.M. Soyulu, Ş. Kurt, S. Soyulu. “*in vitro* and *in vivo* antifungal activities of the essential oils of various plants against tomato grey mould disease agent *Botrytis cinerea*”. *International Journal of Food Microbiology*, vol.143, pp.183-189, 2010.
- [12] CLSI, Clinical and Laboratory Standards Institute, formerly NCCLS, National Committee for Clinical and Laboratory Standards. Reference method for broth dilution antifungal susceptibility testing of yeasts; Approved Standard, 2nd edition, NCCLS document M27-A2, NCCLS, Wayne, PA. Reference method for broth dilution antifungal susceptibility testing of filamentous fungi; Approved Standard, 1st edition, NCCLS document M 38 A, Wayne, PA. 2002.
- [13] J. Moraes Bazioli, J.R. Belinato, J.H. Costa, D.Y. Akiyama, J.G.M. Pontes, K.C. Kupper, F. Augusto, J.E. de Carvalho, T.P. Fill. “Biological Control of Citrus Postharvest Phytopathogens”. *Toxins*. Vol. 11, pp. 460, 2019.
- [14] M. Parvu, L. Vlase, L. Fodorpatiki, O. Parvu, O. Rosca-Casian, C. Bartha, L. Barbu-Tudoran, & A.E. Parvu, “Chemical Composition of Celandine (*Chelidonium majus* L.) Extract and its Effects on *Botrytis tulipae* (Lib.) Lind Fungus and the Tulip”. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, vol.41, no.2, pp.414-426, 2013.

- [15] D. Nigussie, G. Davey, T.B. Tufa, M. Brewster, B.A. Legesse, A. Fekadu, E. Makonnen. “Antibacterial and Antifungal Activities of Ethiopian Medicinal Plants: A Systematic Review”. *Front Pharmacol.* Vol.12, 633921, 2021.
- [16] A. Hernández-Ceja, P.D. Loeza-Lara, F.J. Espinosa-García, Y.M. García-Rodríguez. “Medina-Medrano JR, Gutiérrez-Hernández GF, Ceja-Torres LF. In Vitro Antifungal Activity of Plant Extracts on Pathogenic Fungi of Blueberry (*Vaccinium* sp.)”. *Plants (Basel)*. Vol,10, pp.852, 2021.
- [17] F. Tabatabaei-Yazdi, B. Alizadeh-Behbahani, A. Vasiee, S.A. Mortazavi, and F. Tabatabaei-Yazdi, “Antifungal Activity of Extracts *Biarum carduchorum* (Kardeh) on *Aspergillus fumigatus* and *Penicillium expansum* in vitro”. *Zahedan J Res Med Sci.*, vol.18, no.4, pp. 6464. 2016.
- [18] S.V. Knežević, I. Ivan Kosalec, M. Babac, M. Petrović, J. Ralić, B. Matica, B. Blažeković, “Antimicrobial activity of *Thymus longicaulis* C. Presl essential oil against respiratory pathogens”. *Cent. Eur. J. Biol.*, vol.7, pp.1109-1115, 2012.
- [19] V. Bhat, S.M. Sharma, V. Shetty, C.S. Shastry, C.V. Rao, S. Shenoy, S. Saha, S. Balaji. “Characterization of Herbal Antifungal Agent, *Origanum vulgare* against Oral *Candida* spp. Isolated from Patients with *Candida*-Associated Denture Stomatitis: An *In vitro* Study”. *Contemp Clin Dent.* Vol,9(1), pp.3-10, 2018.
- [20] A.C.L.P. de Campos, R.D.S. Nandi, S. Scandorieiro, M.C. Gonçalves, G.F. Reis, M. Dibo, L.P. Medeiros, L.A. Panagio, E.P. Fagan, R.K.T. Kobayashi. “Antimicrobial effect of *Origanum vulgare* (L.) essential oil as an alternative for conventional additives in the Minas cheese manufacture”. *LWT.* Vol,157, pp.113063–113069, 2022.
- [21] V.I. Gwa, A.O. Nwankiti and E.J. Ekefan, “Antifungal Effect of Five Aqueous Plant Extracts on Mycelial Growth of *Penicillium expansum* Isolated from Rotted Yam Tubers in Storage”. *Acta Scientifica Agriculture*, vol. 2,no.6, pp.65-70, 2018.
- [22] H. Ikeura, N. Somsak, F. Kobayashi, S. Kanlayanarat, Y. Hayata, “Application of selected plant extracts to inhibit growth of *Penicillium expansum* on apple fruits”. *Plant Pathology Journal*, vol.10, no.2, pp.79-84, 2011.
- [23] P.N. Achar, P. Q., E.C. Adukwu, A. Sharma , H.Z. Msimanga, H. Nagaraja and M.Y. Sreenivasa, “Investigation of the Antifungal and Anti-Aflatoxigenic Potential of Plant-Based Essential Oils against *Aspergillus flavus* in Peanuts”. *J. Fungi*, vol.6, no.383; doi:10.3390/jof6040383, 2020.
- [24] B. Balkan, S. Balkan, H. Aydoğdu, N. Güler, H. Ersoy, B. Aşkın. “Evaluation of Antioxidant Activities and Antifungal Activity of Different Plants Species Against Pink Mold Rot-Causing *Trichothecium roseum*”. *Arab J Sci Eng.* vol, 42, pp. 2279–2289, 2017.
- [25] S. Balkan, B. Balkan. “in vitro Efficiency of Certain Plant Extracts Against The Plant Pathogen *Alternaria tenuissima*”. *Kırklareli University Journal of Engineering and Science*, vol,8(1), pp. 25-37, 2022.
- [26] N. Salhi, S.A. Mohammed Saghir, V. Terzi, I. Brahmi, N. Ghedairi, S. Bissati. “Antifungal Activity of Aqueous Extracts of Some Dominant Algerian Medicinal Plants”. *Biomed Res Int.* vol, 2017; doi: 10.1155/2017/7526291, 2017.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Derleme Makalesi

Tuz Stresinin Bitkiler Üzerindeki Etkileri ve Geliştirilen Tolerans Mekanizmaları

 Büşra SEVGİ^a,  Sema LEBLEBİCİ^{b,*}

^a Moleküler Biyoloji ve Genetik Anabilim Dalı, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Bilecik, TÜRKİYE

^b Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Fen Fakültesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Bilecik, TÜRKİYE

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

DOI: 10.29130/dubited.1171221

ÖZ

Jeolojik, hidrolojik ve antropojenik birçok faktörün neden olduğu tuz stresi, bitkilerin hemen hemen tüm gelişme dönemlerinde olumsuz etkilere sebep olan oldukça karmaşık bir abiyotik strestir. Tuz stresinin neden olduğu ozmotik stres, bitki hücresindeki iyonik dengeyi ve genel homeostazı bozar. Bu abiyotik stres, osmotik strese neden olarak bitkilerin kullanabileceği su miktarını kısıtladığı gibi, iyonik stresi de tetikleyerek bitkilerde iyon miktarının toksik seviyelere ulaşmasına neden olmaktadır. Ayrıca bitkilerde reaktif oksijen türlerinin (ROT) artışı tetikleyen ikincil bir oksidatif stres oluşumuna neden olmaktadır. Genel olarak tuz stresine maruz kalan bitkilerde turgor kaybı, stoma iletkenliği ve fotosentez hızında azalma, besin dengesizliği, biyokütlenin azalması ve büyümenin yavaşlaması yaygın etkiler arasında görülür. Bitkiler bu olumsuz etkilerle baş edebilmek ve tuza tolerans oluşturabilmek için tuz alımı ve iyon taşınmasının kontrolü, ozmolitlerin ve antioksidanların sentezi veya birikimini içeren çeşitli savunma mekanizmaları geliştirmişlerdir. Farklı bitkiler, genotipe, adaptasyon kabiliyetine ve bitkinin diğer özelliklerine bağlı olarak tuzluluğa farklı tepkiler vermektedir. Endüstrileşmenin ve insan faaliyetlerinin hızla arttığı küreselleşen dünyada tuzluluğa dayanıklı transgenik bitkilerin geliştirilmesi verimliliği ve ürün kalitesi daha yüksek bitkiler elde etmek için oldukça önemlidir. Yüksek tuz konsantrasyonlarında yaşamlarını sürdürebilen halofitler ise, istenilen gen kaynağının sağlaması açısından tuza toleranslı glikofit bitkilerin yetiştirildiği çoğu transgenik çalışmada model organizmalar olarak kullanılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Abiyotik stres, Tuzluluk, Ozmolitler, Antioksidanlar, Moleküler yanıtlar

Effects of Salt Stress on Plants and Developed Tolerance Mechanisms

ABSTRACT

Salt stress, caused by many geological, hydrological and anthropogenic factors, is a very complex abiotic stress that causes adverse effects in almost all development stages of plants. Osmotic stress caused by salt stress disrupts the ionic balance and general homeostasis in the plant cell. This abiotic stress not only limits the amount of water that plants can use by causing osmotic stress, but also triggers ionic stress, causing the amount of ions in plants to reach toxic levels. In addition, it causes secondary oxidative stress that triggers the increase of reactive oxygen species (ROS) in plants. In general, loss of turgor, decrease in stomatal conductivity and photosynthesis rate, nutrient imbalance, decrease in biomass and slowdown of growth are seen among the common effects in plants exposed to salt stress. Plants have developed various defense mechanisms, including salt intake and control of ion transport, synthesis or accumulation of osmolytes and antioxidants, in order to cope with these negative effects and to create salt tolerance. Different plants respond differently to salinity, depending on genotype, adaptability,

and other plant characteristics. In the globalizing world, where industrialization and human activities are rapidly increasing, the development of salinity-tolerant transgenic plants is very important to obtain plants with higher productivity and product quality. Halophytes, which can survive in high salt concentrations, are used as model organisms in most transgenic studies in which salt-tolerant glycophyte plants are grown in order to provide the desired gene source.

Keywords: Abiotic stress, Salinity, Osmolytes, Antioxidants, Molecular responses

I. GİRİŞ

Bitkiler, erken gelişim ve büyüme başta olmak üzere yaşamlarının birçok evresinde çeşitli biyotik ve abiyotik stres faktörlerinden etkilenmektedir [1]. Özellikle tahıl bitkilerinde, tarımsal verim ve ürün kalite kaybına sebep olan toprak tuzluluğu, bu abiyotik stres faktörlerinin başında gelmektedir [2]. Toprakta çözünür tuzların birikmesiyle meydana gelen toprak tuzluluğu, farklı nedenlerden kaynaklanmaktadır. İklimsel ve jeolojik değişikliklere bağlı olarak yağışa oranla daha yüksek buharlaşma sonucu oluşan tuz birikimi, özellikle kurak ve yarı kurak iklim bölgelerinde yetersiz drenaja sahip alanlarda, düşük kaliteli ve tuz oranı yüksek suların sulama suları olarak bilinçsiz kullanımı sonucu önemli tarım arazilerinde tuzluluk sorununa sebep olmaktadır [2]. Bu durum dünya çapında toplam arazi alanının yaklaşık % 6'sına karşılık gelen 800 milyon hektardan fazla alanı etkilemektedir [3]. Topraktaki tuzluluk, toprak çözeltilisinin elektriksel iletkenlik değeri ölçülerek belirlenmektedir. Günümüzde elektriksel iletkenlik değeri 4 dS m⁻¹ (40 mM'a eşdeğer) veya daha fazla olan topraklar, "tuzlu topraklar" olarak kabul edilmektedir [4]. Topraktaki tuzluluktan dolayı sürekli artan tuz düzeyi, bitkilerin su ve mineral besin alımını engelleyerek bitkilerin her geçen gün bu duruma adapte olmasını güçleştirmekte ve bitkilerde tuz stresine sebep olmaktadır [5].

Tuz stresi; çimlenme, fide gelişimi, vejetatif ve olgunluk aşamaları da dahil olmak üzere hemen hemen bütün büyüme ve gelişme aşamalarında bitki metabolizmasını olumsuz etkileyen oldukça karmaşık bir abiyotik streştir. Tuz stresi, bitkilerin kullanabileceği su miktarını azaltan bir ozmotik stres (erken/kısa vadeli etki) ile iyon miktarının toksik bir seviyeye ulaşmasına neden olan bir iyonik stres (geç/uzun vadeli etki) oluşturarak bitkileri hücre, organ ve tüm bitki düzeyinde doğrudan etkiler [6]. Yüksek tuzluluğun bitkilerdeki ikincil ve dolaylı etkisi ise, iyonik ve ozmotik stres sonucunda meydana gelen oksidatif streştir [1]. Tuz stresinin erken döneminde gözlenen ozmotik stres, tuz uygulamasından birkaç saat sonra veya birkaç gün içinde ortaya çıkmaya başlar ve su ile mineral madde alımının, kök büyümesinin, hücre uzamasının, yaprak gelişiminin, yeni oluşan yaprak sayısının azalmasıyla sonuçlanır [7]. Yüksek tuz konsantrasyonu, bitkilerin köklerinde hücre membranlarının seçiciliğini bozarak topraktan su ve mineral besin elementlerinin alımını engelleyip besin dengesizliğine yol açarken bitki yapraklarında ise dehidrasyona ve turgor kaybına yol açarak yaprak sararmasına ve nihayetinde yaprak hücrelerinin ve dokularının ölümüne sebep olur [5]. Bu süreç, stomaların kapanması sonucunda karbon asimilasyonunun yavaşlaması ve fotosentetik elektron taşıma aktivitelerinin azalması nedeniyle oldukça önemlidir. Tuzluluk stresinin sebep olduğu karbon asimilasyon hızının azalması, fotosentez ve enzim aktivitelerinin inhibisyonu gibi uzun vadeli etkiler, çoğunlukla yüksek tuz konsantrasyonuna maruz kalan bitkilerin dokularında sodyum (Na⁺) ve klor (Cl⁻) iyonlarının birikim göstermesi ile ortaya çıkan sodyum ve klor toksisitesinden kaynaklanır [6]. Yüksek Na⁺ konsantrasyonu, büyüme ve gelişme için kritik öneme sahip hücrenel bir katyon ve temel besin maddesi olan potasyum iyonlarının alımını engelleyerek hücrede birçok fonksiyonun olumsuz etkilenmesine, büyümenin engellenmesine ve hatta bitki ölümüne dahi yol açabilir. Tuz stresi, bitkilerin genellikle büyümesini engeller, stomaların kapanmasının bir sonucu olarak da stomatal iletkenliği, CO₂ mevcudiyeti ve fotosentez hızını azaltır ve singlet oksijen (¹O₂), süperoksit (O₂⁻), hidroksil radikali (•OH) ve hidrojen peroksit (H₂O₂) gibi reaktif oksijen türlerinin (ROT) üretimini artırır [8]. Tuz stresi kaynaklı artan ROT; proteinler, lipidler ve nükleik asitler gibi çeşitli hücrenel bileşenlerde oksidatif hasarlara yol açarak bitkide bir oksidatif stres oluşturur ve bitki yaşamını tehdit eder [9]. Bitkiler, maruz kaldıkları tuz stresinin sebep olduğu bütün bu zararlı etkilerden kurtulmak veya bu etkileri azaltmak için strese tepki olarak biyokimyasal ve moleküler düzeyde çeşitli adaptif mekanizmalar geliştirmeye çalışırlar. Böylece tuz stresine tolerans geliştirebilir ve yaşamsal faaliyetlerini sürdürebilirler [4].

II. BİTKİLERDE TUZ STRESİNİN ETKİLERİ

A. OZMOTİK STRES VE BİTKİ-SU İLİŞKİLERİ

Aşırı miktarda Na^+ ve Cl^- iyonlarının sebep olduğu tuzluluk, toprak çözeltisinin su potansiyelini azaltarak bitkinin topraktan su alımını kısıtlar ve bitkide bir hiperozmotik strese neden olarak kök membranlarının geçirgenliğini bozar. Bitkinin ozmotik potansiyelini azaltan bu durum, bitki hücreleri tarafından kullanılabilen su içeriğinde, yaprak su potansiyelinde ve turgorunda azalmaya, nihayetinde hücre bölünmesinin olumsuz etkilenerek bitki büyüme hızının düşmesine yol açar. Bitkinin ozmotik potansiyeli ile su potansiyeli, tuz stresine karşı ters bir korelasyon gösterir ve tuzluluğun artışı ile her iki potansiyelde de bir azalma gözlenir. Tuz stresi altında; bitkilerde yaprak su potansiyeli, ozmotik potansiyel, turgor basıncı ve transpirasyon oranı azalır. Tuzluluğun neden olduğu ozmotik stres, bitki stomalarının kapanmasına da yol açarak CO_2 difüzyonunu engeller ve bu da fotosentez mekanizmasını bozarak ROT artışına neden olur [10, 11].

B. İYON TOKSİSİTESİ VE BESİN DENGESİZLİĞİ

Tuz stresi, bitkilerde hücrel iyon dengesini diğer bir deyişle iyon homeostazını bozarak fotosentez, hücre bölünme ve büyümesi gibi pek çok biyolojik olayı olumsuz etkiler, nihayetinde ise bitki büyüme ve gelişimini kısıtlar [12]. Toprakta yüksek miktarlarda bulunan Na^+ veya Cl^- gibi çözünür tuzların bitkiler tarafından alınıp toksik şekilde bitki doku ve/veya organlarında birikmesi, bitkilerde ‘spesifik iyon toksisitesine’ neden olur [11]. Bu durum çeşitli bitki dokularında birtakım problemlere yol açar. Bitkinin yaprak gibi sürgün kısımları sodyuma karşı köklerden daha hassas olup bitkinin bu kısımlarında daha yüksek Na^+ ve Cl^- konsantrasyonları görülmektedir. Kökler tarafından topraktan alınan bu tuz iyonları, büyük ölçüde tek yönlü olarak ksilem ile transpirasyon kanalı vasıtasıyla sürgünlere taşınır. Yaprak ve sürgünlerde zamanla artan Na^+ birikimi, bitkiler için çeşitli ozmotik ve metabolik sorunlara neden olurken bu durum özellikle yapraklar yaşlandıkça daha ciddi olup nekroza ve dahası yaprak hücre/dokularının ölümüne dahi yol açabilir [13, 14]. Yapraklarda Cl^- toksisitesinin ilk belirtileri ise, nekrotik lezyonlara dönüşebilen klorotik renklenmelerle kendini gösterir ve artan birikim durumunda yapraklar solgunlaşır. Sitozoldeki yüksek Cl^- konsantrasyonları, kloroplast homeostazını bozabilir ve fotosentezi engelleyip toksik bir radikal patlamaya yol açabilir. Üretilen ROT klorofiller, diğer pigmentler vb önemli bileşenleri kendiliğinden oksitleyerek yapraklarda de-pigmentasyona, klorotik ve nekrotik lezyonların oluşumuna neden olabilir [15]. Bitkilerde biriken Na^+ ve Cl^- gibi toksik tuz iyonları, bitki için gerekli olan potasyum (K^+), kalsiyum (Ca^{+2}), azot (N), fosfor (P), magnezyum (Mg) gibi mineral besin elementleriyle rekabet ederek temel besinlerin bitkiye alımını sınırlar ve bitkide besin eksikliği veya dengesizliğine yol açar [6, 16]. Bitkiler için çok fazla miktarda gerekli olmayan Na^+ iyonunun sitozolik konsantrasyonları çoğunlukla 10 mM kadar olması beklenirken K^+ iyonunun ise sitozolde 100-200 mM olması idealdir. Na^+ , hem kendisine benzer bir katyon olan K^+ iyonunun alımını ve taşınmasını hem de hücre içerisinde metabolik süreçleri etkileyen birçok enzimin aktivitesini engelleyerek veya azaltarak pek çok sorunu beraberinde getirir. Hücre zarını kolayca geçerek sitozolde biriken Na^+ iyonları, tuz stresi altındaki bitkilerde Na^+ toksisitesine yol açar ve hücre turgor basıncı, membran potansiyeli ve bütünlüğünün korunması, birçok enzim aktivitesi için ihtiyaç duyulan bir besin elementi olan K^+ 'nin alımına engel olur. Bu durum bitkide K^+ eksikliğine neden olarak çeşitli metabolik ve enzimatik süreçleri bozar. Öte yandan fazla sitozolik Na^+ , 50'den fazla enzimi aktive eden K^+ ile rekabet ederek hücrel bağlanma yerlerini alır ve birçok enzim için inhibitör görevi görür. Bitkilerdeki yüksek bir sitozolik K^+/Na^+ oranı, bitkinin tuzluluğa direnç geliştirebilmesinin bir göstergesidir. Bu nedenle, bitkinin büyüme veya besin ortamına yapılan K^+ ilavesi, bitkilerde Na^+ toksisitesini hafifletebilir [17, 18, 19].

Bitki için esansiyel besin elementlerinden biri de kalsiyumdur. Kalsiyum bitki büyümesi, membran stabilitesi, ozmotik dengenin korunması ve hücre içi sinyalleşme için gerekli olup çeşitli stres koşullarında bitki dokularının direncinin gelişiminde rol oynar. Ayrıca, tuzluluk da dahil pek çok stres durumunda ikincil haberci molekül olarak işlev görür [18, 19]. Kök bölgesindeki yüksek Na^+

konsantrasyonu, Ca^{+2} alımını ve taşınmasını engelleyerek bitkilerde daha düşük Ca^{+2}/Na^{+} oranlarına neden olur. Düşük Ca^{+2}/Na^{+} oranı, bitki büyümesini azaltmasının yanında bitkide birtakım morfolojik ve anatomik değişikliklere yol açar. Öte yandan hücreye kanallar vasıtasıyla girerek sitozolde fazlaca biriken Na^{+} , Ca^{+2} ile rekabet edebilir ve membrandaki Ca^{+2} iyonlarının yerini alarak membran bütünlüğünü de bozabilir [20]. Bitkinin tuzluluğa direncinde Ca^{+2} , iki şekilde etkilidir. İlki, tuz stresi yanıtında adaptif mekanizmalarda önemli bir sinyal işlevi görür, ikincisi ise yüksek konsantrasyonlara çıktığında plazma membranının Na^{+} geçirgenliğini veya hücre duvarı özelliklerini değiştirerek pasif akış yoluyla Na^{+} birikimini azaltır ve Na^{+} 'nın girişinde doğrudan engelleyici bir etki oluşturur. Bununla birlikte, ek kalsiyum takviyesi de tuz stresine maruz kalan bitkilerde Na^{+} alımını azaltarak bitki büyümesinde bir artış sağlayabilir [20, 21]. Tuzluluk, bitkinin türü ve tuzluluğun seviyesine bağlı olarak bitki için gerekli çoğu mikro besin elementlerinin konsantrasyonlarını değişik seviyelerde etkileyebileceği gibi bu seviyeler bitkinin farklı organlarında dahi değişebilir [16].

C. ÇİMLENME VE BÜYÜME

Bitkiler, tuz stresine özellikle sağlıklı bir bitki oluşumu için en önemli aşamalar olan çimlenme ve erken fide gelişimi döneminde çok daha duyarlıdır. Çimlenme oranı, çimlenme hızı ve kök ile sürgün uzamasında tuzluluğa bağlı olarak görülen azalmalar, ozmotik etki ve spesifik iyon toksisitesinin kombinasyonundan kaynaklanır [22]. Birçok bitki türünde yapılan çalışmalarda, tuz stresi altında yetiştirilen bitki tohumlarının çimlenmesinin geciktiği veya engellendiği, bu nedenle çimlenmede önemli ölçüde bir azalma görüldüğü tespit edilmiştir [23, 24, 25].

Tuz stresi, bitkilerde büyümeyi ve verimliliği önemli ölçüde sınırlandırmaktadır [26]. Bitki büyümesi iki nedenden dolayı engellenmektedir: İlki, toprak çözeltilisinde biriken tuz, tuzluluğun ozmotik veya su eksikliği etkisinden kaynaklı olarak bitkinin su alma kabiliyetini düşürür ve bunun sonucunda da bitkinin büyüme hızı azalır. İkincisi ise, tuzluluğun tuza özgü veya iyon toksisitesi etkisiyle ilişkilidir ve bitki köklerinden giren aşırı miktarda tuz iyonları, transpirasyon kanalı vasıtasıyla gövdeye taşınarak yapraklarda birikir. Bu durum yaprak hücrelerinde hasara yol açar ve bitki büyümesini daha fazla azaltır [16, 27]. Tuz stresi, bitkilerde çeşitli organların taze ve kuru ağırlıkları üzerinde de etkili olup bitkilerde biyokütle birikiminde azalmaya yol açar ve büyümenin yavaşlamasına neden olur. Tuz stresi bitki boyu, yaprak alanı ve biyokütle birikimi gibi büyüme parametrelerini azaltarak bitkilerde olumsuz etkiler oluşturmaktadır [28].

D. FOTOSENTEZ, KLOROPLAST VE FOTOSENTETİK PİGMENTLER

Bitki kloroplastları, tuz stresinden en çok etkilenen organellerin başında gelir. Tuz stresi altında bitkilerin kloroplast yapılarında görülen bazı olumsuz değişimler genelde bitki fotosentetik aktivitesinde azalmayla sonuçlanır [29]. Tuz stresi; fotosentezde görev alan fotosentetik pigmentler, tilakoid membran proteinleri, membran lipidleri ve çeşitli enzimler gibi pek çok bileşeni olumsuz etkilemektedir [12]. Genel olarak bitkilere uygulanan yüksek tuz muamelesinden sonra klorofil, karotenoid gibi fotosentetik pigmentlerin miktarında azalma meydana gelmektedir [30]. Kloroplast tilakoidlerindeki PSI ve PSII'nin reaksiyon merkezleri, bitkilerde ROT'ların ana üretim bölgelerinden biri olup tuzluluk kloroplastların yapısına ciddi şekilde zarar verir [31]. Yüksek tuzluluk, fotosentetik elektron taşıma bölgesi olan tilakoid membranlarda elektron akışını bozar ve tilakoidlerin şişmesiyle sonuçlanan hidroksil radikali ($OH\bullet$) ve hidrojen peroksit (H_2O_2) gibi ROT'ların üretiminde artışa neden olur. Ayrıca, kloroplastta nişasta parçalanmasında görev alan enzimlerin hasar görmesi durumunda kloroplast stromasında nişasta tanelerinin birikimi de söz konusudur [32, 33]. Stroma ve sitoplazma arasındaki ozmotik dengesizlikten kaynaklanabilecek kloroplastlarda şişme, kloroplast dışı membran yapısının bozulması, palizat ve sünger parankima dokularında tilakoid membranların ve grana lamellerinin şişmesi, ve hatta daha yüksek tuz koşullarında grana ve tilakoidlerin parçalanması tuz stresinin neden olduğu önemli etkiler arasındadır [32]. Tuzluluğa maruz kalan bitkilerde fotosentezin azalması çoğunlukla azalan su potansiyeli ile ilişkili olup stomaların kapanması ve azalmış mezofil iletkenliğinin sebep olduğu CO_2 difüzyonunun kısıtlanmasından kaynaklanmaktadır [34]. Tuzlulukla bağlantılı olarak özellikle H_2O_2 gibi reaktif oksijen türlerinin birikimi, ABA sentezinde ani artış ve sürgünlerde Na^{+} ve

Cl⁻ içeriğinin artması sonucu K⁺ içeriğinin azalması gibi durumlar bitkilerde stoma kapanmasını indükler [35]. Stomaların kapanması, dış ortamda bulunan CO₂'nin kloroplasta difüzyonunu ciddi şekilde engelleyerek hücreler arası CO₂ konsantrasyonunun azalmasına ve nihayetinde fotosentez hızının düşmesine neden olur [12]. Stoma iletkenliğindeki azalış kloroplastlara ulaşan CO₂ miktarını kısıtlarken öte yandan stomaların kapanması bitkinin osmotik strese ilk tepkisi olup transpirasyon hızını azaltır ve böylece transpirasyonla kaybedeceği suyu tutmasına katkı sağlar [27,36]. Tuz stresi, CO₂ fiksasyon reaksiyonlarında görev alan Rubisco (ribuloz-1,5-bisfosfat karboksilaz/oksijenaz) enziminin aktivitesinde de değişikliklere neden olarak fotosentetik aktiviteyi etkileyebilir. Stoma geçirgenliğinin azalması gibi stoma kaynaklı kısıtlamaların yanında fotosenteze katılan enzimlerin aktivitesinin değişmesi nedeniyle stoma dışı kısıtlamalar da dış CO₂'ye erişimi sınırlayarak fotosentezi azaltabilir [37]. Öte yandan, tuz stresinin indüklediği ikincil oksidatif strese bağlı olarak bazı durumlarda da fotosentez metabolizması bozulup net fotosentez oranı düşebilmektedir [34,36].

E. OKSİDATİF STRES, MEMBRAN HASARI VE ANTIOKSİDANLAR ÜZERİNE ETKİSİ

Tuz stresi, bitkinin normal metabolizmasındaki substratı oksitleyen ve oldukça reaktif olan ROT'ların oluşumunu tetikler. ROT oluşumu, antioksidan savunma sistemleri ile arasındaki dengeyi bozarak bitkilerde bir oksidatif stres oluşturur [11]. Bitkiler ise tuz stresinden kaynaklı oluşan bu ROT'u elimine edebilmek için antioksidanların üretimi aracılığıyla reaktif oksijen türlerinin detoksifikasyonunu sağlayan antioksidan savunma mekanizmalarını devreye sokar [38].

ROT, düşük konsantrasyonlarda bitki hücrel metabolizmasının normal yan ürünü olup bitki büyümesi, gelişimi ve pek çok stres faktörlerine tepki oluşumu da dahil olmak üzere çeşitli biyolojik süreçlerin hücre içi sinyalleşme kaskadlarında ikincil sinyal iletim molekülleri olarak işlev görür [39, 40]. Normal koşullar altında, ROT üretimi ve antioksidan savunma sistemleri tarafından ROT'un uzaklaştırılması belirli bir denge halindedir [41,42]. Hücrel redoks homeostazı olarak da bilinen ROT homeostazı, hücre metabolizmasının temel parçası olan redoks (redüksiyon-oksidasyon) reaksiyonları tarafından üretilen ROT ile antioksidanların gerçekleştirdiği ROT'un detoksifikasyonu arasında uygun bir denge sağlar ve böylece strese karşı adaptif yanıtta bitkiye önemli bir katkı sunar [40]. Ancak, tuzluluk gibi çeşitli stres faktörleri bu dengeyi bozmakta ve ROT üretiminde bir artışa yol açarak bitkilerde bir oksidatif strese neden olmaktadır ve nihayetinde bitkide hücre ölümüyle sonuçlanan birtakım moleküler ve hücrel hasarlar meydana getirmektedir [41,42]. Oksijen (O₂) radikalleri ve türevlerinden oluşan ROT başlıca O₂^{•-}, H₂O₂, •OH ve ¹O₂ olup çoğunlukla kloroplast, mitokondri, apoplast, peroksizom ve plasma membranlarda üretilmelerine rağmen kloroplastlar ROT'un esas üretim yerleridir [42]. Işık varlığında bitkinin yeşil kısımlarında, kloroplastlar ve peroksizomlar ROT'un esas üreticileridir [43]. Kloroplast tilakoidlerindeki PSI ve PSII'nin reaksiyon merkezleri, ROT 'un ana üretim bölgeleri olup burada çoğunlukla O₂^{•-} ve ¹O₂ molekülleri üretilmektedir [41]. Fotosentez hızında görülen azalmalar da, reaktif oksijen türlerinin oluşumunu arttırmaktadır. Karanlıkta veya bitkinin yeşil olmayan kısımlarında ise, mitokondri ana ROT üretim yeridir ve yan ürün olarak kompleks I ve III'te O₂^{•-} üretir [44]. Peroksizomlar ise birkaç önemli metabolik reaksiyon sonucu O₂^{•-} ve H₂O₂ üretirken plazma zarında bulunan NADPH oksidazlar da, apoplastta çeşitli fizyolojik süreçlere katılan O₂^{•-} üreterek ROT üretimine katkıda bulunur. ROT'ların her bir çeşidi farklı reaktivite ve yarılanma ömrüne sahiptir. H₂O₂ nispeten daha stabil bir tür olup diğer ROT türlerine kıyasla daha uzun yarılanma ömrüne sahiptir. O₂^{•-} ise esas olarak proteinlerin Fe-S merkezleriyle reaksiyona girerek proteinlerin denatürasyonuna yol açmaktadır [42, 43, 45]. Moleküler oksijenden Mehler reaksiyonu sonucu oluşan O₂^{•-}, süperoksit dismutaz (SOD) tarafından H₂O₂'ye dönüştürülebilir ve H₂O₂ de Fenton reaksiyonu aracılığıyla Fe⁺² gibi metal iyonları tarafından katalizlenerek çok daha tehlikeli OH•'ye dönüşebilir ve hücrel bileşenlere zarar verebilir [46]. Tuz stresi altında hücre membranlarında lipid peroksidasyonu, nükleik asit (DNA ve RNA) hasarı, protein denatürasyonu, karbonhidrat oksidasyonu, pigment yıkımı, enzim inhibisyonu, programlı hücre ölümünün aktivasyonu gibi görülen birtakım olumsuzluklar ROT'un yıkıcı etkileri arasındadır [39, 40, 47]. En reaktif ve maksimum toksik etkiye sahip olan OH• radikali, her tür hücrel bileşenle hızla reaksiyona girerek şeker, poliol gibi serbest karbonhidratların oksidasyonuna, lipid preoksidasyonuna, protein oksidasyonuna ve DNA hasarına yol açabilir. Dahası OH•'in aşırı birikimi hücrel ölüme götürebilir [48, 49]. ROT'lar, temelde nükleotid bazlarında DNA oksidasyonuna yol

açabileceği gibi birçok farklı şekilde DNA'yı modifiye edebilir. H_2O_2 ve $O_2^{\bullet-}$, DNA ile tepkime vermez iken 1O_2 özellikle guanine saldırır ve neticesinde en sık görülen 8-Hidroksiguanin modifikasyonu oluşur. Öte yandan 1O_2 ve HO^{\bullet} gibi ROT'lar, bitki membran yapısındaki çoklu doymamış yağ asitlerine (Polyunsaturated Fatty Acids-PUFA'lar) saldırarak lipid peroksidasyonuna yol açmakta ve PUFA yıkım ürünü olarak 4-hidroksi-2-nonenal (HNE) ve malondialdehit (MDA) gibi çeşitli aldehitlerin oluşumuna sebep olmaktadır. Ayrıca lipid peroksidasyonunun son ürünü olan MDA, guanin bazında da ekstra bir halka oluşturarak modifikasyona yol açabilir [43, 45]. PUFA peroksidasyonu, bitkilerde zarın göreceli geçirgenliği ve sızıntıyı arttırırken membran akışkanlığını azaltır ve membran proteinlerine hasar verir, nihayetinde membran bütünlüğünü bozar. Bu nedenle MDA içeriği, oksidatif stresin bir göstergesi olarak plazma membran hasarının derecesini belirten önemli bir indekstir [10,12].

Tuz stresi altında reaktif oksijen türlerinin artması, antioksidan savunma sistemlerindeki dengenin bozulmasına neden olur. Bu durum bitkinin antioksidan savunma sistemi tarafından algılanır ve antioksidatif savunma sistemi güçlenen bitkide ROT detoksifikasyonunu sağlayan antioksidanların üretimi artar, bu sayede bitkinin redoks homeostazı düzenlenir [42, 50]. Antioksidatif savunma sisteminin en önemli üyeleri enzimatik olan SOD, CAT, POX/POD, GPX, GR, GST, APX, MDHAR ve DHAR ile enzimatik olmayan askorbik asit (AA), glutatyon (GSH), fenolik bileşikler, alkaloidler, karotenoidler, flavonoidler, α -tokoferoller, prolin ve serbest amino asitlerdir (Tablo 1) [51,52]. Yapılan pek çok çalışmada, tuzluluk stresinin antioksidanların enzim aktivitelerinde çoğunlukla artan değişikliklere neden olduğu tespit edilmiştir [53].

Tablo 1. Bazı önemli antioksidanlar ve işlevleri [51], [52]

	Antioksidanlar	İşlevleri
Enzimatik	SOD	$O_2^{\bullet-}$ 'nin O_2 ve H_2O_2 'ye dönüşümünü katalize eder.
	CAT	H_2O_2 'yi O_2 ve suya dönüştürür.
	POX	Hücre dışı boşlukta H_2O_2 'nin temizlenmesinde görev yapar.
	GPX	Tiyoredoksini elektron donörü olarak kullanıp H_2O_2 'yi suya, HO_2^{\bullet} 'yi ise lipid alkollere indirger.
	GR	Oksitlenmiş glutatyonu (GSSG) indirgenmiş glutatyon (GSH) indirger.
	GST	Oksidatif hasara yol açan MDA ve H_2O_2 'nin birikimini azaltır.
	APX	Askorbati elektron donörü olarak kullanıp H_2O_2 'nin suya dönüşümünü katalize eder.
	MDHAR	NADH veya NADPH kullanıp monodehidroaskornatı (MDHA)askorbata indirger ve bitkilerde indirgenmiş askorbat seviyesinin korunmasında rol oynar.
	DHAR	İndirgenmiş GSH'ı kullanıp dehidroaskorbatın (DHA) indirgenmesini katalizler ve oksitlenmiş glutatyon ile askorbik asit üretilmesini sağlar.
Enzimatik olmayan	Askorbik Asit	APX tarafından H_2O_2 'nin suya dönüşümünde kullanılır ve aerobik metabolik süreçlerde üretilen diğer ROT'ları doğrudan elimine eder.
	Glutatyon	H_2O_2 , $\cdot OH$ ve 1O_2 temizlenmesinde görev alır.
	Prolin	Önemli bir ozmoprotektan olup etkili bir şekilde $\cdot OH$ radikalinin temizlenmesinin sağlar.
	Karotenoidler	Fotoprotektan görevi görerek singlet oksijen ve peroksil radikallerinin elimine edilmesini sağlar.
	Flavonoidler	H_2O_2 , $\cdot OH$ ve 1O_2 uzaklaştırılmasında rol oynar.
α -tokoferoller	Ara ürün olan α -tokoferoksil radikali yoluyla ROT'ların özellikle lipid radikallerinin temizlenmesinde rol oynar.	

III. TUZ TOLERANS MEKANİZMALARI

A. HALOFİTLER VE GLİKOFİTLER

Yüksek tuzluluk koşullarında bitkilerin büyüme ve yaşam döngülerini devam ettirerek tamamlayabilme yetenekleri 'tuz toleransı' olarak isimlendirilir [26]. Bitkiler, genotipik özelliklerine bağlı olarak farklı tuz toleranslarına sahiptir. 'Glikofit' olarak adlandırılan doğada mevcut pek çok bitki türü tuz stresine karşı duyarlı veya aşırı duyarlı iken, 'halofit' olarak adlandırılan bazı bitki türleri ise geliştirdikleri çeşitli adaptasyon mekanizmaları ile direnç kazanarak oldukça yüksek tuz konsantrasyonlarına (>200 mM NaCl) sahip topraklarda bile yaşamlarını sürdürebilir. Tuza toleranslı bitkiler, dokularında hücresel ozmoregülasyonda görev alan çeşitli bileşikler biriktirerek tuzluluk koşullarında dahi topraktan su alımını devam ettirebilir. Aynı zamanda dokularında uygun hormonal değişimlerin olmasının yanı sıra değişen antioksidan molekül miktarı ve antioksidan enzim aktiviteleri de bu bitkilerde tuz toleransının gelişmesinde önemli rol oynar [5, 54]. Halofitler, glikofitik bitkilerle benzer tuz tolerans mekanizmalarını kullanır ancak yüksek tuzlu koşullara adapte olabilmek için belirli özel anatomik ve morfolojik adaptasyonlar veya kaçınma mekanizmaları geliştirmişlerdir [55]. Halofitler, yüksek su içeriğini korumak için sukkulent özelliğe, dokularından aşırı tuz atımını sağlamak için de halofitik yaprakların karakteristiği olan salgı bezleri ve tuz tüyleri gibi salgı yapılarına sahiptir. Büyük hücre boyutu, yüksek su bileşikleri ve her doku hacmi başına azalan büyüme ve yüzey alanı şeklinde ifade edilen sukkulent özellik iyon alımını suyla uygun oranda dengede tutarak toplam bitki su içeriğini korur. Salgı yapıları sayesinde de tuzların bitkinin sürgün kısımlarına ulaşması önlenerek iyon birikimi dengelenirken, tuzlu koşullarda hayatta kalmak için ihtiyaç duyulan fazla enerji ise yüksek mitokondri sayısı ile karşılanır [56]. Halofitler, tüm bitkilerde bulunan aynı temel strese duyarlı genlerin daha yüksek regülasyonuna sahiptir ve bu sayede abiyotik strese daha toleranslı hale gelirler. Tuza tolerans sağlayan genlerin halofitik bitkilerde, glikofitik bitkilerdekine göre daha fazla ifade edilmesi, tarımsal açıdan daha dirençli ve verimi daha yüksek transgenik bitkilerin üretilmesinde, halofitik bitkilerin model organizmalar olarak tercih edilmesini sağlar. Ancak her bir farklı halofit, tuz stresine farklı mekanizmalarla cevap verdiği için tek bir türün model tür olarak kullanılması doğru değildir [57]. *Aeluropus*, *Mesembryanthemum*, *Suaeda*, *Atriplex*, *Thellungiella*, *Cakile* ve *Salicornia* gibi pek çok halofit türü, özellikle tuza toleranslı glikofitik tahıl bitkilerinin üretilmesinde uygun birer gen kaynağıdır [57, 58]. Bitkilerin yüksek tuzluluk stresine adapte olarak bu koşullarda yaşayabilmesi, geliştirdikleri çeşitli biyokimyasal ve moleküler mekanizmalara bağlıdır. İyon homeostazı ve kompartımanlaşma, ozmotik ayarlamalar için gerekli ozmoprotektanların biyosentezi, antioksidan savunma sisteminin aktivasyonu için antioksidanların sentezi ve stresle ilişkili genlerin ekspresyonlarında yapılan değişiklikler bitkilerin geliştirdiği tuz tolerans mekanizmalarından başlıcalarıdır [59].

B. İYON HOMEOSTAZI VE KOMPARTIMANLAŞMA

Bitkilere tuz iyonlarının girişi, siklik nükleotid-kapılı iyon kanalı (CNGC) ve glutamat-benzeri reseptör protein (GLR) gibi seçici olmayan katyon kanalları (NSCC'ler) ile yüksek-afiniteli K⁺ taşıyıcıları (HKT'ler) tarafından pasif bir şekilde sağlanır [60]. Bu tuz iyonları, bitki kök hücreleri tarafından K⁺ gibi temel besin elementlerinin alımını bozar ve sitozolde yüksek seviyelerde Na⁺ birikimi enzimler için toksik etki yaratır. Halofitik ve glikofitik bitkiler, sitozollerinde yüksek seviyelerde tuzları tolere edemezler [61]. Fazla Na⁺ iyonlarının neden olduğu ciddi iyon toksisitesi, halofitlerde vakuollerde depolanarak kolayca önlenirken halofitik özellik göstermeyen glikofitlerde ise genellikle bu iyonların emilimi en aza indirilir ve emilen tuz iyonları da genç dokuların korunabilmesi adına eski dokularda toplanır. Kısaca, büyümenin devamlılığı veya hücre ölümünün engellenmesi için bitkiler fazla tuz iyonlarını sitozolden uzaklaştırarak vakuole aktarır ve burada bölümlere ayırır veya eski dokularında toplayarak tutar [61]. Böylece, tuz stresinin sebep olduğu aşırı iyon birikimi önlenerek hücresel iyon homeostazı ve dengesi korunur. Bu denge için ise bitki sitoplazmasında uygun bir K⁺/Na⁺ oranının sürdürülmesi gerekir. Sitoplazmik Na⁺'nın azaltılıp sitoplazmik K⁺'nın artırılmasıyla elde edilebilen bu oran, bitkilerde hücresel hasarı ve besin eksikliğini önleyerek bitkilerin uygun şekilde büyümesini sağlar [62]. Sitoplazmik Na⁺'yı azaltan mekanizmalar arasında ise hücreye Na⁺ alımının kısıtlanması, hücreden

Na⁺ dışarı akışının artırılması ve vakuolde Na⁺ 'nın bölümlere ayrılması (kompartımanlaşması) yer alır [63].

HKT'lerin, tuzluluk toleransında önemli payı bulunur ve HKT proteinleri, Na⁺-seçici taşıyıcıları (HKT1) ve Na⁺/K⁺ simporterleri (HKT2) olarak işlev görür ve hücrede Na⁺ ve K⁺ dengesini sağlarlar [59, 64]. HKT1 tipi taşıyıcılar, fotosentetik dokularda aşırı Na⁺ bıkimini önlemek için ksilem transpirasyon akımından Na⁺ geri alımını sağlar. Ayrıca, Na⁺'yı sürgündeki floem hücrelerine yükler ve aşağı doğru akım yoluyla köklere gönderilmesini sağlayarak sürgünde aşırı Na⁺ birikiminin önüne geçer [65]. Bu nedenle, HKT'lerin gen ekspresyon seviyeleri artırılarak bitkilerde gelişmiş tuz toleransı sağlanabilir. Transgenik tütün bitkisinin gövde, kök ve yaprak damarı ksilemlerinde aşırı eksprese edilen *AtHKT1* geni, Na⁺ toksisitesini azaltıp istenilen K⁺ durumunun korunmasına yardımcı olarak sitoplazmada optimal K⁺/Na⁺ oranının korunmasını sağlamış ve bu sayede bitki sağlığı için önemli olan K⁺'nin tutulmasına katkıda bulunarak tuz toleransını arttırmıştır [66].

Bitkilerde iyon homeostazının sağlanması ve tuz toleransının kontrol edilmesinde SOS (Salt-Overly-Sensitive) sinyal yolağı da etkin rol oynamaktadır ve SOS proteinleri de (SOS1, SOS2, SOS3) tuza aşırı duyarlı bu yolağın ana bileşenleridir [18]. SOS sinyal kaskadı, bitki hücrelerini aşırı iyon birikiminin yol açacağı hasardan korurken SOS proteinlerini kodlayan genlerde görülen fonksiyon kaybı da, NaCl'ye karşı değişik seviyelerde aşırı duyarlılık ile sonuçlanır [67]. Dolayısıyla SOS genlerinin ekspresyon seviyeleri önemli olup NaCl'ye karşı geliştirilen tolerans, bu genlerin artan ekspresyon seviyeleri ile doğrudan ilişkilidir. Tuz stresi koşullarında, ksilem yoluyla kökten sürgüne uzun mesafeli toksik Na⁺ iyonlarının taşınmasını düzenleyen ve sitozolden ekstrasellüler boşluğa Na⁺ çıkışını destekleyen plazma membranında lokalize bir Na⁺/H⁺ antiporteri olan SOS1 (NHX7 olarak da bilinir), bu yolda görev alan esas proteindir [68, 69] SOS yolağında yer alan diğer proteinlerden SOS2 bir serin/treonin protein kinaz iken, SOS3 ise Ca⁺² sensörü olarak görev yapan kalsinörin B-benzeri (CBL) protein ailesinin dördüncü üyesidir (CBL4). Hücre dışında iyon konsantrasyonunun artması, Ca⁺²-aracılı SOS3 aktivasyonuna yol açar. Aktif hale gelen SOS3, CBL ile etkileşime giren protein kinaz (CIPK) SOS2/CIPK24 ile etkileşime girerek bu kompleksi aktive eder. Oluşan bu Ca⁺² sensör- kinaz kompleksi, Na⁺/H⁺ antiporteri olan SOS1'i fosforilleyerek aktif hale getirir. Böylece, bitkilerde sitozolden Na⁺ çıkışı ve uzun mesafeli Na⁺ taşınımı gerçekleşir [70, 71]. Bu nedenle, SOS yolağındaki genlerin aşırı ekspresyonu, bitkilerde tuz toleransının artırılmasını sağlar. Öte yandan, plazma membranda lokalize olan H⁺-ATPaz da, Na⁺'nın taşınmasında gerekli itici gücü sağlayan proton gradyanını oluşturarak SOS yoluna katkıda bulunmaktadır [72].

Na⁺'nın vakuolar bölmelendirilmesi ise, yüksek tuz konsantrasyonları altında yetiştirilen bitkilerde sitoplazmik iyon toksisitesini azaltmak için ihtiyaç duyulan önemli bir tuz tolerans mekanizmasıdır [63, 68]. Vakuola Na⁺ bölmelendirilmesi veya taşınımı, Na⁺/H⁺ antiporterleri (NHX) ve NHX aktivitesi için gerekli proton hareket gücünü sağlayan vakuolar tip H⁺-ATPazlar (V-ATPaz) ve H⁺-pirofosfatazların (V-PPaz) aktivitesine bağlı olmanın yanında bunların ekspresyon seviyeleriyle de ilişkilidir [73]. SOS2-SOS3 kinaz kompleksi SOS1'i fosforilleyerek Na⁺'nın hücreden çıkışını sağlamanın yanında SOS2 ayrıca NHX ile etkileşime girip onun aktivasyonunu sağlayarak da fazla Na⁺'nın vakuoller içine gönderilmesinde rol oynar [47]. Vakuol membranında bulunan Na⁺/H⁺ antiporterleri (NHX-tipi taşıyıcılar), Na⁺ taşınması esnasında gerekli enerjiyi sağlayabilmek için bir proton hareket gücüne ihtiyaç duyar ve bu nedenle vakuol membranında bulunan çok sayıda H⁺-ATPaz ve H⁺-PPaz gibi H⁺ pompaları, bir proton gradyanı oluşturarak bu hareket gücünü sağlar [74]. NHX-tipi taşıyıcılar (NHX1 ve NHX2), bu H⁺ pompalarının oluşturduğu proton gradyanı sayesinde sitozoldeki fazla Na⁺'yı vakuole taşıyabilir, aynı zamanda K⁺'nin vakuolde birikimini sağlayarak K⁺ homeostazında da etkin rol oynayabilir [75]. Bitkilerde tuz toleransına katkı sunarak iyon homeostazını sağlamanın yanı sıra NHX-tipi taşıyıcılar, endozom pH değerini, hücre genişlemesini, hücre içi vezikül taşınmasını ve protein lokalizasyonunu da düzenleyebilmektedir [12]. Protonların elektrokimyasal gradyanını oluşturarak Na⁺'nın vakuoller içine bölümlendirilmesini sağlayan Na⁺/H⁺ antiporterini harekete geçiren H⁺-adenosin trifosfataz (ATPaz) ve H⁺-inorganik pirofosfataz (PPaz) gibi vakuolar enzimlerin gen ekspresyon seviyeleri ile yapılan çalışmalar da tuz toleransını önemli ölçüde arttırmaktadır [76].

C. OZMOLİTLERİN BİYOSENTEZİ VE OZMOTİK AYARLAMA

Yüksek tuzluluğa maruz kalan bitkiler, tuz stresinin indüklediği ozmotik strese yanıt olarak prolin, çözünür şekerler, glisin betain gibi ozmotik koruyucu işlevi olan bileşikleri sentezleyerek gerekli ozmotik ayarlamalar yaparlar [1]. Hücre turgor basıncının stabilizasyonu, bitki büyüme ve gelişiminin devam ettirilmesinde kritik bir öneme sahip olan bu ozmotik ayarlamalar, bitkilerde birbiri yerine geçebilen (compatible) ve kısaca ozmolit ya da ozmoprotektan adı verilen uyumlu bileşenlerin sentezlenmesini gerektirir [1, 77]. Ozmolitler nitrojen içeren bileşikler (prolin, glisin betain), çözünür proteinler (LEA proteinleri ve dehidrinler), polioller (mannitol, sorbitol, D-ononitol, D-pinitol, Myo-inositol), çözünür şekerler (trehaloz, glukoz, sakkaroz/sükroz, fruktoz) ve organik asitler (oksalat, malat) şeklinde gruplandırılır [78, 79]. Bu ozmolitlerden prolin, glisin betain ve mannitol bitkilerde oldukça yaygın görülür [80]. Hücre metabolizmasına zarar vermeyip yüksek konsantrasyonlarda toksik etki oluşturmayan düşük moleküler ağırlıklı bu organik bileşikler, bitki hücrelerini dehidrasyona karşı koruyarak hücresel düzeyde gerekli ozmotik dengeyi sürdürmeye çalışır [81, 82]. Elektriksel olarak nötr/yüksüz ve yüksek oranda çözünür olan ozmolitler, sitoplazmadaki ozmotik basıncı artırarak hücrenin turgor basıncını korur, dahası ROT detoksifikasyonu ile ilgili olarak antioksidan aktivite göstererek reaktif oksijen türlerinin eliminasyonunu sağlar ve hücrenin metabolik detoksifikasyonuna yardımcı olup hücresel redoks dengesini korur [77, 80]. Proteinlerin normal katlanmasını düzenleyerek protein yapılarını ve hücre membranlarını stabilize edebilen ozmolitler, tuz stresi altında bitki hücrelerinde sentezlenip birikerek tuzluluk ve onun indüklediği ozmotik stresten kaynaklı oluşan hasarları azaltmada oldukça etkili bir tolerans mekanizması sağlar [81, 82]. Bitkilerde sentezlenen prolin ve büyük çoğunluğu glikoz, sükroz gibi çözünür şekerlerin artan miktarları, özellikle tuz stresi toleransına karşı bitkinin göstermiş olduğu direncin fizyolojik bir işareti olarak düşünülebilir [1]. Ozmolitlerin biyosentezinde görev alan ve bu yolaktaki hız belirleyici enzimleri kodlayan genlerin ekspresyon düzeylerinin artırılması da bitkilerde tuz stresine karşı toleransın artırılmasını sağlar. Prolin biyosentezinde görev alan *1-prolin-5-karboksilat sentetaz* (P5CS) ve glisin betain biyosentezinde görev alan *betain aldehit dehidrogenaz* (BADH) gibi enzim genlerinde yapılan çalışmalar tuz toleransını arttırabilmektedir [57]. Ayrıca çeşitli ozmolitlerin ekzojen uygulanması da bitkilerde tuz toleransını arttıran önemli bir stratejik yöntemdir [83].

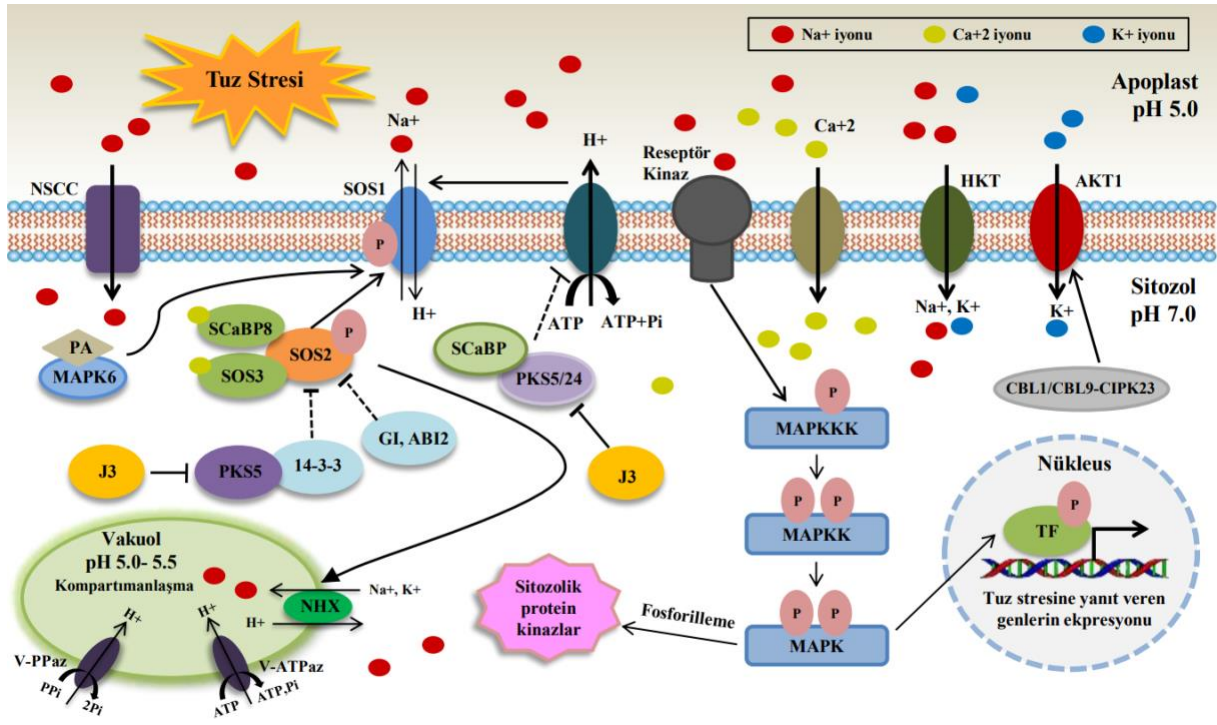
D. TUZ STRESİNDE SİNYAL İLETİMİ VE GEN EKSPRESYON DÜZEYİNDE DEĞİŞİKLİKLER

Bitkiler, tuz stresinin neden olduğu olumsuz etkileri azaltabilmek veya ortadan kaldıracılabilmek amacıyla stres boyunca indüklenen sinyal iletim yolları ve strese karşı oluşturulan strese duyarlı yanıt genleri sayesinde birtakım tolerans stratejisi geliştirmişlerdir [72]. Bitki kök hücrelerinin plazma membranındaki protein ve reseptörler tarafından stresin algılanmasıyla başlayan sinyal iletimi kalsiyum, ROT, inositol fosfat gibi ikincil habercilerin aktivasyonunu sağlayan transdüksiyon yolu ile devam eder ve bu durum hücre dışı tonoplast ile hücre içi sitozolde Ca^{+2} seviyelerinin değişimiyle sonuçlanır. Artan sitozolik Ca^{+2} seviyesi CaM (kalmodulin), CML (kalmodulin benzeri protein), CDPK (kalsiyum bağımlı protein kinaz), CBL/CIPK (kalsinörin-B benzeri protein/ kalsinörin-B benzeri protein etkileşimli protein kinaz) gibi kalsiyum sensör proteinleri tarafından algılanır ve hücrede protein fosforilasyon mekanizması vasıtasıyla sinyal iletimi yayılır. Bu sayede, hücrenin korunmasından sorumlu olan stres yanıt genlerinin ekspresyonunun artırılmasıyla ve bu genleri kontrol eden transkripsiyon faktörlerinin fosforilasyonunun sağlanmasıyla strese yanıt oluşturulur [84, 85, 86]. Sinyal iletimi boyunca görev alan strese duyarlı yanıt genleri ise, “erken yanıt genleri” ve “geç/gecikmiş yanıt genleri” olarak iki sınıf altında toplanır. Tuz stresi boyunca hızlı ve geçici bir şekilde uyarılan erken yanıt genleri, geç yanıt genlerini aktive eden transkripsiyon faktörlerini kodlamaktadır. Daha yavaş aktifleşen geç yanıt genleri ise çoğunlukla LEA (late embryogenesis abundant) proteinleri, antioksidanları ve ozmolitleri kodlayan genleri içerir ve sürekli eksprese edilerek stres toleransının düzenlenmesine katkı sağlar [84]. Tuz stresinin etkisiyle indüklenen bu stres-yanıt genlerinin ürünleri olan moleküller de işlevlerine göre “efektör (koruyucu)” ve “regülatör (düzenleyici)” moleküller şeklinde sınıflandırılır. Efektör molekülleri; aktif ve pasif taşımadan sorumlu çeşitli membran iyon taşıyıcıları, protein kanalları, şaperonlar, antioksidan enzimler, ozmolitlerin sentezi ve birikiminden sorumlu enzimler ve LEA gibi koruyucu proteinler oluştururken regülatör molekülleri ise ilgili genlerin ekspresyonunu modüle ederek

transkripsiyonel ve transkripsiyon sonrası regülasyon ile sinyal yollarında görev alan çeşitli protein kinazlar, protein fosfatazlar ve transkripsiyon faktörleri (TF) meydana getirir [60].

Tuz stresinin bitkilerde oluşturduğu sinyal iletim ağı genel olarak iyonik stres sinyali, osmotik stres sinyali ve detoksifikasyon sinyali şeklinde incelenebilir [87]. İyonik sinyalizasyonun temeli olan SOS sinyali, Ca^{+2} -bağımlı sinyalleşme gösteren ve tuz stresi altında hücrede iyon homeostazını düzenleyen önemli bir sinyal iletim yoludur. Bu sinyal yolunda sitoplazmadan apoplasta Na^{+} taşınmasını sağlayan esas protein SOS1, özellikle CBL-CIPK etkileşiminin dahil olduğu pek çok etkileşimle düzenlenmektedir [88]. Yüksek tuzlulukta, artan sitozolik kalsiyum sinyali kalsiyum sensörleri olan SOS3 (CBL4) ve SCaBP8 (SOS3-benzeri Ca^{+2} bağlayıcı protein 8) tarafından algılanır ve serin/treonin protein kinaz SOS2'ye (CIPK24) iletilir, böylece onun kinaz aktivitesi aktif hale getirilir. SOS3/SCaBP8-SOS2 kompleksi sayesinde SOS1'in aktivitesi düzenlenerek iyon homeostazı sağlanır. Tuz stresi dışındaki normal koşullarda ise, SOS1'in fosforillenmesinde etkili olan SOS2 proteininin kinaz aktivitesi 14-3-3, GI (GIGANTEA), ABI2 (ABA insensitive 2), PKS5 (SOS2-benzeri protein kinaz 5) gibi protein faktörleri tarafından inhibe edilir. Plazma membrana karşı bir proton gradyanı oluşturarak SOS1'in aktivitesini tetikleyen plazma membran (PM) H^{+} -ATPaz'ın aktivitesi de, normal koşullar altında SCaBP (SOS3-benzeri Ca^{+2} bağlayıcı protein) ve PKS5 (SOS2-benzeri protein kinaz 5)/PKS24 (SOS2-benzeri protein 24) tarafından engellenerek hücrel pH homeostazı korunur. Tuz stresi koşullarında ise, SOS2 kinaz aktivitesi 14-3-3 ve GI proteinlerinin 26S proteazomal yolu aracılığıyla degradasyonu sonucu serbest kalır. Yine tuzluluk stresi altında, şaperon J3 (DnaJ homolog 3; ısı şok proteini 40-benzeri) de, PKS5 kinaz ile etkileşime girerek onun aktivitesini baskılar ve bu sayede PM H^{+} -ATPaz'ın aktivasyonu sağlanır. Öte yandan, tuz stresi altındaki bitki hücrelerinde K^{+}/Na^{+} oranının korunmasında önemli olan potasyum kanalı AKT1, CBL1/CBL9-CIPK23 tarafından fosforile edilip aktifleştirilerek düşük K^{+} koşullarında dahi, K^{+} alımında artış sağlar [87, 89, 90].

Bitkilerde yüksek tuzluluk koşullarında oluşturulan sinyal yanıtlarında MAPK (Mitojenle aktive edilen protein kinaz) sinyal kaskadlarının da katkısı yadsınamaz. Ökaryotlar arasında evrimsel olarak korunmuş olan MAPK sinyal yolu, stresin plazma membran tarafından algılanmasından sonra fosforilasyonla aktifleşir. Bu yolun üç önemli MAPK kinazı (MAPKKK, MAPKK ve MAPK) bulunur ve sırasıyla birbirlerini fosforilleyerek aktifleştiren (Serin treonin kinaz olan MAPKKK, MAPKK'yı fosforiller, aktifleşen MAPKK ise MAPK'yı fosforile eder) MAPK kinazlar, diğer pek çok kinaz ve transkripsiyon faktörlerini fosforile etme yeteneğine sahiptir. Bu sayede, stres-yanıt genleri ile ilişkili transkripsiyon faktörleri ve sinyal yollarının etkinleştirilmesinde önemli rol oynarlar [86]. MKK9-MPK3/MPK6 ve MEKK1-MKK2-MPK4/MPK6 kaskadları, tuz stresi sinyal yanıtlarında oldukça önem arz eder. PDL1'den türetilen fosfatidik asit (PA) ise, MPK6 ile etkileşime girip onun aktivasyonunu sağlayarak SOS1 Na^{+}/H^{+} antiporterinin aktifleşmesini sağlar [87, 90]. SOS yolunu içeren iyonik stres sinyalizasyonuna faydasının yanında MAPK sinyal kaskadı, osmotik stres sinyalizasyonu ile ROT detoksifikasyon sinyaline de katkıda bulunur. MKK4-MPK3 ve MAPKKK20-MPK6 kaskadları, özellikle Arabidopsis'te osmotik stres yanıtı sinyalinde yer alırken MEKK1-MKK1/MKK2-MPK4 kaskadı ise, ROT homeostazını sağlayan detoksifikasyon enzimlerin aktivitesini düzenler [39, 87].



Şekil 1. Tuz stresi altında SOS ve MAPK sinyal yollarını içeren sinyal iletim ağı [87, 89, 90] (Düz çizgi ve oklar, tuzluluk koşulları altında pozitif düzenlemeyi gösterirken kesikli çizgiler tuzluluk dışındaki normal koşullarda baskılamayı işaret etmektedir.)

Yüksek tuzluluk, bitkilerde birçok genin ekspresyonunda değişikliklere neden olarak özellikle tuz stresinin etkisiyle indüklenen genlerin ekspresyonunda çoğunlukla bir artış meydana getirir [84]. Dolayısıyla, bitkilerde tuzluluğa toleransı geliştirmek için protein kinazlar, protein fosfatazlar ve transkripsiyon faktörleri (TF'ler) gibi regülatör genlerin ifadelerinin değiştirilmesi ise, hem stres sinyalini aktive etmesi hem de pek çok akış aşağı geni düzenlemesi nedeniyle oldukça etkili bir stratejik yöntemdir [91]. WRKY, MYB, NAC, bZIP, AP2/ERF gibi transkripsiyon faktörleri (TF'ler), pek çok akış aşağı genin promotör bölgelerindeki cis-etkili (cis-acting) elementlere bağlanarak bitkilerde stresle ilişkili genlerin ekspresyonunu kontrol etme yeteneğine sahiptir. Tuz stresi koşullarında, bu transkripsiyon faktörlerinin aşırı ekspresyonu bitkilerde stresle ilişkili genlerin indüklenmesi ve düzenlenmesi yolu ile tuz toleransı sağlar [71, 92]. N-terminalinde, yüksek oranda korunmuş yaklaşık 60 amino asitlik bir WRKYGQK motifine sahip, C-terminalinde ise çinko-parmak motifleri bulunduran WRKY TF ailesi, bitkilerde stres toleransı, fizyolojisi, büyüme ve gelişimi gibi pek çok süreçte etkin rol oynar [71]. Yüksek oranda korunmuş MYB domaini içeren MYB TF ailesi ise, MYB bağlanma bölgelerine (MYB-binding sites/MBS) spesifik bir bağlanma göstererek tuz stresine yanıtta düzenleyici rol üstlenir ve MYB domaininde bulunan tekrarların sayısına göre 4 alt sınıfa (MYB ile ilgili, R2R3-MYB, R1R2R3-MYB ve 4R-MYB) ayrılır. MYB TF'lerin hücre şeklinin belirlenmesi, hücre farklılaşması ve ikincil metabolizmanın yanında bitkilerde sinyal iletimi ve stres toleransında da olumlu etkileri mevcuttur [85, 92]. Bitkilere özgü bir süper aile olan NAC TF'leri de, bitki TF'lerinin en büyük ailesidir ve N-terminal bölgesinde, yaklaşık 150 amino asitten oluşan yüksek oranda korunmuş bir NAC domaini içerir [71]. NAC TF'leri, CACG çekirdek (core)-DNA bağlanma motifinin promotör genleri ile birlikte NACRS (NAC tanıma dizisi) ile etkileşime girerek akış aşağı transkripsiyonel genlerin düzenlenmesine yardımcı olur [93]. İnci darısına (*Pennisetum glaucum*) ait NAC transkripsiyon faktörü *PgNAC21*'in aşırı ekspresyonu, tuzluluk stresi altında tohum çimlenmesi, taze ağırlık ve kök uzunluğu gibi parametreleri olumlu yönde etkileyerek ve, ayrıca *GSTF6* (*Glutathione S-Transferase 6*), *COR47* (*Cold-Regulate 47*) ve *RD20* (*Responsive to Dehydration 20*) gibi strese yanıt veren genlerin ekspresyonunu da arttırarak Arabidopsis bitkilerinde gelişmiş tuz toleransı sağlamıştır [94]. Bitkilerde oldukça geniş bir TF ailesi olan bZIP'lerin, tohum çimlenmesi, bitki büyümesi, gelişimi ve yaşlanması gibi süreçlere katkısının yanında tuzluluk da dahil olmak üzere çeşitli abiyotik stres yanıtında da önemli rolleri mevcuttur. Temel lösün fermuar proteinleri (bZIP'ler), diziyeye özgü DNA bağlanmasını sağlayan

yüksek oranda korunmuş bir temel domain ve bir lösin fermuar dimerizasyon motifi olan bitişik heptad lösin tekrar domaini içermektedir [93]. Diğer bir transkripsiyon faktör ailesi olan AP2/ERF (APETALA2/ethylene responsive element binding factors) süperailisi, oldukça korunmuş bir AP2/ERF DNA bağlanma domaini içerir ve bu TF'ler, promotörlerdeki GCC-kutusu veya DRE/C-tekrarı elementlerine (dehidrasyona duyarlı element CRT) doğrudan bağlanarak akış aşağı genlerin düzenlenmesini sağlar [93]. Özellikle stres yanıtında kritik öneme sahip bu korunmuş AP2/ERF domainlerinin sayısı ve dizi benzerlikleri ile ilişkili olarak AP2/ERF TF ailesi, beş transkripsiyonel alt aileye kategorize edilir: AP2, ERF, DREB, RAV ve Soloist [60, 85]. AP2 (Apetala 2) alt TF ailesi, iki AP2/ERF domaini taşıırken ERF (etilene duyarlı faktör veya etilene duyarlı element bağlanma faktörü) alt ailesi, bir AP2/ERF domaini ile ERF içerir. RAV (ABI3/VP1 ile ilgili) alt ailesi de, bir AP2/ERF domaini ve bir B3 DNA-bağlanma domaini bulundurur. Bir AP2/ERF domainine sahip ancak amino asit dizisinde ERF ailesinden farklı olarak dehidrasyona duyarlı element bağlayıcı protein içeren DREB (Dehidrasyona duyarlı element bağlanma faktörü) alt ailesi ve bunların dışında AP2 domaini taşıyan ancak daha çeşitli dizi ve yapı sergileyen üyeleri sınıflandırmak için son olarak eklenen Soloist alt ailesi de diğer AP2/ERF transkripsiyon faktörü alt ailesi üyeleridir [85]. DREB transkripsiyon faktörleri, DRE/CRT cis-etkili elementle etkileşim göstererek özellikle LEA, ısı şok ve antioksidan enzimler gibi metabolizmada sıklıkla kullanılan çeşitli protein ve enzimleri kodlayan akış aşağı genlerin ekspresyonlarında düzenleyici rol üstlenirler [92].

IV. SONUC

Tüm dünyada özellikle kurak, yarı kurak topraklarda verimlilik için tehdit oluşturan tuzluluk gün geçtikçe artmaktadır. Bitkilerin buna adapte olabilmesi ise her geçen gün zorlaşmakta ve yaşamlarında bir tehdit oluşturmaktadır. Ekilebilir arazilerde artan tuzluluğun yakın zamanda tarım topraklarının yaklaşık %50'sinin kaybına neden olacağı öngörülmektedir. Volkanik patlamalar, yağmurlar, kayaların aşınması gibi jeolojik ve hidrolojik faktörler gibi doğal etmenlerin yanı sıra ormanların azalması, aşırı otlama, su ve hava kaynaklı tuz birikimi, kimyasal kirlilik gibi antropojenik nedenler de tuzlu veya sodik toprakların gelişmesine yol açan faktörlerdir. Ayrıca küresel ısınma ve iklim değişikliği de topraklarda su kaybına neden olmakta ve böylece toprak çözeltisini yoğunlaştırarak tuzluluk artmaktadır.

Toprağın temel yapısı, sodyum ve diğer tuzların daha yüksek konsantrasyonlarda birikmesiyle bozulur, bu da daha düşük toprak gözenekliliğine neden olabilir ve düşük toprak havalandırma ve su iletkenliği durumunu kötüleştirir. Yüksek toprak tuzluluğu seviyeleri, hem hiperiyonik hem de hiperozmotik stresi indükleyerek bitki büyümesi ve gelişimi üzerinde zararlı etkilere sahiptir. Buna ek olarak sürekli tuz birikimi, bitkilerin toprakta bulunan suyu almasını engelleyen fizyolojik kuraklık adı verilen bir duruma da yol açmaktadır.

Tuz stresi ve kuraklığın neden olduğu ozmotik stres, bitki hücreesindeki iyonik dengeyi ve genel homeostazı bozar. Bitkilerin fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler rejimini etkiler, sonuçta iyonik dengesizlikler, zayıf besin alımı ve hücrenin redoks durumu ve ROT'ların üretimi nedeniyle üretkenlikte azalmaya yol açar.

Farklı bitkiler, genotipe, adaptasyon kabiliyetine ve bitkinin diğer özelliklerine bağlı olarak tuzluluğa farklı tepkiler verir. Bitkilerin tuzluluğa tepkilerindeki farklılıklar, bitkinin büyümesine ve gelişmesine yansır. Bu farklılıklar bitkinin tuzluluğa tolerans seviyesini veya hassasiyetini belirler. Bu durum, bitkilerin tuz stresine karşı geliştirdiği tolerans mekanizmalarının önemini de gözler önüne sermektedir ve özellikle tuza duyarlı glikofit türlerin tolerans geliştirerek yaşamlarını sürdürebilmesi adına daha fazla transgenik çalışma yapılması ihtiyacını beraberinde getirmektedir. Bu amaçla, oldukça yüksek tuz konsantrasyonlarına dirençli halofitik türler gen kaynağı sağlaması için uygun bir model olarak düşünülmekte olup çeşitli iyon taşıyıcıların, ozmolitlerin, antioksidan enzimleri kodlayan genlerin ekspresyon seviyeleri değiştirilerek transkripsiyonel düzeyde yapılan değişikliklerle tuzluluğa dayanıklı transgenik bitkiler elde edilmeye çalışılmaktadır. Bitkilerin farklı tuz seviyeleri ve sürelerine

gösterdikleri tepkiler türden türe ve hatta bazen aynı türün farklı genotiplerinde bile değişebileceği için bu durum bitkilerde tuz toleransının sağlanmasını oldukça karmaşık bir hale getirir. Öte yandan tuz toleransı sağlayan mekanizmaların tek başına yeterli olup olmadığı veya bitkilere sağladıkları katkıların ve birbirleriyle etkileşimlerinin ne olacağı gibi konuların tam olarak netlik kazanması için bunları aydınlayabilecek daha çok araştırmaya ihtiyaç vardır. Tuzluluk stresinin bitkilerde neden olduğu zararlı etkilerin üstesinden gelmek için ekolojik, fizyolojik ve moleküler düzeyde kapsamlı çalışmaların yapılması ve botanik alanından elde edilen birçok bilgilerin entegre edilmesi gerekir. Modern teknoloji ve son derece hassas omik teknikler ile gelişmiş, yenilikçi moleküler yöntemler tuzluluk sorunlarını düzeltme mekanizmalarını geliştirmek için oldukça önemlidir. Bu nedenle halen yapılmakta olan araştırmalar, tuza toleranslı bitki genotiplerinin geliştirilebilmesi için gerekli bilgileri sağlayacağından oldukça büyük önem arz etmektedir.

V. KAYNAKLAR

- [1] W. Liang, X. Ma, P. Wan and L. Liu, "Plant salt-tolerance mechanism: A review," *Biochemical and biophysical research communications*, vol. 495, no. 1, pp. 286-291, 2018.
- [2] M. S. Kiremit, M. S. Hacıkamiloğlu, H. Arslan ve O. Kurt, "Farklı sulama suyu tuzluluk seviyelerinin keten (*Linum usitatissimum* L.)'in çimlenme ve erken fide gelişimi üzerine etkisi," *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, c. 32, s. 3, ss. 350-357, 2017.
- [3] Y. Yang and Y. Guo, "Elucidating the molecular mechanisms mediating plant salt-stress responses," *New Phytologist*, vol. 217, no. 2, pp. 523-539, 2018.
- [4] J. R. Acosta-Motos, M. F. Ortuño, A. Bernal-Vicente, P. Diaz-Vivancos, M. J. Sanchez-Blanco and J. A. Hernandez, "Plant responses to salt stress: adaptive mechanisms," *Agronomy*, vol. 7, no. 1, Art. no: 18, 2017.
- [5] S. V. Isayenkov, "Physiological and molecular aspects of salt stress in plants," *Cytology and Genetics*, vol. 46, no. 5, pp. 302-318, 2012.
- [6] N. S. Muchate, G. C. Nikalje, N. S. Rajurkar, P. Suprasanna and T. D. Nikam, "Plant salt stress: adaptive responses, tolerance mechanism and bioengineering for salt tolerance," *The Botanical Review*, vol. 82, no. 4, pp. 371-406, 2016.
- [7] P. Carillo, M. G. Annunziata, G. Pontecorvo, A. Fuggi and P. Woodrow, "Salinity stress and salt tolerance," *Abiotic stress in plants-mechanisms and adaptations*, vol. 1, pp. 21-38, 2011.
- [8] K. Nahar, M. Hasanuzzaman and M. Fujita, "Roles of osmolytes in plant adaptation to drought and salinity," in *Osmolytes and plants acclimation to changing environment: Emerging omics Technologies*, 1st ed., New Delhi, India: Springer Nature India Private Limited, 2016, pp. 37-68.
- [9] M. Singh, J. Kumar, S. Singh, V. P. Singh and S. M. Prasad, "Roles of osmoprotectants in improving salinity and drought tolerance in plants: a review," *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, vol. 14, no. 3, pp. 407-426, 2015.
- [10] R. Munns, "Comparative physiology of salt and water stress," *Plant, cell & environment*, vol. 25, no. 2, pp. 239-250, 2002.
- [11] B. Shahzad, S. Fahad, M. Tanveer, S. Saud and I. A. Khan, "Plant responses and tolerance to salt stress," in *Approaches for enhancing abiotic stress tolerance in plants*, 1st ed., Florida, USA: CRC Press, 2019, pp. 61-78.

- [12] S. Hao, Y. Wang, Y. Yan, Y. Liu, J. Wang and S. Chen, "A review on plant responses to salt stress and their mechanisms of salt resistance," *Horticulturae*, vol. 7, no. 6, Art. no: 132, 2021.
- [13] M. Tester and R. Davenport, "Na⁺ tolerance and Na⁺ transport in higher plants," *Annals of botany*, vol. 91, no. 5, pp. 503-527, 2003.
- [14] R. Munns, "Genes and salt tolerance: bringing them together," *New phytologist*, vol. 167, no. 3, pp. 645-663, 2005.
- [15] C. M. Geilfus, "Chloride: from nutrient to toxicant," *Plant and Cell Physiology*, vol. 59, no. 5, pp. 877-886, 2018.
- [16] P. Parihar, S. Singh, R. Singh, V. P. Singh and S. M. Prasad, "Effect of salinity stress on plants and its tolerance strategies: a review," *Environmental science and pollution research*, vol. 22, no. 6, pp. 4056-4075, 2015.
- [17] H. Wu, "Plant salt tolerance and Na⁺ sensing and transport," *The Crop Journal*, vol. 6, no. 3, pp. 215-225, 2018.
- [18] H. J. Park, W. Y. Kim and D. J. Yun, "A new insight of salt stress signaling in plant," *Molecules and cells*, vol. 39, no. 6, Art. no: 447, 2016.
- [19] M. A. Kader and S. Lindberg, "Cytosolic calcium and pH signaling in plants under salinity stress," *Plant signaling & behavior*, vol. 5, no. 3, pp. 233-238, 2010.
- [20] M. R. Hadi and N. Karimi, "THE ROLE OF CALCIUM IN PLANTS'SALT TOLERANCE," *Journal of plant nutrition*, vol. 35, no. 13, pp. 2037-2054, 2012.
- [21] S. Yokoi, R. A. Bressan and P. M. Hasegawa, "Salt stress tolerance of plants," *JIRCAS working report*, vol. 23, no. 1, pp. 25-33, 2002.
- [22] E. A. Ibrahim, "Seed priming to alleviate salinity stress in germinating seeds," *Journal of plant physiology*, vol. 192, pp. 38-46, 2016.
- [23] A. Bybordi and J. Tabatabaei, "Effect of salinity stress on germination and seedling properties in canola cultivars (*Brassica napus* L.)," *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, vol. 37, no. 2, pp. 71-76, 2009.
- [24] G. Q. Wu, Q. Jiao and Q. Z. Shui, "Effect of salinity on seed germination, seedling growth, and inorganic and organic solutes accumulation in sunflower (*Helianthus annuus* L.)," *Plant, Soil and Environment*, vol. 61, no. 5, pp. 220-226, 2015.
- [25] R. Ahmed, M. H. K. Howlader, A. Shila and M. A. Haque, "Effect of salinity on germination and early seedling growth of maize," *Progressive Agriculture*, vol. 28, no. 1, pp. 18-25, 2017.
- [26] A. K. Parida and A. B. Das, "Salt tolerance and salinity effects on plants: a review," *Ecotoxicology and environmental safety*, vol. 60, no. 3, pp. 324-349, 2005.
- [27] R. Munns and M. Tester, "Mechanisms of salinity tolerance," *Annu. Rev. Plant Biol.*, vol. 59, pp. 651-681, 2008.
- [28] B. Saleh, "Salt stress alters physiological indicators in cotton (*Gossypium hirsutum* L.)," *Soil & environment*, vol. 31, no. 2, 2012.

- [29] A. Hameed, M. Z. Ahmed, T. Hussain, I. Aziz, N. Ahmad, B. Gul, B and B. L. Nielsen, "Effects of Salinity Stress on Chloroplast Structure and Function," *Cells*, vol. 10, no. 8, Art. no: 2023, 2021.
- [30] S. M. Zahedi, M. S. Hosseini, N. Fahadi Hoveizeh, R. Gholami, M. Abdelrahman and L. S. P. Tran, "Exogenous melatonin mitigates salinity-induced damage in olive seedlings by modulating ion homeostasis, antioxidant defense, and phytohormone balance," *Physiologia plantarum*, vol. 173, no. 4, pp. 1682-1694, 2021.
- [31] K. Asada, "Production and scavenging of reactive oxygen species in chloroplasts and their functions," *Plant physiology*, vol. 141, no. 2, pp. 391-396, 2006.
- [32] F. Bejaoui, J. J. Salas, I. Nouairi, A. Smaoui, C. Abdelly, E. Martínez-Force and N. B. Youssef, "Changes in chloroplast lipid contents and chloroplast ultrastructure in *Sulla carnosa* and *Sulla coronaria* leaves under salt stress," *Journal of Plant Physiology*, vol. 198, pp. 32-38, 2016.
- [33] H. Miyake, S. Mitsuya and M. S. Rahman, "Ultrastructural effects of salinity stress in higher plants," in *Abiotic stress tolerance in plants*, 1st ed., Dordrecht, The Netherlands: Springer Science+Business Media B.V., 2006, pp. 215-226.
- [34] J. Flexas, J. Bota, J. Galmes, H. Medrano and M. Ribas-Carbó, "Keeping a positive carbon balance under adverse conditions: responses of photosynthesis and respiration to water stress," *Physiologia Plantarum*, vol. 127, no. 3, pp. 343-352, 2006.
- [35] R. Hedrich and S. Shabala, "Stomata in a saline world," *Current opinion in plant biology*, vol. 46, pp. 87-95, 2018.
- [36] M. M. Chaves, J. Flexas and C. Pinheiro, "Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell," *Annals of botany*, vol. 103, no. 4, pp. 551-560, 2009.
- [37] S. Karimi, A. Yadollahi, K. Arzani, A. Imani and M. Aghaalikhani, "Gas-exchange response of almond genotypes to water stress," *Photosynthetica*, vol. 53, no. 1, pp. 29-34, 2015.
- [38] R. Ahmad, S. Hussain, M. A. Anjum, M. F. Khalid, M. Saqib, I. Zakir, A. Hassan, S. Fahad and S. Ahmad, "Oxidative stress and antioxidant defense mechanisms in plants under salt stress," in *Plant abiotic stress tolerance*, 1st ed., Cham, Switzerland: Springer Nature Switzerland AG, 2019, pp. 191-205.
- [39] C. Zhao, H. Zhang, C. Song, J. K. Zhu and S. Shabala, "Mechanisms of plant responses and adaptation to soil salinity," *The innovation*, vol. 1, no. 1, Art. no: 100017, 2020.
- [40] M. S. Hossain and K. J. Dietz, "Tuning of redox regulatory mechanisms, reactive oxygen species and redox homeostasis under salinity stress," *Frontiers in plant science*, vol. 7, Art. no: 548, 2016.
- [41] C. H. Pang and B. S. Wang, "Oxidative stress and salt tolerance in plants," in *Progress in botany*, 1st ed., Berlin, Germany: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008, pp. 231-245.
- [42] M. Hasanuzzaman, M. Raihan, R. Hossain, A. A. C. Masud, K. Rahman, F. Nowroz, M. Rahman, K. Nahar and M. Fujita, "Regulation of Reactive Oxygen Species and Antioxidant Defense in Plants under Salinity," *International Journal of Molecular Sciences*, vol. 22, no. 17, Art. no: 9326, 2021.
- [43] I. M. Møller, P. E. Jensen and A. Hansson, "Oxidative modifications to cellular components in plants," *Annu. Rev. Plant Biol.*, vol. 58, pp. 459-481, 2007.

- [44] F. K. Choudhury, R. M. Rivero, E. Blumwald and R. Mittler, "Reactive oxygen species, abiotic stress and stress combination," *The Plant Journal*, vol. 90, no. 5, pp. 856-867, 2017.
- [45] 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, no. 12, pp. 909-930, 2010.
- [46] M. A. Ahanger, N. S. Tomar, M. Tittal, S. Argal and R. M. Agarwal, "Plant growth under water/salt stress: ROS production; antioxidants and significance of added potassium under such conditions," *Physiology and Molecular Biology of Plants*, vol. 23, no. 4, pp. 731-744, 2017.
- [47] N. Tuteja, "Mechanisms of high salinity tolerance in plants," *Methods in enzymology*, vol. 428, pp. 419-438, 2007.
- [48] H. Huang, F. Ullah, D. X. Zhou, M. Yi and Y. Zhao, "Mechanisms of ROS regulation of plant development and stress responses," *Frontiers in plant science*, vol. 10, Art. no: 800, 2019.
- [49] S. Bhattacharjee, "ROS and oxidative stress: origin and implication," in *Reactive oxygen species in plant biology*, 1st ed., New Delhi, India: Springer Nature India Private Limited, 2019, pp. 1-31.
- [50] C. Paciolla, A. Paradiso and M. C. De Pinto, "Cellular redox homeostasis as central modulator in plant stress response," in *Redox state as a central regulator of plant-cell stress responses*, 1st ed., Cham, Switzerland: Springer International Publishing Switzerland, 2016, pp. 1-23.
- [51] V. D. Rajput, R. K. Singh, K. K. Verma, L. Sharma, F. R. Quiroz-Figueroa, M. Meena, V. S. Gour, T. Minkina, S. Sushkova and S. Mandzhieva, "Recent developments in enzymatic antioxidant defence mechanism in plants with special reference to abiotic stress," *Biology*, vol. 10, no. 4, Art. no: 267, 2021.
- [52] M. K. Berwal, R. Kumar, K. Prakash, G. K. Rai and K. B. Hebbar, "Antioxidant Defense System in Plants Against Abiotic Stress," in *Abiotic Stress Tolerance Mechanisms in Plants*, 1st ed., London, UK: CRC Press, 2021, pp. 175-202.
- [53] P. Ahmad, A. A. Abdel Latef, A. Hashem, E. F. Abd_Allah, S. Guzel and L. S. P. Tran, "Nitric oxide mitigates salt stress by regulating levels of osmolytes and antioxidant enzymes in chickpea," *Frontiers in plant science*, vol. 7, Art. no: 347, 2016.
- [54] A. Doğru ve S. Canavar, "Bitkilerde tuz toleransının fizyolojik ve biyokimyasal bileşenleri," *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, c. 8, s. 1, ss. 155-174, 2020.
- [55] E. Van Zelm, Y. Zhang and C. Testerink, "Salt tolerance mechanisms of plants," *Annual Review of Plant Biology*, vol. 71, pp. 403-433, 2020.
- [56] M. A. Shahid, A. Sarkhosh, N. Khan, R. M. Balal, S. Ali, L. Rossi, C. Gómez, N. Mattson, W. Nasim and F. Garcia-Sanchez, "Insights into the physiological and biochemical impacts of salt stress on plant growth and development," *Agronomy*, vol. 10, no. 7, Art. no: 938, 2020.
- [57] A. Mishra and B. Tanna, "Halophytes: potential resources for salt stress tolerance genes and promoters," *Frontiers in plant Science*, vol. 8, Art. no: 829, 2017.
- [58] C. Fan, "Genetic mechanisms of salt stress responses in halophytes," *Plant signaling & behavior*, vol. 15, no. 1, Art. no: 1704528, 2020.
- [59] X. Tang, X. Mu, H. Shao, H. Wang and M. Brestic, "Global plant-responding mechanisms to salt stress: physiological and molecular levels and implications in biotechnology," *Critical reviews in biotechnology*, vol. 35, no. 4, pp. 425-437, 2015.

- [60] W. H. Shah, A. Rasool, S. Saleem, N. U. Mushtaq, I. Tahir, K. R. Hakeem and R. U. Rehman, "Understanding the integrated pathways and mechanisms of transporters, protein kinases, and transcription factors in plants under salt stress," *International Journal of Genomics*, 2021.
- [61] B. Gupta and B. Huang, "Mechanism of salinity tolerance in plants: physiological, biochemical, and molecular characterization," *International journal of genomics*, 2014.
- [62] T. Yamaguchi and E. Blumwald, "Developing salt-tolerant crop plants: challenges and opportunities," *Trends in plant science*, vol. 10, no. 12, pp. 615-620, 2005.
- [63] S. Katiyar-Agarwal, P. Verslues and J. K. Zhu, "Mechanisms of salt tolerance in plants," *Plant nutrition for food security, human health and environmental protection*, vol. 23, 2005.
- [64] A. Ali, N. Raddatz, J. M. Pardo and D. J. Yun, "HKT sodium and potassium transporters in Arabidopsis thaliana and related halophyte species," *Physiologia Plantarum*, vol. 171, no. 4, pp. 546-558, 2021.
- [65] D. M. Almeida, M. M. Oliveira and N. J. Saibo, "Regulation of Na⁺ and K⁺ homeostasis in plants: towards improved salt stress tolerance in crop plants," *Genetics and molecular biology*, vol. 40, pp. 326-345, 2017.
- [66] L. Wang, Y. Liu, S. Feng, Z. Wang, J. Zhang, J. Zhang, D. Wang and Y. Gan, "AtHKT1 gene regulating K⁺ state in whole plant improves salt tolerance in transgenic tobacco plants," *Scientific reports*, vol. 8, no. 1, pp. 1-12, 2018.
- [67] H. Ji, J. M. Pardo, G. Batelli, M. J. Van Oosten, R. A. Bressan and X. Li, "The Salt Overly Sensitive (SOS) pathway: established and emerging roles," *Molecular plant*, vol. 6, no. 2, pp. 275-286, 2013.
- [68] J. L. Zhang and H. Shi, "Physiological and molecular mechanisms of plant salt tolerance," *Photosynthesis research*, vol. 115, no. 1, pp. 1-22, 2013.
- [69] U. Deinlein, A. B. Stephan, T. Horie, W. Luo, G. Xu and J. I. Schroeder, "Plant salt-tolerance mechanisms," *Trends in plant science*, vol. 19, no. 6, pp. 371-379, 2014.
- [70] P. Manishankar, N. Wang, P. Köster, A. A. Alatar and J. Kudla, "Calcium signaling during salt stress and in the regulation of ion homeostasis," *Journal of experimental botany*, vol. 69, no. 17, pp. 4215-4226, 2018.
- [71] I. Amin, S. Rasool, M. A. Mir, W. Wani, K. Z. Masoodi and P. Ahmad, "Ion homeostasis for salinity tolerance in plants: A molecular approach," *Physiologia Plantarum*, vol. 171, no. 4, pp. 578-594, 2021.
- [72] G. T. Huang, S. L. Ma, L. P. Bai, L. Zhang, H. Ma, P. Jia, J. Liu, M. Zhong and Z. F. Guo, "Signal transduction during cold, salt, and drought stresses in plants," *Molecular biology reports*, vol. 39, no. 2, pp. 969-987, 2012.
- [73] L. Sathee, R. K. Sairam, V. Chinnusamy and S. K. Jha, "Differential transcript abundance of salt overly sensitive (SOS) pathway genes is a determinant of salinity stress tolerance of wheat," *Acta physiologiae plantarum*, vol. 37, no. 8, pp. 1-10, 2015.
- [74] E. Bassil and E. Blumwald, "The ins and outs of intracellular ion homeostasis: NHX-type cation/H⁺ transporters," *Current opinion in plant biology*, vol. 22, pp. 1-6, 2014.

- [75] I. U. Khan, A. Ali and D. J. Yun, "Arabidopsis NHX transporters: sodium and potassium antiport mythology and sequestration during ionic stress," *Journal of Plant Biology*, vol. 61, no. 5, pp. 292-300, 2018.
- [76] P. M. Hasegawa, "Sodium (Na⁺) homeostasis and salt tolerance of plants," *Environmental and experimental botany*, vol. 92, pp. 19-31, 2013.
- [77] F. Zulfqar, N. A. Akram and M. Ashraf, "Osmoprotection in plants under abiotic stresses: New insights into a classical phenomenon," *Planta*, vol. 251, no. 1, pp. 1-17, 2020.
- [78] M. Ashraf, "Some important physiological selection criteria for salt tolerance in plants," *Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, vol. 199, no. 5, pp. 361-376, 2004.
- [79] H. Pirasteh-Anosheh, G. Ranjbar, H. Pakniyat and Y. Emam, "Physiological mechanisms of salt stress tolerance in plants: An overview," in *Plant-environment interaction: Responses and approaches to mitigate stress*, New Jersey, USA: John Wiley & Sons, 2016, ch. 8, pp. 141-160.
- [80] S. C. Saxena, H. Kaur, P. Verma, B. P. Petla, V. R. Andugula and M. Majee, "Osmoprotectants: potential for crop improvement under adverse conditions," in *Plant acclimation to environmental stress*, 1st ed., New York, USA: Springer Science+Business Media New York, 2013, pp. 197-232.
- [81] M. Singh, J. Kumar, S. Singh, V. P. Singh and S. M. Prasad, "Roles of osmoprotectants in improving salinity and drought tolerance in plants: a review," *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, vol. 14, no. 3, pp. 407-426, 2015.
- [82] M. Nadeem, M. Ali, G. Kubra, A. Fareed, H. Hasan, A. Khursheed, A. Gul, R. Amir, N. Fatima and S. U. Khan, "Role of osmoprotectants in salinity tolerance in wheat," in *Climate Change and Food Security with Emphasis on Wheat*, 1st ed.: Academic Press, 2020, pp. 93-106.
- [83] P. A. F. de Freitas, H. H. de Carvalho, J. H. Costa, R. D. S. Miranda, K. D. D. C. Saraiva, F. D. B. de Oliveira, D. G. Coelho, J. T. Prisco and E. Gomes-Filho, "Salt acclimation in sorghum plants by exogenous proline: physiological and biochemical changes and regulation of proline metabolism," *Plant cell reports*, vol. 38, no. 3, pp. 403-416, 2019.
- [84] F. Kaleem, G. Shabir, K. Aslam, S. Rasul, H. Manzoor, S. M. Shah and A. R. Khan, "An overview of the genetics of plant response to salt stress: present status and the way forward," *Applied biochemistry and biotechnology*, vol. 186, no. 2, pp. 306-334, 2018.
- [85] X. Lan Thi Hoang, D. Ngoc Hai Nhi, N. Binh Anh Thu, N. Phuong Thao and L. S. Phan Tran, "Transcription factors and their roles in signal transduction in plants under abiotic stresses," *Current genomics*, vol. 18, no. 6, pp. 483-497, 2017.
- [86] G. C. Nikalje, T. D. Nikam and P. Suprasanna, "Looking at halophytic adaptation to high salinity through genomics landscape," *Current Genomics*, vol. 18, no. 6, pp. 542-552, 2017.
- [87] Y. Yang and Y. Guo, "Unraveling salt stress signaling in plants," *Journal of Integrative Plant Biology*, vol. 60, no. 9, pp. 796-804, 2018.
- [88] M. Seifikalhor, S. Aliniaiefard, A. Shomali, N. Azad, B. Hassani, O. Lastochkina and T. Li, "Calcium signaling and salt tolerance are diversely entwined in plants," *Plant Signaling & Behavior*, vol. 14, no. 11, Art. no: 1665455, 2019.
- [89] S. Zhao, Q. Zhang, M. Liu, H. Zhou, C. Ma and P. Wang, "Regulation of plant responses to salt stress," *International Journal of Molecular Sciences*, vol. 22, no. 9, Art. no: 4609, 2021.

- [90] S. Hussain, S. Hussain, B. Ali, X. Ren, X. Chen, Q. Li, M. Saqib and N. Ahmad, "Recent progress in understanding salinity tolerance in plants: Story of Na⁺/K⁺ balance and beyond," *Plant Physiology and Biochemistry*, vol. 160, pp. 239-256, 2021.
- [91] H. C. Nguyen, K. H. Lin, S. L. Ho, C. M. Chiang and C. M. Yang, "Enhancing the abiotic stress tolerance of plants: from chemical treatment to biotechnological approaches," *Physiologia Plantarum*, vol. 164, no. 4, pp. 452-466, 2018.
- [92] M. A. Ahanger, N. A. Akram, M. Ashraf, M. N. Alyemeni, L. Wijaya and P. Ahmad, "Signal transduction and biotechnology in response to environmental stresses," *Biologia Plantarum*, vol. 61, no. 3, pp. 401-416, 2017.
- [93] J. Kumar, S. Singh, M. Singh, P. K. Srivastava, R. K. Mishra, V. P. Singh and S. M. Prasad, "Transcriptional regulation of salinity stress in plants: A short review," *Plant Gene*, vol. 11, pp. 160-169, 2017.
- [94] H. Shinde, A. Dudhate, D. Tsugama, S. K. Gupta, S. Liu and T. Takano, "Pearl millet stress-responsive NAC transcription factor PgNAC21 enhances salinity stress tolerance in Arabidopsis," *Plant physiology and biochemistry*, vol. 135, pp. 546-553, 2019.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Menengiç (*Pistacia terebinthus* L.) Ekstraktının Hepatoselüler Karsinom Hücrelerinde Antioksidatif ve Antikarsinojenik Etkileri

 Güllü KAYMAK^{a,b*},  Meliha Koldemir-Gündüz^{b,c},  Ertan Kanbur^{d,e}

^a Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü, Simav Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Kütahya Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Kütahya, TÜRKİYE

^b Uygulama ve Araştırma Merkezi, Kütahya Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Kütahya, TÜRKİYE

^c Temel Bilimler Bölümü, Doğa Bilimleri ve Mühendislik Fakültesi, Kütahya Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Kütahya, TÜRKİYE

^d Nanothera Lab, İlaç Uygulama ve Araştırma Merkezi (ERFARMA), Erciyes Üniversitesi, Kayseri, TÜRKİYE

^e Klinik Mühendisliği Araştırma ve Uygulama Merkezi (ERKAM), Erciyes Üniversitesi, Kayseri, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: gullu.kaymak@ksbu.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1162385

ÖZ

Çağımızın en yüksek ölüm oranına sahip sağlık sorunlarından biri olan kanser vakalarının önlenmesi için yeni ve etkili tedavi stratejileri geliştirmeye yönelik araştırmalar son yıllarda önem kazanmıştır. Doğal kaynaklardan elde edilen özütler, uçucu yağlar ve biyoaktif bileşenler daha az yan etki ile etkin tedavi sunma potansiyelindedir. Bu çalışmanın amacı, menengiç meyvesinin ekstraktının hepatoselüler karsinom hücrelerinde (HepG2) oksidatif stres, sitotoksik ve apoptotik etkilerini incelemektir. Sağlıklı karaciğer epitel hücreleri (ZFL) ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak bu ekstraktın kanser hücrelerine spesifik olup olmadığı değerlendirilmiştir. Literatürde ilk kez yapılan çalışmamızda, soxhlet yöntemi ile menengiç meyvelerinden elde edilen ekstraktın IC₅₀ dozunu ve süresini belirlemek için iCELLigence sistemi, sitotoksitesi belirlemek amacıyla MTT yöntemi, apoptoz profilini belirlemek için Annexin V yöntemi kullanılmıştır. Menengiç ekstraktının oluşturabileceği oksidatif hasarın belirlenmesinde; TAS, TOS, GSH ve lipid peroksidasyon seviyeleri ile NADP-IDH, katalaz, alkalen fosfatase ve asit fosfatase enzim aktivitesi analizleri spektrofotometrik yöntemlerle yapılmıştır. iCELLigence sistemi ile yapılan analiz sonucunda menengiç ekstraktının HepG2 hücrelerindeki 48 saatlik IC₅₀ dozu 419 µg/mL olarak bulunmuştur. Sitotoksikite analizi ile menengiç ekstraktının HepG2 hücrelerinde ZFL hücrelerine kıyasla daha öldürücü olduğu gözlenmiştir. Aynı şekilde HepG2 hücrelerinde 6 saatte gözlenen apoptotik ve ölü hücre sayısı ZFL hücrelerine göre daha fazla olduğu gözlenmiştir. Oksidatif hasarı belirlemek için yapılan analizlerde ZFL hücrelerinde gözlenen sonuçlar istatistiksel olarak anlamlı bulunmazken, HepG2 hücrelerinde hem kontrol grubuyla hem de ZFL hücrelerine kıyasla belirgin oksidatif hasar gözlenmiştir. Elde edilen bulgular, kanser tedavisinde yeni ajanlar geliştirilmesi yönündeki çalışmalara kaynak oluşturabilecektir.

Anahtar Kelimeler: Kanser, Karaciğer, Sitotoksikite, Apoptoz, Oksidatif stres, Menengiç.

Antioxidative and Anticarcinogenic Effects of Terebinth (*Pistacia terebinthus* L.) Extract on Hepatocellular Carcinoma Cells

ABSTRACT

In recent years, cancer research; It is one of the most important health problems of our age with its high mortality rate and incidence. In addition to existing treatment systems, it is vital to develop effective treatment strategies for

the prevention of increasing cancer cases. Extracts from plants, essential oils, and bioactive components; Due to their natural origin, they have the potential to provide effective treatment with fewer side effects. The aim of this study was to examine the oxidative stress, cytotoxic and apoptotic effects of the extract of terebinth in hepatocellular carcinoma cells (HepG2). The results obtained with healthy liver epithelial cells (ZFL) were compared and it was evaluated whether this extract was specific to cancer cells. In our study, which was conducted for the first time in the literature, the iCELLigence system was used to determine the IC50 dose and duration of the extract obtained from terebinth by the soxhlet method, the MTT method to determine the cytotoxicity, and the Annexin V method to determine the apoptosis profile. In determining oxidative damage caused by terebinth extract; TAS, TOS, GSH, and lipid peroxidation levels and NADP-IDH, catalase, alkaline phosphatase, and acid phosphatase enzyme activities were analyzed by spectrophotometric methods. As a result of the analysis with the iCELLigence system, the 48-hour IC50 dose of terebinth extract in HepG2 cells was found to be 419 µg/mL. By cytotoxicity analysis, it was observed that the terebinth extract was more lethal in HepG2 cells compared to ZFL cells. Likewise, it was observed that the number of apoptotic and dead cells observed in HepG2 cells at 6 hours was higher than in ZFL cells. While the results observed in ZFL cells were not statistically significant in the analyzes performed to determine oxidative damage, significant oxidative damage was observed in HepG2 cells compared to both the control group and ZFL cells. The findings will be a source for studies on the development of new agents in cancer treatment.

Keywords: Cancer, Liver, Cytotoxicity, Apoptosis, Oxidative stress, Terebinth.

I. GİRİŞ

Menengiç (*Pistacia terebinthus* L.), ülkemizin neredeyse tamamında doğal olarak yetişen sakız ağacıgiller ailesine ait bir ağaçtır [1]. Dünyanın bazı yerlerinde bu bitkinin çiçek, kök, yaprak, meyve ve kabuk gibi çeşitli kısımları, farklı amaçlar için, birçok rahatsızlığın tedavisinde kullanılmaktadır [2-5]. Güzel kokulu reçinesi parfümlerde sıklıkla kullanılmaktadır [6]. Menengiçin antioksidan özellikleri, sabit yağ miktarı ve yağ asidi bileşenleri, fenolik maddeleri, uçucu yağ miktarı ve bileşenleri ile tokoferol içeriğinin yanı sıra çeşitli hastalıklara etkileri birçok çalışma ile ele alınmıştır [7-11]. Antik çağlardan beri bitkilerden yapılan ilaçlar terapötik ajanlar olarak diyabetten kansere kadar birçok hastalığın tedavisinde kullanılmaktadır. Son zamanlarda kanser, insanoğlunun savaştığı en önemli hastalıklardan biri haline gelmiştir. Kanser tedavisinde ilaçların yan etkilerinin fazla olması nedeniyle, bitkisel ilaçlar kullanılarak bu yan etkilerin indirgenmesi ile ilgili son yıllarda artan sayıda araştırma yapılmıştır [12-14].

Karaciğerde gerek iyi gerek kötü huylu birincil tümörlere, kendini yenileme gücü yüksek bir organ olduğundan nadiren görülür. Buna karşılık metastaz ile gelişen tümörler sık görülür. Hepatoselüler karsinoma, karaciğerin fonksiyonel hücresi olan hepatositten kaynaklanır ve karaciğer kanserlerinin yaklaşık %90'ını oluşturur. Karaciğer kanseri kemoterapiye dirençli bir kanser türüdür [15]. Karaciğer kanseri çoğunlukla erkeklerde görülen bir hastalıktır. Hepatit ve siroza sık rastlanılan bölgelerde daha çok görülen bir kanser türüdür. Hedefe yönelik tedavi ilaçları, bölgedeki damarlanmayı önleyip tümörün büyümesi ve yayılmasını engelleyerek etki göstermektedir. Ancak bu ilaçların yan etkileri yararlarından daha fazladır. Bu nedenle yan etkileri az, bitkisel kökenli, etkin, yeni ilaçların geliştirilmesi çalışmaları sürmektedir.

Bu çalışmanın amacı, menengiç meyvesinin ekstraktının hepatoselüler karsinom hücrelerinde sitotoksik, apoptotik ve oksidatif strese olan etkilerini incelemektir. Sağlıklı karaciğer epitel hücreleri ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak bu ekstraktın kanser hücrelerine spesifik olup olmadığı değerlendirilmiştir.

II. MATERYAL VE METOD

A. HÜCRE KÜLTÜRÜ

Çalışmada kullanılan HepG2 (ATCC: HB-8065) hücreleri, EMEM +%10 Fetal Bovin Serum (FBS)+ penisilin ve streptomisin içeren steril besi yeri ile konvansiyonel hücre kültürü şartlarında (37°C'de %5 CO₂) kültüre edildi. Sağlıklı karaciğer hücresi olarak kullanılan ZFL (ATCC: CRL-2643) hücreleri, %50

L-15, %35 DMEM-HG, %15 Ham's F12 medyumlarına ek olarak, 0.15 g/L sodyum bikarbonat, 15 mM HEPES, 0.01mg/ml bovin insülin, 50 ng/ml EGF, %5 ısıyla inaktive edilmiş FBS, %0.5 Trout serum eklenen besi yerinde 28°C'de çoğaltıldı.

B. MENENĞİÇ EKSTRAKSİYONU

Çok sayıda sağlıklı yağ asidi bileşenlerine sahip menengiç meyveleri, yüzey sterilizasyonu için %0.05 NaOCl ile yıkandı. Daha sonra steril distile su ile yıkanarak NaOCl uzaklaştırıldı. Kurutma işleminden sonra aseptik koşullarda toz haline getirilen menengiç meyveleri 10 gr tartılarak 150 mL etanolde ekstraksiyon yapıldı. Ekstraksiyon işlemleri Soxhlet cihazında gerçekleştirildi. Ekstraksiyon işlemi sonrasında petrolere alınan çözeltiler çeker ocak altında tutularak etanol uçuruldu. Uzaklaştırma işleminin ardından petroler +4°C de muhafaza edildi. Deneyler için 10 mg menengiç ekstraktı 1 mL DMSO içinde çözülürülerek kullanıldı.

C. GERÇEK ZAMANLI HÜCRE ANALİZ SİSTEMİ İLE IC₅₀ DOZU HESAPLAMA

Hücre kültürü çalışmaları ile çoğaltılan HepG2 hücrelerine menengiç ekstraktının IC₅₀ dozunu belirlemek için yapılacak analizlerde kullanılacak hücre sayısının belirlenmesi işlemi Gerçek Zamanlı Hücre Analiz Sistemi iCELLigence™ (ACEA Biosciences, Inc., San Diego, CA, USA) kullanılarak yapıldı. Hemositometre ile sayılan hücreler sırasıyla kuyucuklarda 100000, 50000, 25000, 12500, 6300, 3100 ve 1600 hücre/mL olacak şekilde ekildi. Her bir kuyucukta toplamda 300 µL besi yeri olacak şekilde hücre ekimi gerçekleştirildi. Ölçümler tamamlanınca, analiz grafiği değerlendirildi. Değerlendirme hücrelerin zamana bağlı çoğalma indeksine göre yapıldı. Sonuç olarak, çalışma için menengiç ekstraktının 48 saat uygulanmasına ve HepG2 hücrelerinin sayısının 50000 olmasına karar verildi. IC₅₀ değerini belirlemek için, her kuyucukta 50000 hücre iCELLigence E-platelere ekilerek ortama artan konsantrasyonlarda (50, 100, 250, 500, 1000, 1500 ve 2000 µg/mL) ekstrakt eklenerek ve 96 saat boyunca ve 15 dk.'lık periyotlarda ölçümler alındı.

D. SİTOTOKSİSİTE ANALİZİ

Belirlenen IC₅₀ değerinin HepG2 ve ZFL hücrelerindeki sitotoksitesitesi MTT [3-(4,5-dimethyldiazol-2-yl)-2,5 diphenyl Tetrazolium Bromid] ile hücre topluluğundaki canlı hücrelerin oranı kolorimetrik olarak yapıldı [16]. Bu test istatistik hesaplamalar için 3 kez tekrar edildi. Veriler, GraphPad Prism 5.0 programı (GraphPad Software, Inc., La Jolla, CA, ABD) ile analiz edilerek grafik oluşturuldu. Menengiç uygulaması sonucunda hücrelerin canlılık oranları, kontrol hücrelere kıyasla hesaplandı. Kontrol hücrelerin yaşamsallığı %100 kabul edildi ve hücrelerin canlılık yüzdeleri aşağıdaki şekilde hesaplandı.

% canlılık oranı: (Tedavi edilen hücre/ tedavi edilmemiş hücre)X100

E. OKSİDATİF STRES PARAMETRE ANALİZLERİ

Deneyler her grupta 10 numune, her bir numunede 1.10⁶ canlı hücre olacak şekilde yapıldı. Antioksidan enzim aktivite analizleri için hücreler homojenize edildikten sonra soğutmalı santrifüj ile pellet ve süpernatant ayrılarak analizlerde kullanılmak üzere süpernatant alındı. Total Antioksidan Seviyesi (TAS), Total Oksidan Seviyesi (TOS) ve karaciğer hastalıklarında özellikle kanserde tanımlayıcı olan NADP-Dependent Isocitrate Dehydrogenase (NADP-IDH) enzim aktivitesi Rel Assay marka ticari kitler (Rel Assay Kit Diagnostics, Türkiye) kullanılarak ölçüldü [17-19].

H₂O₂'nin, H₂O'ya dönüşüm reaksiyonunu Katalaz enzimi katalizler. Bu dönüşüm 240 nm'deki absorbansın azalması ile takip edilebilir. 1 dk.'daki absorbanstaki azalma ile enzim aktivitesi belirlendi [20]. Alkalen fosfataz (ALP) enzimi substrat olarak kullanılan p-nitrofenil fosfatı pH'sı 9.8 olan ortamda p-nitrofenol'a hidroliz etmektedir. Meydana gelen ürünün 405 nm de verdiği absorbans spektrofotometrik olarak değerlendirilerek enzim aktivitesi ölçüldü [21]. Asit fosfataz (ACP) enzim

aktivitesi ise p-nitrofenil fosfatı pH'sı 4.8 olan ortamda p-nitrofenol'a hidroliz ederken meydana gelen ürünün 405 nm de verdiği absorbans spektrofotometrik olarak değerlendirildi [21].

MDA, lipid peroksidasyonu ürünüdür. Analizi Ledwozyw ve ark., (1986) yöntemine göre, tiyobarbitürik asit (TBA) ile reaksiyonunda oluşan pembemsi rengin absorbansının spektrofotometrik olarak ölçülmesi ile yapıldı [22].

DTNB (5-5' ditiyobis 1-2 nitrobenzoik asit) ile glutatyonda bulunan sülfidril gruplarının reaksiyonu sonucu oluşan renkli ürünün spektrofotometrik olarak değerlendirilmesi ile Total glutasyon (GSH) seviyesi belirlendi [23].

F. APOPTOZ ANALİZİ

HepG2 ve ZFL hücrelerinde apoptoz analizi, Muse® Annexin V & Dead Cell Kit (cat. no: MCH100105, Luminex Corporation) ile Muse Cell Analyzer cihazında yapıldı. Hücreler, 6 well-plate'e, her bir kuyucukta 250000 hücre olacak şekilde ekildi. 24 saat sonra ekstrakt muamelesine başlandı. Apoptoz deneyinde hücreler, 200, 400, 600 ve 800 µg/mL menengiç ekstraktı ile 6 saat boyunca muamele edildi.

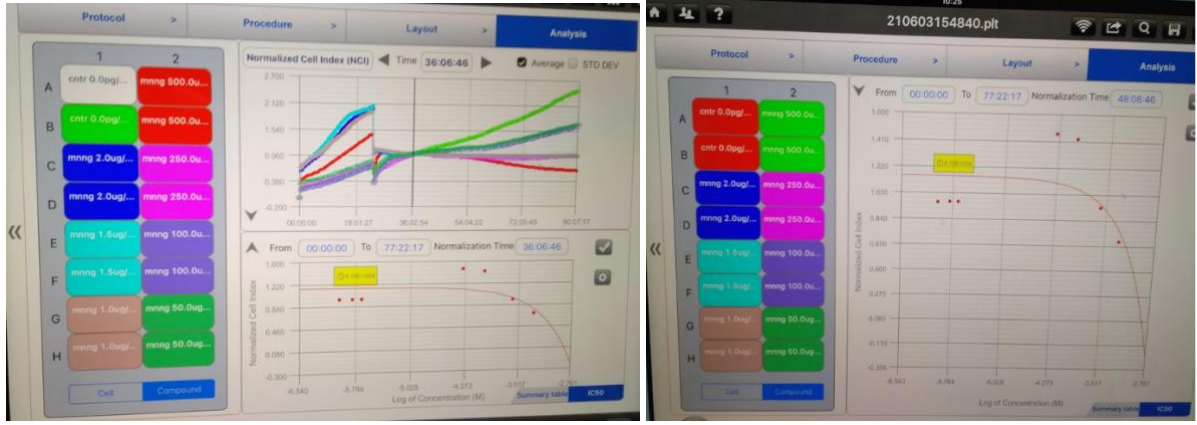
G. İSTATİSTİKSEL ANALİZLER

İstatistiksel analizler IBM SPSS Statistic 23 bilgisayar programı kullanılarak yapıldı. Çalışma bulguları ortalama±standart hata (SH) şeklinde ifade edildi. İki grup karşılaştırmalar parametrik Student's t-testi ve eşit olmayan varyanslarda nonparametrik Mann-Whitney U testi ile ikiden fazla grup arasındaki karşılaştırmalar ise tek yönlü ANOVA; istatistiki olarak anlamlı sonuçlarda ANOVA'yı takiben gruplar arası anlamlı farkı karşılaştırmak için Tukey's post-hoc testi yapıldı. p<0.05 den küçük olanlar anlamlı olarak kabul edildi.

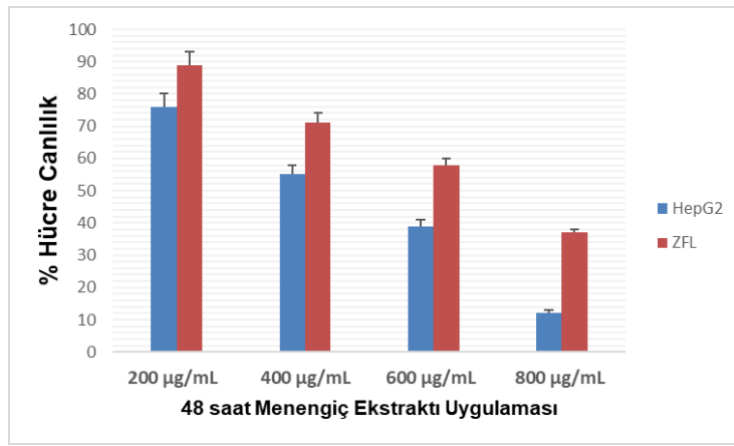
III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Hücrelerin kontrolsüz çoğalması ile oluşan çok çeşitli kanser tipleri içinde karaciğer kanseri, en sık görülen beşinci kanser türü ve kanser kaynaklı ölümlerin ikinci nedenidir. Obezite ve obezite ilişkili diyabet, metabolik sendrom, alkol dışı nedenli karaciğer yağlanması gibi hastalıkların, karaciğer kanserinin temel etmenlerinden biri olduğu bilinmektedir. Bu hastalıkların gelişmiş ve gelişmekte olan toplumlarda çoğalması, gelecekte karaciğer kanserinin oluşturacağı global sağlık tehdidini daha net ortaya çıkarmaktadır [15].

Farklı dozlarda menengiç ekstraktının 48 saat uygulanması sonucunda HepG2 hücrelerinin yarısını öldüren doz (IC₅₀), kullanılan iCELLigence cihazının yazılımı ile otomatik olarak 419 µg/mL olarak belirlenmiştir (Şekil 1). Elde edilen bu sonuç, menengiç ekstraktının hepatoselüler karsinoma hücreleri üzerinde sitotoksik etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Bu bilgiden yola çıkarak hem HepG2 hemde ZFL hücrelerine 200, 400, 600 ve 800 µg/mL menengiç ekstraktı uygulanıp 48 saat sonunda MTT sitotoksisite testi gerçekleştirildi. Elde edilen kontrol değerleri ile kıyaslandığında hücre canlılığı; HepG2 hücrelerinde sırasıyla %76; %55; %39 ve %12, ZFL hücrelerinde ise %89, %71, %58 ve %37 olarak tespit edildi. (Şekil 2).

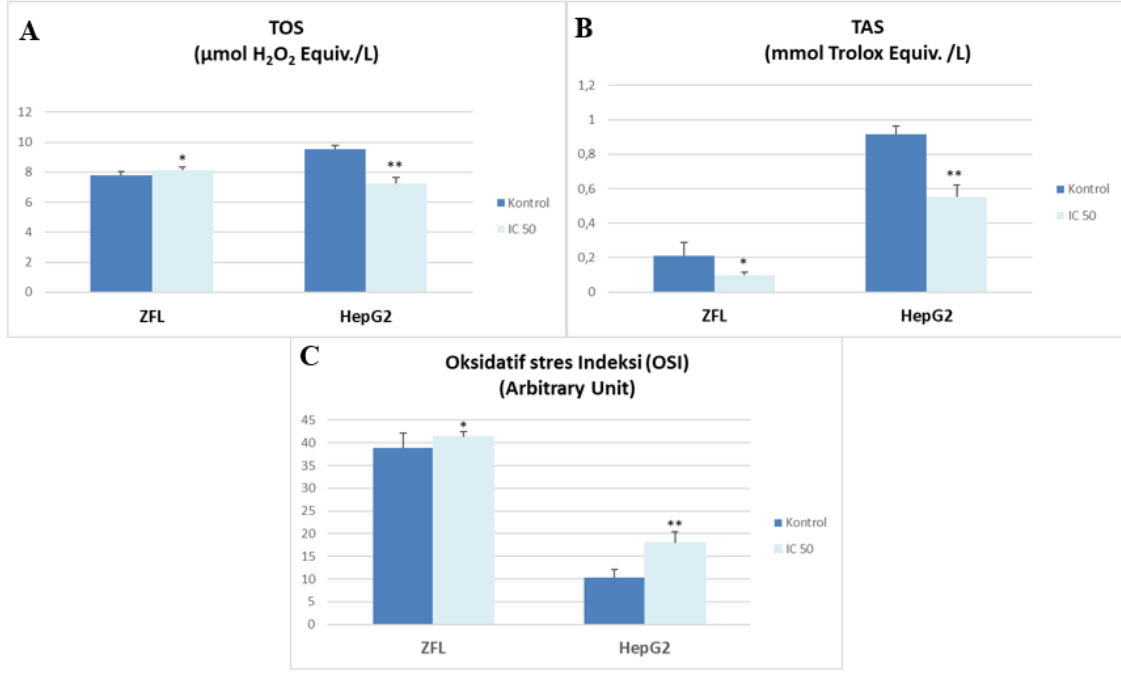


Şekil 1. iCELLigence sistemi ile menengiç ekstraktlarının hücrelerdeki IC₅₀ değerinin belirlenmesi.



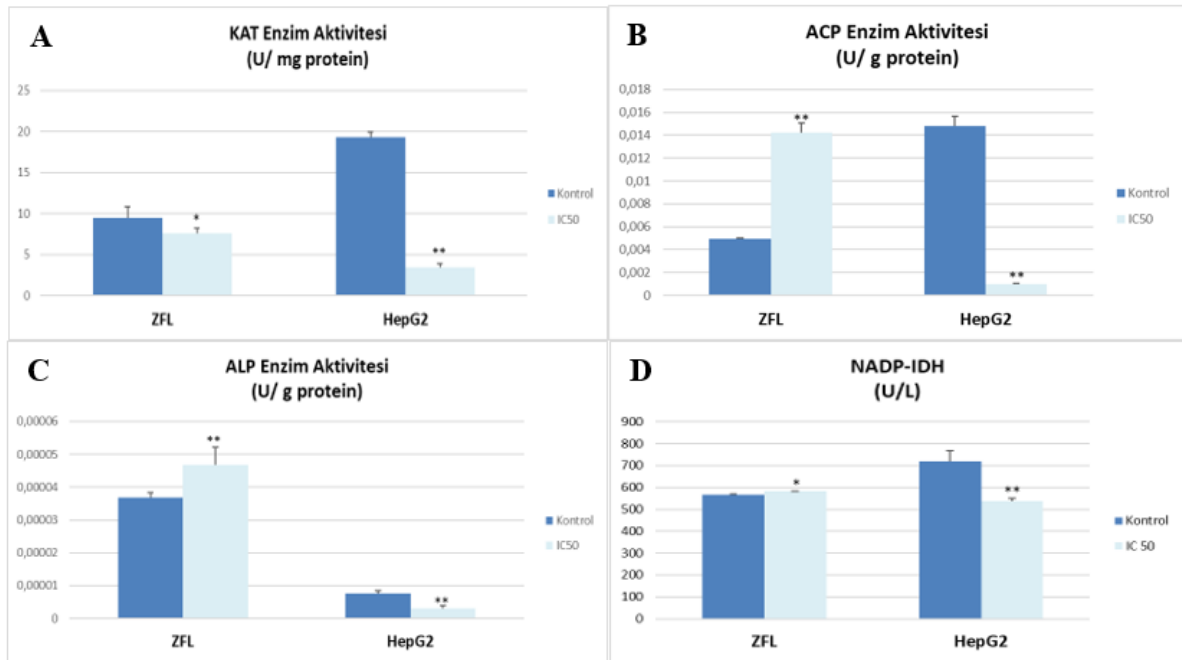
Şekil 2. 200 µg/mL, 400 µg/mL, 600 µg/mL ve 800 µg/mL menengiç ekstraktı uygulamasının 48 saat sonunda HepG2 ve ZFL hücrelerine sitotoksik etkileri.

Belirlenen IC₅₀ değerlerinin HepG2 ve ZFL hücrelerindeki oksidatif stres parametrelerine etkisini değerlendirmek için Total Oksidan Seviyesi (TOS) ve Total antioksidan seviyesi (TAS) analizleri yapıldı. Menengiç ekstraktına 48 saat maruziyet sonucunda ZFL hücrelerinde TOS değerinde gözlenen artışın istatistiksel olarak anlamlı olmadığı belirlendi ($p>0,05$) (Şekil 3A). HepG2 hücrelerinde ise kontrole göre anlamlı bir düşüş gözlemlendi ($p<0,05$). TAS değerlerinde gözlenen düşüş ise ZFL hücrelerinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmazken ($p<0,05$), HepG2 hücrelerinde anlamlıdır ($p<0,05$) (Şekil 3B). Elde edilen TOS ve TAS analiz değerlerinin oranlanmasıyla elde edilen Oksidatif Stres İndeksi (OSI) sonuçlarına göre HepG2 hücrelerinde oldukça fazla artış görüldü ($p<0,05$) (Şekil 3C).



Şekil 3. HepG2 ve ZFL hücrelerine 48 saat IC50 menengiç ekstraktının uygulanması sonrası, **A**) Total Oksidan Seviyesi (TOS), **B**) Total Antioksidan Seviyesi (TAS) ve **C**) Oksidatif Stres İndeksi (OSI) değerleri. Kontrol ve deney grupları arasındaki farklılıklar *($p>0,05$) ve **($p<0,05$) ile gösterilmiştir.

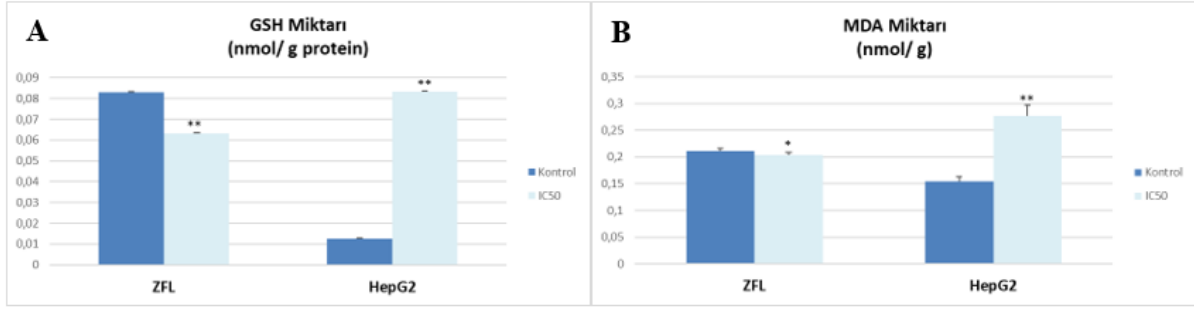
Antioksidan savunma mekanizmasında yer alan önemli enzimlerden biri olan katalaz, hidrojen peroksiti substrat olarak kullanarak oksijen ve suya parçalayan peroksidazlardan biridir. Aşırı serbest oksijen radikali. üretiminin KAT aktivitesini inhibe edebildiği bilinmektedir. KAT enzim aktivitesi HepG2 hücrelerinde önemli miktarda azalma gösterdi ($p<0,05$). Buna karşın ZFL hücrelerindeki azalma istatistiksel olarak anlamlı bulunmadı ($p>0,05$)(Şekil 4A). ACP ve ALP enzim aktivitesi analizleri sonucu ZFL hücrelerinde her iki enzim aktivitesinin arttığı, ancak HepG2 hücrelerinde azaldığı belirlendi ($p<0,05$) (Şekil 4B ve Şekil 4C). NADP-IDH enzim aktivitesinde HepG2 hücrelerinde anlamlı düşüş gözlenirken ($p<0,05$), ZFL hücrelerinde gözlenen artış istatistiksel olarak önemli değildir ($p>0,05$) (Şekil 4D).



Şekil 4. HepG2 ve ZFL hücrelerine 48 saat IC₅₀ menengiç ekstraktının uygulanması sonrası, **A)** Katalaz (KAT), **B)** Asit fosfataz (ACP), **C)** Alkalen fosfataz (ALP) ve **D)** NADP-IDH enzim aktivitesi analizleri. . Kontrol ve deney grupları arasındaki farklılıklar *($p>0,05$) ve **($p<0,05$) ile gösterilmiştir.

Bitkilerdeki sekonder metabolitlerin en önemli sınıflarından biri olan polifenolik bileşikler, kuvvetli antioksidan özelliğe sahiptirler [24]. Bu bileşiklerin antioksidan etkileri; reaktif oksijen türlerini elektron vererek indirmek, ağır metal iyonlarını şelatlamak, antioksidan olarak görev yapan ve detoksifikasyonda görev alan enzimleri uyarmak olarak bilinmektedir. Polifenollerin bu özelliklerinden dolayı antimutajenik, antikanser, antioksidan, antiinflamatuvar, antimikrobiyal ve anti-aterosklerotik etkileri olduğu bildirilmektedir [25]. Menengiç meyvesi ve reçinesinin içerdiği fenolik bileşikler ve flavonoidler ile antioksidan aktiviteler arasında önemli bir ilişki olduğu bildirilmiştir [26]. Durak ve Uçak (2015) menengiç özütünün güçlü biyoaktif ve antimikrobiyal özelliklerini doğrulamış ve çeşitli uygulamalar için potansiyellerini gösteren yağ asidi profillerini belirlemişlerdir [27]. Menengiç ekstraktı uygulaması sonrası HepG2 hücrelerinde enzim aktivitelerinin inhibe olduğu gözlenmiştir.

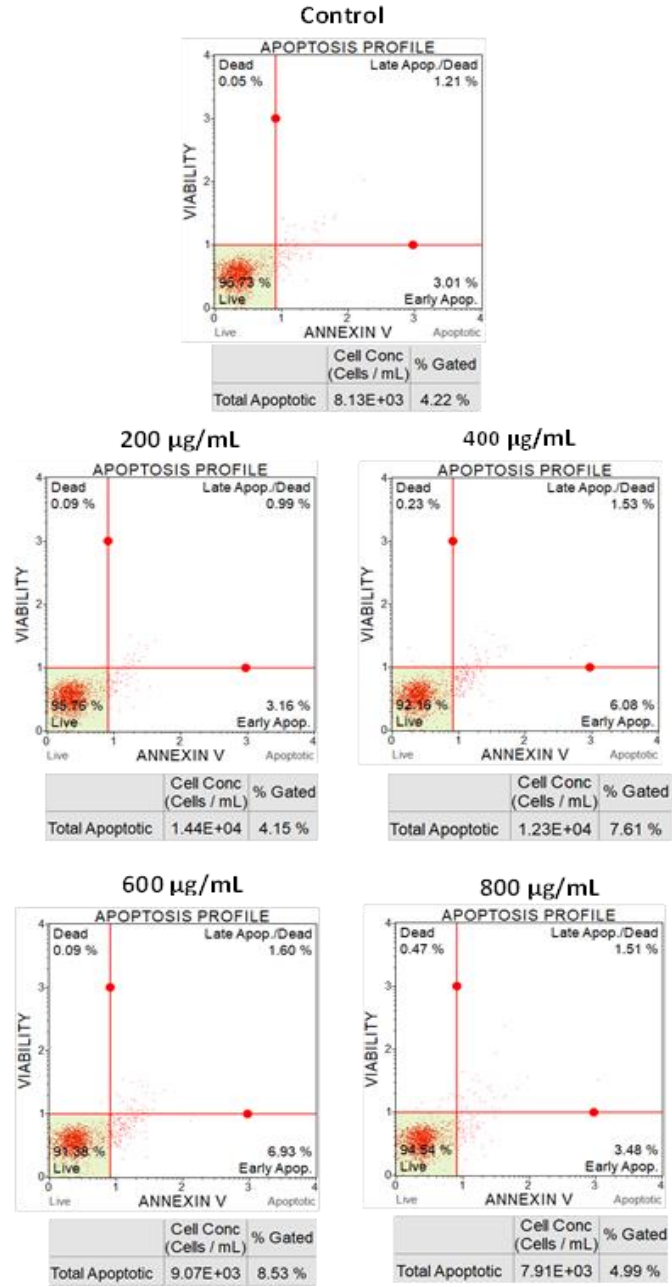
Glutatyon (GSH), serbest oksijen radikallerine bağlanarak zararını indirgeyen antioksidan savunmada görevli önemli bir aminoasittir. Hücre içindeki GSH miktarı hücre metabolizmasının korunmasında önemlidir. Canlının detoksifikasyon kabiliyetini belirlemede önemli bir indikatör olarak GSH miktarları analiz edilir. Serbest radikallerin artmasına bağlı stres durumlarında GSH miktarı azalabilmektedir. Ancak devam eden stres durumunda ise adaptif mekanizmaların etkisi ile oksidatif strese karşı koyabilmek üzere GSH miktarının arttığı belirlenmiştir [28]. Özellikle hücre zarı gibi lipid tabakalarının bulunduğu hücre bölümlerinde, serbest radikallerin oksidatif hasarı sonucu lipid peroksidasyonu oluşabilir. Yüksek MDA miktarı, lipid peroksidasyonuna işaret etmektedir. Antioksidanların koruyucu etkisine bağlı olarak lipid peroksidasyonu miktarı değişebilmektedir. Yapılan analizler sonucu HepG2 hücrelerinde menengiç uygulaması sonrasında enzim aktivitelerinde ve GSH miktarındaki azalmaya karşın MDA miktarındaki artış hücrelerdeki oksidatif hasarı göstermektedir. 48 saat süre ile menengiç ekstraktı uygulanan HepG2 hücrelerinde GSH miktarı kontrole oranla önemli miktarda artarken ($p<0,05$); ZFL hücrelerinde azalmıştır ($p<0,05$) (Şekil 5A). Lipid peroksidasyonunun en önemli göstergesi olan MDA miktarı HepG2 hücrelerinde artış gösterirken ($p<0,05$), ZFL hücrelerinde gözlenen azalma istatistiksel olarak anlamlı değildir ($p>0,05$) (Şekil 5B).



Şekil 5. HepG2 ve ZFL hücrelerine 48 saat IC50 menengiç ekstraktının uygulanması sonrası, (A) Total Glutasyon (GSH) ve (B) Malondialdehit (MDA) miktarı değerleri. Kontrol ve deney grupları arasındaki farklılıklar *($p>0,05$) ve **($p<0,05$) ile gösterilmiştir.

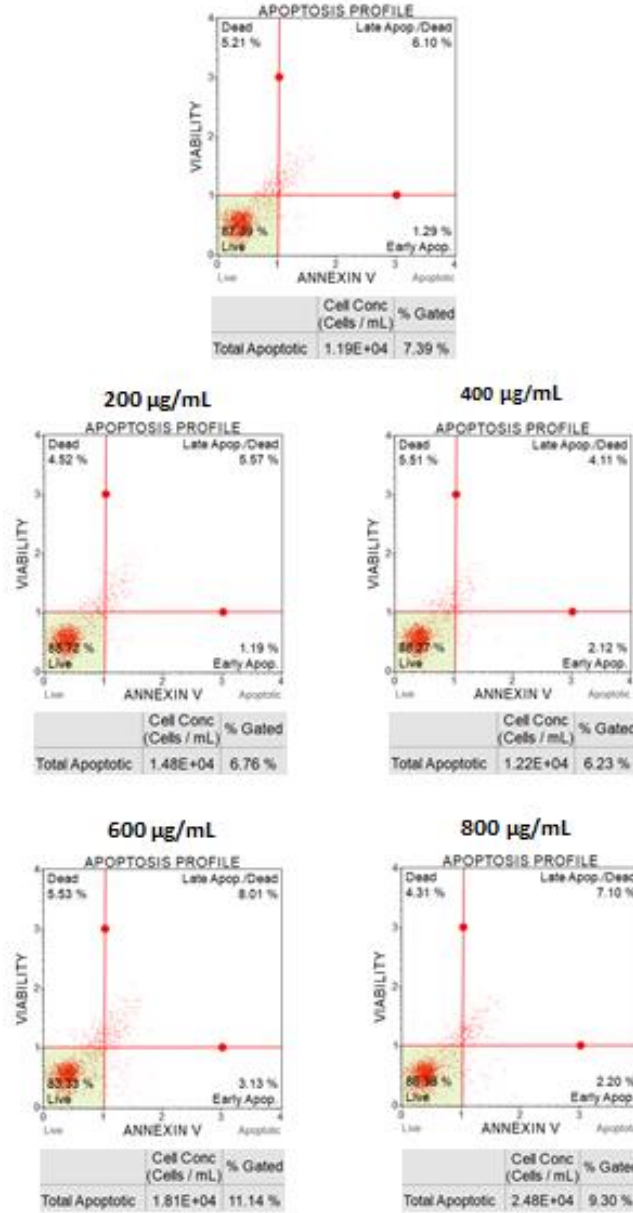
Menengiç ekstraktı'nın apoptotik potansiyeli, canlı, erken apoptotik, geç apoptotik ve nekrotik hücrelerin tanımlanmasına izin veren akış sitometrisi ile ölçüldü. Apoptotik etkiyi göstermek için hücreler, 200, 400, 600 ve 800 µg/mL konsantrasyonu ile muamele edildi. 6 saat boyunca menengiç ekstraktı uygulanan ZFL hücreleri, kontrol grubu ile karşılaştırıldığında, canlı hücrelerin yüzdesinde anlamlı bir farklılık tespit edilmedi. Bununla birlikte, 400 µg/mL ve 600 µg/mL menengiç uygulaması toplam apoptozu yaklaşık 1.5-2 kat arttırmıştır. 6 saatlik 200 µg/mL, 400 µg/mL, 600 µg/mL ve 800 µg/mL menengiç uygulaması ile erken apoptoz sırasıyla %3.16, %6.08, %6.93 ve %3.48 iken, kontrol hücrelerinde %3.01 gözlemlendi (Şekil 6). Aynı şekilde 6 saat süre ile 200, 400, 600 ve 800 µg/mL menengiç ekstraktı konsantrasyonuna maruz bırakılan HepG2 hücrelerinde erken apoptoz oranları sırasıyla %1.19, %2.12, %3.13, %2.2 iken, kontrol hücrelerinde %1.29 olarak gözlemlenmiştir (Şekil 7). Ancak HepG2 hücrelerinde geç apoptoz ve ölü hücrelerin oranı, ZFL hücrelerinde belirlenenlere kıyasla oldukça fazladır. Bu sonuçlar, menengiç ekstraktının hepatoselüler karsinoma hücrelerinde apoptozu indüklediğini göstermektedir.

Polifenolik bileşiklerin antikanser etkinliklerinin ise, gen ekspresyon seviyelerini değiştirebilme, hücre döngüsünü durdurabilme, çeşitli hücre çoğalma sinyal yollarını inhibe edebilme, karsinojen metabolizmasını modüle edebilme ve apoptozu indükleyebilme özelliklerinden kaynaklandığı bilinmektedir [29]. HepG2 hücrelerinde 6 saat maruziyet sonrası gözlenen geç apoptoz ve ölü hücrelerin oranı, ZFL hücrelerinde belirlenenlere kıyasla oldukça fazla olması menengiç ekstraktının hepatoselüler karsinoma hücrelerinde apoptozu daha erken indüklediğini göstermektedir. Ding ve ark. (2013), HepG2 hücrelerinde Dianthus superbus bitkisinden izole edilen 2-[(2,4 dihidroksibenzoil) amino]-4- metoksi-benzoik asit'in güçlü bir sitotoksik etkisi olduğunu, buna karşın; kaempferol, kuersetin, 3,5,7-trihidroksi3',5'-dimetoksil-flavon ve 1-monopalmitin'in sitotoksik etkisinin daha az olduğunu bildirmişlerdir [30].



Şekil 6. ZFL hücrelerine 6 saat 200 µg/mL, 400 µg/mL, 600 µg/mL ve 800 µg/mL menengiç ekstraktının uygulaması sonrası apoptoz miktarı.

Control



Şekil 7. HepG2 hücrelerine 6 saat 200 µg/mL, 400 µg/mL, 600 µg/mL ve 800 µg/mL menengiç ekstraktının uygulaması sonrası apoptoz miktarı.

IV. SONUÇ

Kanser tedavisinde; kemoterapi, radyoterapi ve immunoterapi gibi mevcut tedaviler, apoptosis olarak bilinen bir yöntemle dayanır ve bu yöntemde, kaspaz adı verilen proteinler aktive edilerek kanser hücreleri öldürülür. Ancak bu tedavi yöntemleri vücudun kendi sağlıklı hücrelerini de öldürerek çok fazla yan etki yaratır. Bu bilgiler ışığında, sağlıklı karaciğer epitel hücrelerinde Menengiç ekstraktının sitotoksik etkileri de incelenerek, hepatokarsinom hücreleri ile birlikte programlı hücre ölümüne yönlendirilip yönlendirilmedikleri araştırılmıştır. Yapılan tüm analizler sonucunda sağlıklı karaciğer epitel hücrelerinde oksidatif stresin daha az indüklendiği söylenebilir. Elde edilen veriler, menengiç ekstraktının hepatokarsinoma hücreleri üzerindeki apoptotik etkisinin oksidatif stresi indükleyerek gerçekleştirdiğini gösterebilir. Bu çalışmanın sonuçları karaciğer kanserinin tedavisinde menengiç ekstraktının umut verici yeni bir antikanser ajan olarak kullanılabilir olduğunu göstermektedir.

TEŞEKKÜR: Bu çalışma Kütahya Sağlık Bilimleri Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından desteklenmiştir (Proje no: TSA-2020-46).

V. KAYNAKLAR

- [1] I.T. Agar, N. Kaska and S. Kafkas, "Characterization of lipids in *Pistacia* species grown in Turkey," *In Acta Horticulturae*, pp. 417-422, 1995.
- [2] E. Ayrancı and A.C. Dalgıç, "Preparation of protein isolates from *Pistacia terebinthus* L. and examination of some functional properties," *Lebensmittel Wissenschaft Und Technologie*, vol. 25, no. 5, pp. 442-444, 1992a.
- [3] E. Ayrancı and A.C. Dalgıç, "Moisture sorption isotherms of *Pistacia terebinthus* L. and protein isolate," *Lebensmittel Wissenschaft Und Technologie*, vol. 25, no. 5, pp. 482-483, 1992b.
- [4] L. Bonsignore, F. Cottiglia and G. Loy, "Antibacterial activity of *Pistacia lentiscus* L. aerial parts," *Fitoterapia*, vol. 69, no. 6, pp. 537-538, 1998.
- [5] T. Baytop, *Türkiye' deki Tıbbi Bitkiler İle Terapi*, Birinci Baskı, İstanbul, Nobel Tıp Kitabevleri, 1999, 12. Bölüm, 111-117.
- [6] E. Yeşilada, G. Honda and E. Sezik, "Traditional medicine in Turkey V. Folk Medicine in The Inner Taurus Mountains," *Journal of Ethnopharmacology*, vol. 46, pp. 133-155, 1995.
- [7] M. Couladis, M. Özcan, O. Tzakou and A. Akgül, "Comparative essential oil composition of various parts of the turpentine tree (*Pistacia terebinthus* L.) growing wild in Turkey," *Journal of the Science of Food and Agriculture*, vol. 83, pp. 136-138, 2003.
- [8] M.M. Özcan, O. Tzakou and M. Couladis, "Essential oil composition of the turpentine tree (*Pistacia terebinthus* L.) fruits growing wild in Turkey," *Food Chemistry*, vol. 114, no. 1, pp 282-285, 2009.
- [9] L. Dalgıç, S.O. Sermet ve G. Özkan, "Farklı kavurma sıcaklıklarının menengiç yağ kalite parametreleri üzerine etkisi," *Akademik Gıda*, c. 9, s. 3, ss. 26-36, 2011.
- [10] E.M. Giner-Larza, S. Ma´nez, M.C. Recio, R.M. Giner, J.M. Prieto and M. Cerda´-Nicola´s, "Oleanolic acid, a 3-oxotriterpene from *Pistacia*, inhibits leukotriene synthesis and has anti-inflammatory activity," *Eur. J. Pharmacol*, vol. 428, pp. 137-143, 2001.
- [11] T. Bakirel, S. Sener, U. Bakirel, O. Keles, G. Sennazli and A. Gurel, "The investigation of the effects of *P. terebinthus* L. upon experimentally induced hypercholesterolemia and atherosclerosis in rabbits," *Turkish Journal of Veterinary Sciences*, vol. 27, pp. 1283-1292, 2003.
- [12] F. Tetik, S. Civelek and U. Cakilcioglu, "Traditional Uses of Some Medicinal Plants in Malatya (Turkey)," *Journal of Ethnopharmacology*, vol. 146, no. 1, pp. 331-346, 2013.
- [13] K. Canli, A. Yetgin, I. Akata and E.M. Altuner, "Antimicrobial Activity and Chemical Composition Screening of *Epilobium montanum* Root," *Indian Journal of Pharmaceutical Education and Research*, vol. 51, no. 3, pp. 239-243, 2017.
- [14] M.E. Bozyel, M. Şenturan, A. Benek, E. Merdamert Bozyel, K. Canli and E.M Altuner, "In Vitro Antimicrobial Activity Screening of *Heliotropium europaeum* Against Wide Range of Microorganisms and Multi Drug Resistant (Mdr) Bacteria," *European Journal of Biomedical and Pharmaceutical Sciences*, vol. 6, no. 3, pp. 113-117, 2019.

- [15] H.B. El-Serag, "Epidemiology of hepatocellular carcinoma," *The Liver: Biology and Pathobiology*, pp. 758-772, 2020.
- [16] A. Yerlikaya, E. Erdoğan, E. Okur, Ş. Yerlikaya and B. Savran, "A novel combination treatment for breast cancer cells involving BAPTA-AM and proteasome inhibitor bortezomib," *Oncology Letters*, vol. 12, no. 1, pp. 323-330, 2016.
- [17] O. Erel, "A novel automated direct measurement method for total antioxidant capacity using a new generation, more stable ABTS radical cation," *Clinical biochemistry*, vol. 37, no. 4, pp. 277-285, 2004.
- [18] O. Erel, "A new automated colorimetric method for measuring total oxidant status," *Clinical Biochemistry*, vol. 38, no. 12, pp. 1103-1111, 2005.
- [19] M. Koldemir Gündüz, "BGM a Newly Synthesised Boron Compound, Induces Apoptosis and Reduces Oxidative Stress by Inhibiting Lipogenesis in 3T3-L1 Adipocytes via PPAR γ and CTRP3," *Biol Trace Elem Res*, 2022, in press.
- [20] H. Aebi, "Catalase In vitro. In: Methods of Enzymatic Analysis," Ed: Bergmeyer HU, FL, 2nd ed, pp. 121- 126, 1974.
- [21] K. Walter and C. Schutt, "Acid and alkaline phosphatase in serum," *Methods of Enzymatic Analysis*, vol. 2, pp. 856-860, 1974.
- [22] A. Ledwozyw, D. Michalak, A. Stepien and A. Kadziolka, "The relationship between plasma triglycerides, cholesterol, total lipids and lipid peroxidation products during human atherosclerosis," *Clin Chim Acta*, vol. 155, no. 3, pp. 275-283, 1986.
- [23] E. Beutler, "Glutathione in red cell metabolism: a manual of biochemical methods", 2nd ed., Grune and Stratton, NY, pp. 112-114, 1975.
- [24] Z. Selamoğlu, "Polyphenolic Compounds in Human Health with Pharmacological Properties", *Journal of Traditional Medicine Clinical Naturopathy*, vol. 6, no. 4, pp.137, 2017.
- [25] Z. Selamoğlu, "Biotechnological Approaches on Anticancer Activity of Flavonoids", *Modern Approaches in Drug Designing*, vol. 1, no. 2, pp. 510, 2017.
- [26] G. Topçu, M. Ay, A. Bilici, C. Sarıkürkçü, M. Öztürk and A. Ulubelen, "A new flavone from antioxidant extracts of *Pistacia terebinthus*," *Food Chemistry*, vol. 103, no. 3, pp. 816-822, 2006.
- [27] M.Z. Durak ve G. Uçak, "Solvent optimization and characterization of fatty acid profile and antimicrobial and antioxidant activities of Turkish *Pistacia terebinthus* L. Extracts," *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, vol. 39, no. 1, pp. 10-19, 2015.
- [28] H. Zhang, H.J. Forman ve J. Choi, " γ -Glutamyl transpeptidase in glutathione biosynthesis," *Methods in Enzymology*, vol. 401, pp. 468-483, 2005.
- [29] S. Gezici and N. Sekeroglu, "Current perspectives in the application of medicinal plants against cancer: novel therapeutic agents," *Anticancer Agents in Medicinal Chemistry*, vol. 19, no. 1, pp. 101-111, 2019.
- [30] C. Ding, W. Zhang, J. Li, J. Lei and J. Yu, "Cytotoxic constituents of ethyl acetate fraction from *Dianthus superbus*," *Natural Product Research*, vol. 27, no. 18, pp. 1691-1694, 2013.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

CO₂ Emisyonu ve Birincil Enerji Tüketimi Arasındaki İlişkinin Kantil Regresyon Modeli ile İncelenmesi

 Hayriye Esra AKYÜZ^{a,*}

^a İstatistik Bölümü, Fen Edebiyat Fakültesi, Bitlis Eren Üniversitesi, Bitlis, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: heakyuz@beu.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1076185

ÖZ

Bu çalışmada doğrusal regresyon analizinin varsayımlarının sağlanmadığı durumlarda kullanılabilir olan kantil regresyon analizi ile Türkiye'de 2000-2020 yılları arasındaki CO₂ emisyonu ve birincil enerji tüketimi arasındaki ilişkinin modellenmesi amaçlanmıştır. Çalışmanın ilk bölümünde uygun regresyon modeli elde edildikten sonra, veri setine aykırı değerler eklenerek bu gözlemlerin varlığında sonuçlar yeniden elde edilmiş ve kantil regresyonun performansı değerlendirilmiştir. Uygun modelin seçiminde hata kareler ortalamasının karekökü (RMSE) ve ortalama mutlak hata (MAE) kriterleri kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre; Türkiye'de 2000-2020 yılları arasında ortalama CO₂ emisyonu 289.62 ± 68.12 milyon ton ve ortalama birincil enerji tüketimi 4.66 ± 1.21 exajoule olarak belirlenmiştir. CO₂ emisyonundaki değişimin %98.74'nün birincil enerji tüketimi ile açıklandığı ve değişen varyans probleminin varlığında kantil regresyon analizinin, doğrusal regresyon analizinden daha uygun sonuçlar verdiği elde edilmiştir. Kantil regresyon modeline göre; birincil enerji tüketimindeki bir exajoule'luk artışın CO₂ emisyonunun $\tau = 0.50$. kantilinde yaklaşık olarak 54.3 milyon ton artışa sebep olacağı belirlenmiştir. Aykırı değerlerin varlığında $\tau = 0.25$ ve $\tau = 0.50$ için elde edilen kantil regresyon modelleri en uygun modeller olup birbirine oldukça yakın sonuçlar vermiştir. Bu modellerin, CO₂ emisyonu ve birincil enerji tüketimi arasındaki ilişkinin modellenmesinde çakarsama amaçlı kullanılması önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Birincil enerji tüketimi, CO₂ emisyonu, Doğrusal regresyon, Kantil regresyon

Investigation of the Relationship Between CO₂ Emission and Primary Energy Consumption with Quantile Regression Model

ABSTRACT

In this study, it is aimed to model the relationship between CO₂ emissions and primary energy consumption between the years 2000-2020 in Turkey, with quantile regression analysis, which can be used in cases where the assumptions of linear regression analysis are not provided. In the first part of the study, after obtaining the regression model, the results were obtained in the presence of outlier observations, and the performance of the quantile regression was evaluated. Root mean square error (RMSE) and mean absolute error (MAE) criteria were used to select the appropriate model. According to the results obtained; between the years 2000-2020 in Turkey, the average CO₂ emission and primary energy consumption are 289.62 ± 68.12 million tonnes and 4.66 ± 1.21 exajoules, respectively. It has been found that 98.74% of the change in CO₂ emission is explained by primary energy consumption and in the presence of heteroskedasticity problem, quantile regression analysis gives more appropriate results than linear regression analysis. According to quantile regression model; it has been determined that one exajoule increase in primary energy consumption will cause an increase of approximately 54.3 million tonnes for $\tau = 0.50$ quantile of CO₂ emissions. In the presence of outliers, the quantile regression models obtained for $\tau = 0.25$ and for $\tau = 0.50$ were the most appropriate models and they gave very close results. It is suggested that these models can be used for inference in modeling the relationship between CO₂ emissions and primary energy consumption.

I. GİRİŞ

Küresel ısınma, insan faaliyetleri ile birlikte ortaya çıkan ve sera etkisine neden olan gazların atmosferde birikmesi sonucu yerin yüzey sıcaklığındaki sistematik artış olarak ifade edilebilir [1], [2].

Doğanın kendine ait bir karbon emisyon dengesi vardır ve CO₂ emisyonu, atmosfere salınan karbonu ifade etmektedir. İklim değişikliğine neden olan birçok kirleticiler arasında yer alan ve aynı zamanda birincil enerji kaynaklarının tüketimi sonucunda açığa çıkan CO₂ tüm sera gazlarının oldukça büyük bir oranını oluşturmaktadır [3]. Bu durumun, ekonomik büyüme veya nüfus artışından kaynaklandığı belirtilmiştir [4].

CO₂ miktarının uzun yıllar boyunca birikerek çevre ve iklim koşullarını olumsuz etkileyeceği tahmin edilmektedir [5]. TÜİK 1990-2019 sera gazı emisyon istatistikleri verilerine göre; toplam sera gazı emisyonlarında 2019 yılında CO₂ eşd. olarak en büyük payı %72 ile enerji kaynaklı emisyonlar alırken bunu sırasıyla %13,4 ile tarım, %11,2 ile endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı ve %3,4 ile atık sektörü takip etmiştir. Toplam CO₂ emisyonlarının ise 2019 yılında %34,6'sı elektrik ve ısı üretiminden olmak üzere %87,4'ü enerji sektöründen, %12,3'ü endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı sektöründen, %0,3'ü ise tarım ve atık sektörlerinden kaynaklanmıştır [6].

Sera etkisi, sadece belli oranlarda yaşam için ideal sıcaklık aralığını mümkün kılmaktadır. Bilinçsiz fosil yakıt kullanımının geri döndürülemez bir CO₂ emisyonuna yol açtığı bilinmektedir. Fosil yakıtların kullanımı sonucu ortaya çıkan atmosferdeki CO₂ emisyonunun artan oranı, doğal sistemler üzerinde negatif etkilere yol açmaktadır [4].

Öte yandan, nüfusun artışı ile ekonomik anlamdaki gelişmeler kentsel artışa neden olmuştur. Bu gibi nedenlerden dolayı 2050 yılına kadar enerji talebinin şu an ki durumunun iki katı olacağı düşünülmektedir [5].

Enerji tüketimi ve CO₂ emisyonu arasındaki ilişki birçok araştırmacının dikkatini çekmiştir [7]-[14]. Yavuz ve Aşık [15] bir mühendislik uygulaması üzerinde kantil regresyon (KR) modelini elde etmişlerdir. Çınar [16], simülasyon yoluyla uç değer içeren bağımlı ve bağımsız değişkenler kullanarak KR modelini incelemiştir. Literatürde çeşitli sorunları yorumlamak ve bu sorunları etkileyen faktörleri belirleyebilmek için sosyal dışlanmışlık [17], sağlık [18]- [21] ve ekonomi [22], [23] alanlarında da KR modelinin kullanıldığı bilinmektedir.

KR analizinin, küresel iklim değişiklikleri, ekonomi, biyoloji, tıp, mühendislik, biyomedikal ve diğer sağlıkla ilgili araştırmalarda, genetik, halk sağlığı, biyoinformatik, ücret eşitsizlikleri, gelir düzeyinin belirlenmesi ve yaşam analizi gibi farklı alanlarda kullanıldığı bilinmektedir. Bu nedenle son zamanlarda artan bir ilgi görmekte ve birçok alanda kullanılmaya devam etmektedir.

Dünya nüfusundaki artışa paralel olarak enerji tüketimi de hızla artmaktadır. Artan enerji tüketiminin ise çevresel faktörlerle olan ilişkisi, CO₂ salınımı yoluyla her geçen gün daha fazla dikkat çekmektedir. Bu çalışmada doğrusal regresyon analizi için hem bağımlı değişken hem de hata terimine ilişkin varsayımların sağlanmadığı durumlarda kullanılan sağlam regresyon yöntemlerinden biri olan kantil regresyon analizi ile CO₂ emisyonu ve birincil enerji tüketimi arasındaki ilişkinin incelenmesi ve modellenmesi amaçlanmıştır. Bu varsayımlar en genel hali ile normallik, çoklu bağlantı, homojen varyans ve otokorelasyon olarak bilinir ve bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki matematiksel modelin biçiminin belirlenmesinde, değişkenler arasındaki karmaşık yapının tanımlanmasında oldukça

önemlidir. Çalışmanın bir diğer amacı, model parametrelerinin doğru tahmini için, ilgili varsayımların incelenmesi ve uygun modelin belirlenmesidir.

II. İSTATİSTİKSEL YÖNTEMLER

A. AYKIRI (UÇ) DEĞER

Bir aykırı değer, verinin geriye kalanından belirgin bir şekilde uzak ya da farklı olan ya da verilerin çoğunluğu ile oldukça tutarsız olan bir gözlem olarak tanımlanabilir. Bu değerler kayıt hatası, ölçüm hatası, üretim hatası, insan hatası gibi nedenlerden dolayı ortaya çıktığı gibi mevcut veri setinin gerçek ölçüm değeri de olabilir. Aykırı gözlemler model kurma hatasına, yanlış parametre tahminlerine veya yanlış analiz sonuçlarına sebep olabilirler. Bu nedenle aykırı değerlerin veri içerisinde tespit edilmesi ve etkilerinin giderilmesi doğru hesap yapma ve model kurma açısından oldukça önemlidir.

Aykırı değer ölçüm değerlerinden bazıları etkili nokta (leverage value), standartlaştırılmış artıklar (standardized residuals), studentlaştırılmış artıklar (studentized residuals), cook's D değeri, uyumlar arası uzaklık (DFFIT), uyumlar arası fark (DFBETA) olarak sıralanabilir [24].

B. BASİT DOĞRUSAL REGRESYON MODELİ

Bir lineer regresyon modeli (LM) aşağıdaki gibi verilir:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_i + \varepsilon_i, \quad i=1,2, \dots, n \quad (1)$$

Bu modelde Y, bağımlı; X, bağımsız değişken, β_0 ve β_1 , modelin bilinmeyen parametreleri ve ε ise hata terimidir. Doğrusal regresyon modeline ilişkin varsayımlar aşağıdaki gibi sıralanabilir [25]:

- Hata terimleri ortalaması sıfır, varyansı σ^2 olan bir rasgele değişken olup normal dağılıma sahiptir.
- Hata terimleri birbirleriyle ilişkili olmamalıdır.
- Hata terimlerinin varyansları aynıdır.

C. KANTİL REGRESYON

Regresyon analizine ilişkin varsayımların sağlandığı durumlarda hata kareler toplamının minimize edilmesi amaçlanır. Hata kareler toplamının minimize edilmesi ise En Küçük Kareler yöntemi (EKK) kullanılarak elde edilir. Bu yöntem uç değerlere karşı oldukça hassastır. Lineer regresyon analizine ilişkin varsayımların sağlanmadığı durumlarda sağlam regresyon yöntemlerinden biri olan KR analizi kullanılabilir. KR, ortalama yerine medyan ve kantilleri (yüzdeler) kullanır. KR, yalnız hataların kareleri değil, başka değerlerin de minimizasyonuna olanak sağlar. Bu şekilde verileri daha kapsamlı bir şekilde analiz edebilme imkânı sunar [26], [27]. Hataların özdeş ve aynı dağılıma sahip olduğu varsayımı altında basit doğrusal KR modeli aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$F^{-1}(\tau / X) = \alpha + \beta X + F_{\varepsilon}^{-1}(\tau) \quad (2)$$

Burada $F^{-1}(\tau / X)$ değeri F (Y/X) dağılımının tersinden elde edilmiş bağımlı değişkenin koşullu τ . kantilini ve $F^{-1}(\tau)$, τ . kantilin hata değerini ifade etmektedir. Kantiller kullanılacaksa hataların beklenen değerinin sifira eşit olmayacağı bilinmelidir [28]. KR koşullu kantil fonksiyonlarını tahmin

eder. Yani bağımsız değişkenler kümesinin bir fonksiyonu olarak bağımlı değişkenin belirli bir kantil değerindeki modellerini tahmin eder.

Y_i , simetrik F dağılım fonksiyonuna sahip bağımsız ve özdeş dağılımlı, β medyanlı tesadüfi bir değişken olmak üzere,

$$Y = \beta + \varepsilon_i \quad (3)$$

olarak ifade edilsin. Bu modelde τ . örnek kantili,

$$\min_{\beta} \frac{1}{n} \left\{ \sum_{i: y_i \geq \beta} \tau |y_i - \beta| + \sum_{i: y_i < \beta} (1 - \tau) |y_i - \beta| \right\} \quad (4)$$

ifadesinin minimizasyonu ile elde edilir [29]. Bu durumda elde edilen model Eş. 5'deki gibi doğrusal regresyon modeli olarak ifade edilirse,

$$Y_i = x_i' \beta + \varepsilon_i \quad (5)$$

τ . kantil regresyon Eş. 6'daki gibi tahmin edilir ve Eş. 7'nin minimizasyonu ile elde edilir [30].

$$\min_{\beta} \frac{1}{n} \left\{ \sum_{i: y_i \geq x_i' \beta} \tau |y_i - x_i' \beta| + \sum_{i: y_i < x_i' \beta} (1 - \tau) |y_i - x_i' \beta| \right\} \quad (6)$$

$$\min_{\beta} \frac{1}{n} \left\{ \sum_{i=1}^n \rho_{\tau}(y_i - x_i' \beta) \right\} \quad (7)$$

Kantil regresyon katsayıları, açıklayıcı değişkendeki bir birimlik değişimin bağımlı değişkenin belirli bir kantilinde nasıl bir değişime neden olacağını ifade etmektedir [31].

Bağımsız değişken X 'in değişen değerlerine göre kantil regresyon ile parametre tahminlerini elde etmek, aykırı değerlerin varlığı durumunda gerçeğe daha yakın sonuçlar vermektedir. KR analizinin bazı özellikleri aşağıdaki gibidir [32]:

- EKK yöntemi, y 'nin koşullu dağılımının ortalaması hakkında bilgi verirken; KR, y 'nin x ' e göre koşullu dağılımının tümü hakkında bilgi vermektedir.
- Homojen varyans varsayımının sağlanmadığı ve aykırı değerlerin olduğu veri setlerinde bile modelleme yapabilme imkânı sunmaktadır.
- Hataların normal dağılmadığı durumlarda KR tahminleri daha güvenilirdir.
- Kantil regresyonda ortalama yerine kantillerin kullanılması dağılımın herhangi bir noktasının analiz edilebilmesi ve daha güvenilir parametre tahminleri verebilmesi bakımından avantaj sağlar.
- EKK yönteminde, aykırı değerlerin mevcut olduğu durumlarda bu değerler ya veri setinden çıkarılır ya da uygun dönüşümler yapılır. KR analizinde ise uç değerler de dikkate alınarak daha kapsamlı bir sonuç elde edilebilmektedir.
- EKK yöntemi, veri seti parametrik bir dağılımdan geliyorsa kullanılabilir. KR uygulanabilmesi için belirli bir parametrik dağılımın varlığına ihtiyaç yoktur. Normallik varsayımının ihlal edildiği durumlarda veya uzun kuyrukların var olduğu durumlarda da EKK yönteminden daha kapsamlı istatistiksel modelleme imkânı sağlar. Bu nedenle KR, daha çok tercih edilen bir regresyon yöntemidir.

D. MODEL KARŞILAŞTIRMA KRİTERİ

İstatistiksel olarak anlamlı bir regresyon modeli elde edildikten sonra gerçek değerler ile tahmin edilen değerler arasındaki uzaklığın incelenmesi de oldukça önemlidir. Bu kriterler ile elde edilen modellerin karşılaştırılması yapılabilir. Literatürde model karşılaştırma kriterlerinden bazıları hata kareler ortalamasının karekökü (RMSE: Root Mean Squared Error) ve ortalama mutlak hata (MAE: Mean Absolute Error) olarak bilinir [33], [34].

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (p_i - o_i)^2}{n}} \quad (8)$$

Burada

p_i : veri setinde i . gözlem için tahmini (predicted) değer

o_i : i . gözlenen (observed) değer

n : örnek hacmi

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i| \quad (9)$$

Burada gözlenen ve tahmin değeri arasındaki fark, hata olarak bilinir.

III. UYGULAMA

Bu çalışmada doğrusal regresyon ve kantil regresyon analizine ilişkin tahmin değerlerini karşılaştırmak amacıyla gerçek bir veri seti kullanılmıştır. Veri seti <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html> adresinden elde edilmiştir [35]. Bağımlı değişken Türkiyede 2000-2020 yılları arasındaki karbondioksit emisyonu (CO₂, milyon ton) ve bağımsız değişken ise birincil enerji tüketimi (PEC, exajoule) değerleri olarak belirlenmiştir. Verilerin analizinde SPSS ve R programları kullanılmıştır. Analizlerde R yazılımında “lmtest”, “quantreg”, “ggplot2” ve “stargazer” paketlerinden faydalanılmıştır. I. tip hata düzeyi (α) 0.05 olarak alınmıştır.

Uygulama iki farklı durumda değerlendirilmiştir. İlk durumda, parametrik test varsayımları test edilerek lineer regresyon ve kantil regresyon modellerine ilişkin parametre tahminleri elde edilmiştir. İkinci durumda ise bu regresyon modelleri üzerinde aykırı gözlemlerin etkisini inceleyebilmek için çalışmada kullanılan veri setine aykırı gözlemler eklenerek yeniden parametre tahminleri elde edilmiştir. Aykırı gözlemlerin eklenme amacı, kantil regresyon modelinin bu gözlemlerden etkilenmediğini göstermektir. Bilindiği gibi standart normal dağılımda gözlemlerin yaklaşık %99.7'si ortalamanın -3*standart sapma ile +3*standart sapma aralığında değişmektedir. Bu sınırların dışındaki gözlemlerin aykırı değer olarak incelenmesi uygun olacaktır. Bu bilgi ile, her bir değişkenin ortalamasının 5 standart sapma uzaklığında ve örnek hacminin %10 kadar değer, aykırı gözlem olarak belirlenmiştir. Eklenen bu gözlemlerin gerçekten aykırı değer olup olmadığı istatistiksel olarak test edilmiştir.

A. HATALARIN NORMAL DAĞILIMA SAHİP OLDUĞU DURUM

Değişkenlere ait bazı tanımlayıcı istatistikler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Değişkenlere ilişkin tanımlayıcı istatistikler

	İstatistik	Değer
CO ₂	1. kantil (Q25)	224.8

	Ortalama	289.6238
	Medyan (Q50)	276.3
	3.kartil (Q75)	340.7
	Standart sapma	68.1227
	Minimum	186.1
	Maksimum	397.2
	Çeyreklikler arası açıklık	129.3
	Çarpıklık	0.084
	Basıklık	-1.220
PEC	1. kartil (Q25)	3.56
	Ortalama	4.659
	Medyan (Q50)	4.5
	3.kartil (Q75)	5.720
	Standart sapma	1.2124
	Minimum	2.81
	Maksimum	6.51
	Çeyreklikler arası açıklık	2.3450
	Çarpıklık	0.109
	Basıklık	-1.288

2000-2020 yılları arasındaki ortalama CO₂ emisyonunun yaklaşık olarak 289.62±68.12 milyon ton, ortalama birincil enerji tüketiminin 4.66±1.21 exajoule olduğu belirlenmiştir. Bu yıllar aralığında minimum CO₂ emisyonu 186.1 milyon ton iken maksimum CO₂ emisyonu 397.2 milyon tondur. Ayrıca birincil enerji tüketimi minimum 2.81 exajoule ve maksimum 6.51 exajoule olarak elde edilmiştir (Tablo 1).

CO₂ emisyonu ve PEC arasındaki ilişki katsayısının belirlenmesi ve istatistiksel olarak test edilebilmesi için korelasyon analizi kullanılmış ve sonuçlar Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Korelasyon analizi sonuçları

		CO ₂	PEC
Pearson korelasyon	CO ₂	1.000	0.994
	PEC	0.994	1.000
<i>p</i> -değeri	CO ₂	.	0.000
	PEC	0.000	.

Tablo 2 incelendiğinde PEC ile CO₂ emisyonu arasında %99.4 anlamlı ve pozitif bir korelasyon olduğu belirlenmiştir.

Değişkenlerin ve hataların dağılımının normal dağılıma uygunluğu hem Kolmogorov-Smirnov hem de Shapiro-Wilk testi ile incelenmiş ve sonuçlar Tablo 3’deki gibi elde edilmiştir.

Tablo 3. Modelde kullanılan değişkenler ve hataların Normallik analizi sonuçları

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	istatistik	sd*	<i>p</i> -değeri	istatistik	sd*	<i>p</i> -değeri
CO ₂	0.115	21	0.200	0.943	21	0.246
PEC	0.106	21	0.200	0.935	21	0.176
Hata	0.136	21	0.200	0.932	21	0.149

*: sd: serbestlik derecesi

Tablo 3’de CO₂ emisyonu, PEC ve hata teriminin normal dağılıma uyumlu olduğu belirlenmiştir (p -değeri>0.05).

Regresyon analizinde değişen varyans sorununun incelenmesinde Breusch-Pagan (BP) testi kullanılmıştır. Bu test için yokluk hipotezi “H₀: değişen varyans yoktur (homojen varyans)” olup sonuçlar Tablo 4’de elde edildiği gibidir.

Tablo 4. Breusch-Pagan (BP) test sonuçları

BP test istatistiği	sd*	p-değeri
6.6744	1	0.009781

*: sd: serbestlik derecesi

Tablo 4 incelendiğinde test istatistiği değerinin 6.6744 ve bu test istatistiğine karşılık gelen p -değerinin 0.009781 olduğu belirlenmiştir. Bu sonuç, regresyon modelinde değişen varyanslılığın mevcut olduğunu söylemek için yeterli bir sonuçtur (p -değeri<0.05).

Lineer regresyon analizi ve model anlamlılığı için kullanılan F-testine ilişkin sonuçlar Tablo 5’deki gibidir.

Tablo 5. Lineer regresyon modeli

Katsayı	Tahmin	Standart sapma	t test istatistiği	p-değeri
(Intercept)	29.534	6.959	4.244	0.000439
PEC	55.830	1.448	38.560	< 2e-16
Artıkların standart hatası: 7.851				
R ² : 0.9874			Düzeltilmiş R ² : 0.9867	
F test istatistiği: 1487			p-değeri: < 2.2e-16	

Tablo 5’de sabit terim ve PEC’e ilişkin katsayıların anlamlı (p -değeri<0.05), R² açıklayıcılık katsayısının % 98.74 ile oldukça yüksek ve regresyon modelinin %95 güven düzeyinde anlamlı olduğu (F=1487, p -değeri<2.2e-16) belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre CO₂ emisyonundaki değişimin %98.74’nün PEC ile açıklandığı sonucuna varılır. Böylece regresyon denklemi ise aşağıdaki gibi elde edilir:

$$CO_2 = 29.534 + 55.830PEC \quad (10)$$

Büyük R² ya da F istatistiğinin anlamlı olması modelin yeterliği ve çıkarsama amacıyla kullanılabilmesi anlamına gelmez. Lineer regresyon analizinde, değişen varyans durumunda tahmin ediciler yansızlık (unbiased) ve tutarlılık (consistent) özelliğini korumakta, fakat minimum varyanslı veya etkinlik (efficient) olarak bilinen özelliğini kaybetmektedir. Böylece varyanslar büyür ve hatalar artacaktır. Bu durum güvenilir olmayan analiz sonuçlarına neden olur. Değişen varyans problemi nedeni ile bu regresyon analizine ilişkin sonuçların güvenilir olmayacağı ve çıkarsama amaçlı kullanılmayacağı söylenebilir. Bu sebeple, değişen varyans probleminden etkilenmeyen ve sağlam regresyon modellerinden biri olan kantil regresyon analizi sonuçları incelenmiş ve Tablo 6’daki gibi elde edilmiştir.

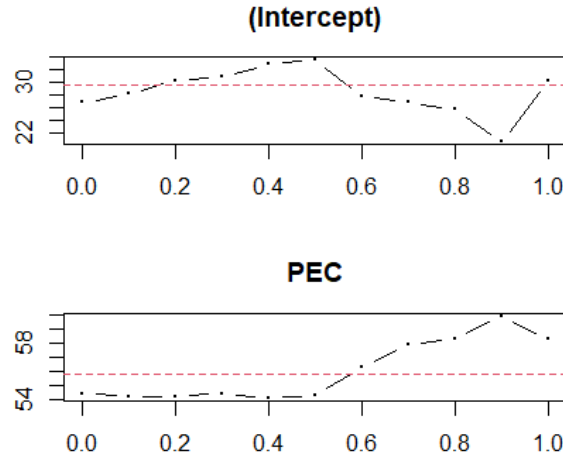
Tablo 6. Kantil regresyon analizi sonuçları

Katsayı	τ	Tahmin	Standart hata	Test istatistiği	p-değeri
(Intercept)	0.10	28.19016	5.02884	5.60570	0.00002
PEC		54.26230	0.95912	56.57511	0.00000
(Intercept)	0.25	33.77963	4.40944	7.66075	0.00000

PEC		53.65741	0.87834	61.08981	0.00000
(Intercept)	0.50	33.52193	9.05265	3.70299	0.00151
PEC		54.29825	2.18820	24.81406	0.00000
(Intercept)	0.75	25.29299	10.34619	2.44467	0.02442
PEC		58.38415	2.53672	23.01565	0.00000
(Intercept)	0.95	30.20297	15.80065	1.91150	0.07114
PEC		58.31683	3.36913	17.30919	0.00000

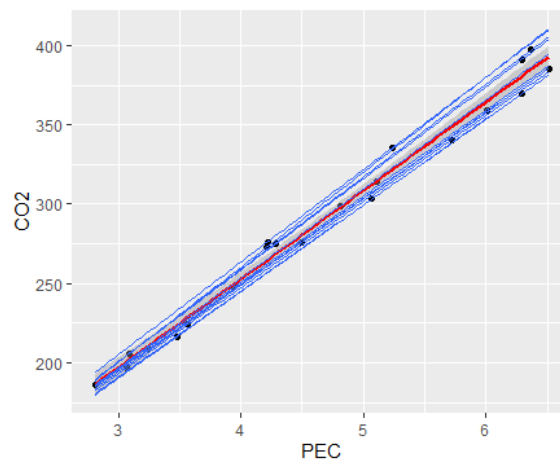
Tablo 6’da CO₂ emisyonunun $\tau = 0.10, 0.25, 0.50, 0.75, 0.95$ kantil değerleri için parametre tahminleri elde edilmiştir. PEC’deki bir birimlik artışın CO₂ emisyonunun farklı kantilleri üzerinde ne kadar artışa sebep olduğu açıkça görülmektedir. Bu değerler incelendiğinde CO₂ emisyonunun $\tau = 0.95$ kantil değeri için sabit terimin anlamlı olmadığı ($p > 0.05$) ve diğer tüm durumlarda hem sabit hem de PEC değişkenine ilişkin tahminlerin istatistiksel olarak anlamlı olduğu ($p < 0.05$) belirlenmiştir.

Kantil değerlerine göre sabit ve PEC katsayılarını gösteren kantil regresyon grafiği Şekil 1’deki gibidir. Bu grafik, τ kantil değerlerine karşılık parametre tahmin değerlerini verir.



Şekil 1. Kantil değerlerine göre katsayı grafiği

Şekil 2’de lineer regresyon ve [0,1] aralığında 0.1 artışla elde edilen kantil değerleri için kantil regresyon doğruları elde edilmiştir.



Şekil 2. Lineer ve kantil regresyon doğruları

Çalışmada elde edilen regresyon modellerinin karşılaştırılmasında RMSE ve MAE kriterleri kullanılmıştır. Ayrıca her bir regresyon modeline dayalı tahminlerin ortalamaları ve standart sapmaları da incelenmiştir.

Tablo 7. Regresyon modellerine ilişkin tahmini ortalama ve standart sapma değerleri ile bazı model seçim kriterleri

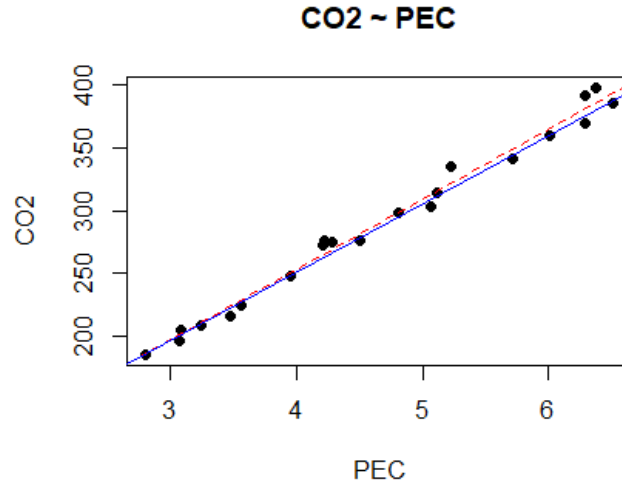
	RMSE	MAE	Tahmini değerlerin ortalaması	Tahmini değerlerin standart sapması
LM	7.4676	6.3293	289.6238	67.6915
$\tau = 0.10$	11.5762	8.7081	280.9749	65.7902
$\tau = 0.25$	9.8447	6.8318	283.7465	65.0568
$\tau = 0.50$	8.3049	6.0842	286.4742	65.8338
$\tau = 0.75$	11.1134	8.7050	297.2797	70.7878
$\tau = 0.95$	14.6471	12.2522	301.8761	70.7061

Tablo 7’de RMSE ve MAE değerleri karşılaştırıldığında $\tau = 0.50$ için kantil regresyona dayalı modelin en uygun model olduğu söylenir. Bu model ile elde edilen bağımlı değişkenin ortalama tahmin (fitted) değeri 286.4742 ve standart sapması ise 65.8338 olarak elde edilmiştir.

Bu durumda elde edilen regresyon modeli aşağıdaki gibidir (Tablo 6):

$$CO_2 = 33.5219 + 54.2982PEC \quad (11)$$

Bu modele göre; birincil enerji tüketimindeki bir exajoule’luk artış CO_2 emisyonunun $\tau = 0.50$. kantil değeri için yaklaşık olarak 54.3 milyon ton artışa sebep olacaktır. Şekil 3’de serpm diyagramı üzerinde lineer regresyon (LM) ve $\tau = 0.50$ için kantil regresyon doğruları elde edilmiştir.



Şekil 3. Lineer ve $\tau = 0.50$ için kantil regresyon doğruları

B. AYKIRI DEĞERLERİN MEVCUT OLDUĞU DURUM

Uygulamanın bu bölümünde amaç, aykırı değerlerin varlığında parametre tahminlerini incelemek, kantil regresyon modelinin performansını değerlendirmek ve birincil enerji tüketimi ile CO_2 emisyonunda

beklenenden daha yüksek bir artış olduğunda bu iki değişken arasındaki ilişkinin nasıl modellenebileceğini göstermektedir. Çınar [16] çalışmasında uç değerler içeren bağımlı ve bağımsız değişkenler kullanarak bir simülasyon çalışması ile kantil regresyon modelini elde etmeyi amaçlamıştır.

Özellikle aykırı gözlem varlığında gerçek veri setlerinin incelendiği çalışmalarda, bu gözlemlerin verinin kalan kısmı ile özdeş dağılmasının beklenemeyeceği bilinir [24]. Bu gözlemlerin veriden silinmesi modelin veriye uyumunu artırabilir fakat tahminlere ilişkin sonuçları etkileyecektir. Bu sebeple veriyi silmek yerine uygun yöntemin kullanılması gereklidir. Kantil regresyon yöntemi aykırı değerlere karşı esnek ve bu yöntemin aykırı değerlerden etkilenen varsayımları bulunmamaktadır. Bu yöntem, değişen varyans durumu ile karşılaşıldığı durumlarda EKK yöntemine bir alternatiftir.

Çalışmada 2000-2020 yılları arasındaki CO₂ emisyonu ve PEC değişkenlerinin her ikisi için ortalamalarının 5*standart sapma uzaklığındaki değerler (veri setinin % 10'u kadar) aykırı gözlem olarak eklenmiştir. Bu değerler aşağıdaki gibidir:

$$\text{CO}_2 \text{ emisyonu: } (289.62 + 5 * 68.12 = 630.2373)$$

$$\text{PEC: } (4.66 + 5 * 1.21 = 10.7210)$$

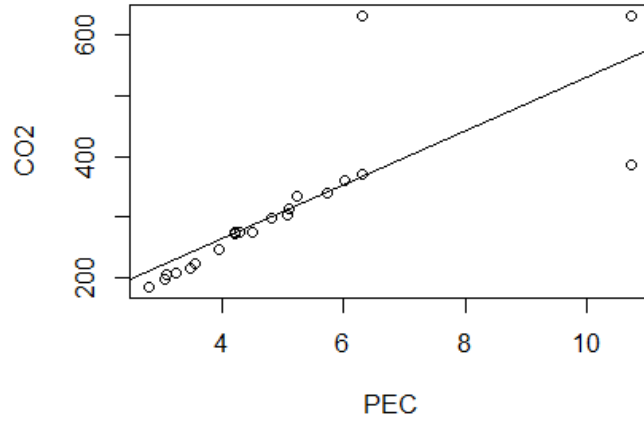
Veri setine aykırı değerlerin eklenmesi sonucunda her bir değişken için tanımlayıcı istatistikler Tablo 8'deki gibi elde edilmiştir.

Tablo 8. *Aykırı gözlemlerin varlığında değişkenlere ilişkin tanımlayıcı istatistikler*

İstatistik	CO₂	PEC
Minimum	186.1	2.810
Q25	224.8	3.560
Medyan (Q50)	276.3	4.500
Ortalama	312.1178	5.0662
Q75	340.7	5.720
Maksimum	630.2373	10.721
Standart sapma	120.9120	2.1570

Ortalama CO₂ emisyonu 312.1178±120.9120 milyon ton ve ortalama birincil enerji tüketiminin 5.0662±2.1570 exajoule olarak elde edilmiştir (Tablo 8). Ayrıca Tablo 8'de aykırı değerler sebebi ile standart sapmalardaki artışları açıkça görebiliyoruz.

Şekil 4'de serpm diyagramı üzerinde lineer regresyon doğrusu verilmiştir.



Şekil 4. Aykırı değer varlığında lineer regresyon doğrusu

Aykırı değerlerin varlığını istatistiksel olarak incelemek için bazı ölçümlere dayalı elde edilen sonuçlar Tablo 9’da verilmiştir.

Tablo 9. Aykırı değerlere ilişkin bazı ölçümler

Gözlem no	Standartlı aştırılmış artıklar	Studenti aştırılmış artıklar	Mahalanobis	Cook's uzaklığı	Leverage değeri	DFFIT	DFBETA Intercept	DFBET A PEC
1	-0.2480	-0.2599	0.3596	0.0033	0.0419	-1.8538	-3.2118	0.4394
2	-0.3426	-0.3616	0.2956	0.0074	0.0547	-2.9672	-4.9429	0.7030
3	-0.3521	-0.3692	0.3547	0.0067	0.0428	-2.6602	-4.5972	0.6309
4	-0.2992	-0.3124	0.3998	0.0044	0.0354	-2.0591	-3.6315	0.4838
5	-0.3346	-0.3478	0.4621	0.0048	0.0270	-2.0511	-3.6808	0.4683
6	-0.2707	-0.2810	0.4850	0.0030	0.0243	-1.5957	-2.8728	0.3587
7	-0.1928	-0.1990	0.6048	0.0012	0.0133	-0.9518	-1.6911	0.1871
8	-0.0180	-0.0185	0.6914	0.0000	0.0078	-0.0806	-0.1368	0.0133
9	0.0221	0.0228	0.6948	0.0000	0.0077	0.0986	0.1671	-0.0162
10	-0.0259	-0.0267	0.7155	0.0000	0.0066	-0.1132	-0.1887	0.0176
11	-0.1411	-0.1449	0.7929	0.0005	0.0034	-0.5770	-0.8864	0.0687
12	-0.0258	-0.0264	0.9054	0.0000	0.0007	-0.0995	-0.1268	0.0056
13	0.0045	0.0046	0.9838	0.0000	0.0000	0.0172	0.0163	0.0001
14	-0.1182	-0.1211	0.9986	0.0003	0.0000	-0.4491	-0.4472	-0.0003
15	0.2083	0.2135	0.9395	0.0011	0.0002	0.7963	0.6434	0.0292
16	-0.0050	-0.0052	0.7618	0.0000	0.0045	-0.0213	-0.0049	-0.0028
17	0.0679	0.0699	0.6618	0.0001	0.0095	0.3131	-0.0205	0.0555
18	0.8889	1.1393	0.0088	0.4171	0.3436	43.3994	-28.868	6.7407
19	3.4738	3.5900	0.5705	0.4385	0.0160	17.9567	-5.3556	3.7062
20	-2.3327	-2.9897	0.0088	2.8721	0.3436	-113.88	75.7498	-17.687
21	0.0415	0.0429	0.5705	0.0000	0.0160	0.2145	-0.0640	0.0442

Tablo 9’da, -2 ve +2 aralığının dışında olan standartlaştırılmış ve studentlaştırılmış artıklar; 0.05’den küçük Mahalanobis olasılık değerleri; 4/n’den büyük Cook değerleri; $(2k+2)/n=0.1904$ ’den büyük Leverage değerleri; $2\sqrt{(k+1)/n}=0.6172$ ‘den büyük DFFIT değerleri ve $2/\sqrt{n}=0.4364$ ‘den büyük

DFBETA değerleri aykırı gözlem olarak belirlenmiştir [15], [24]. Burada n=21 örnek hacmi ve k=1 bağımsız değişken sayısıdır.

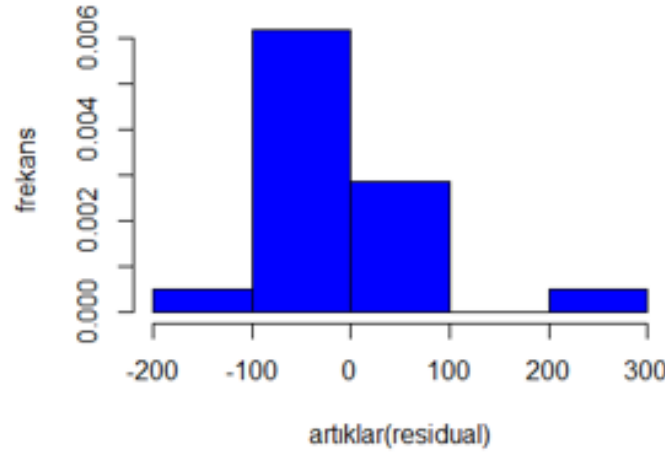
Tablo 10’da CO₂ emisyonu, PEC ve hata terimine ilişkin Normallik analizi sonuçları ve Şekil 5’de ise hatalara (residual) ilişkin histogram verilmiştir.

Tablo 10. Aykırı (uç) değer varlığında normallik analizi sonuçları

	Kolmogorov-Smirnov		Shapiro-Wilk			
	istatistik	sd*	istatistik	sd*	istatistik	sd*
CO ₂	0.177	21	0.086	0.791	21	0.000
PEC	0.190	21	0.046	0.795	21	0.001
Hata	0.329	21	0.000	0.638	21	0.000

*: sd: serbestlik derecesi

Tablo 10’da aykırı değer varlığında değişkenlerin ve hata teriminin normal dağılım ile uygunluğu her iki test ile incelenmiş ve Shapiro-Wilk testi sonuçlarına göre normal dağılıma sahip olmadıkları belirlenmiştir (p -değeri<0.05). Elde edilecek lineer regresyon modelinin tahmin amacıyla kullanılabilmesi için hataların normal dağılması ve aykırı değer içermemesi gerekmektedir. Doğrusal regresyon varsayımlarından hataların Normal dağılması varsayımı sağlanmadığında EKK tahminlerine göre Kantil tahminleri çok daha sağlam sonuçlar vermektedir.



Şekil 5. Aykırı değerler varlığında artıklara ilişkin histogram

Tablo 11. Aykırı değer varlığında lineer regresyon analizi

Katsayı	Tahmin	Standart hata	t-değeri	p-değeri
(Intercept)	87.607	43.203	2.028	0.0568
PEC	44.315	7.875	5.627	2e-05
Artıkların standart hatası: 75.97				
R ² : 0.625.			Düzeltilmiş R ² : 0.6053	
F test istatistiği: 31.67			p-değeri: 1.997e-05	

Tablo 11’de lineer regresyon modeline ilişkin parametre tahminleri incelendiğinde sabit katsayısının anlamlı olmadığı (p -değeri>0.05) elde edilmiştir. Ayrıca veri setinde aykırı değerlerin sözkonusu olduğu

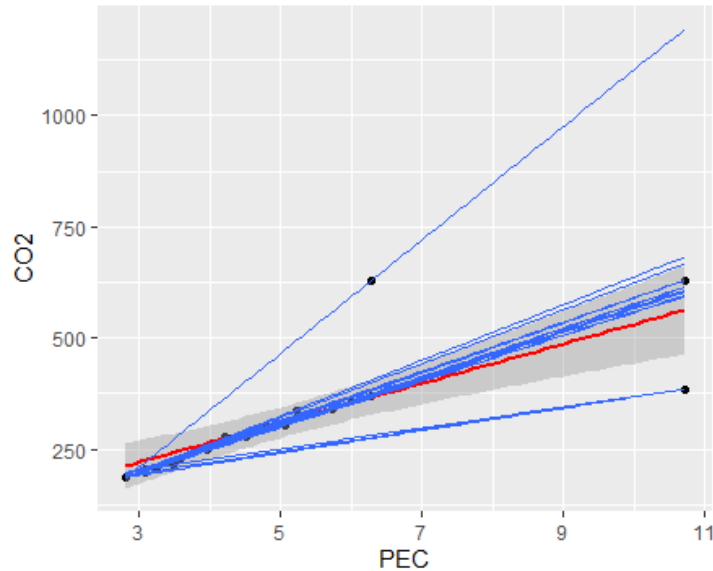
durumda PEC değişkeninin CO₂ emisyonunu %62.5 açıkladığı belirlenmiştir. Aykırı değerlerin mevcut olmadığı uygulamanın ilk adımında bu değer %98.74 olarak elde edilmiştir (Tablo 5). Ayrıca artıklara ilişkin standart hata değeri Tablo 5’de elde edilen standart hata değeri (7.851) ile karşılaştırıldığında oldukça büyük bir artış olduğu gözlemlenebilir (Tablo 11).

Farklı kantil değerleri için elde edilen kantil regresyon analizi sonuçları Tablo 12’deki gibidir.

Tablo 12. Aykırı değer varlığında kantil regresyon analizi sonuçları

τ	Katsayı	Tahmin	Standart hata	t-değeri	p-değeri
0.10	(Intercept)	121.22336	44.38887	2.73094	0.01327
	PEC	24.65037	9.64713	2.55520	0.01934
0.25	(Intercept)	40.32857	38.41318	1.04986	0.30695
	PEC	51.86813	10.69509	4.84972	0.00011
0.50	(Intercept)	33.52193	27.96656	1.19864	0.24540
	PEC	54.29825	8.73492	6.21622	0.00001
0.75	(Intercept)	33.79327	97.60996	0.34621	0.73299
	PEC	55.63325	27.17679	2.04709	0.05473
0.95	(Intercept)	-172.52811	268.31329	-0.64301	0.52790
	PEC	127.62566	75.45159	1.69149	0.10708

Tablo 12’de bağımlı değişkenin her bir kantil değeri için elde edilen regresyon modellerine ilişkin parametre tahminleri karşılaştırıldığında; $\tau = 0.75$ ve $\tau = 0.95$ için sabit terim ve PEC değişkeninin katsayısı istatistiksel olarak anlamlı bulunamamıştır (p -değeri >0.05). Bağımlı değişkenin $\tau = 0.25$ ve $\tau = 0.50$ kantil değerleri için ise sabit terim katsayısının anlamlı olmadığı (p -değeri >0.05), PEC değişkenine ilişkin katsayının anlamlı olduğu (p -değeri <0.05) elde edilmiştir. Bağımlı değişkenin $\tau = 0.10$ kantil değeri için ise modeldeki her iki katsayının anlamlı olduğu belirlenmiştir (p -değeri <0.05).



Şekil 6. Aykırı değer varlığında lineer ve kantil regresyon doğruları

Şekil 6’da görüldüğü gibi doğrusal regresyon doğrusu aykırı gözlemden etkilenirken kantil regresyon doğruları aykırı gözlemden etkilenmemektedir.

Tablo 13. Aykırı değer varlığında tahmini değerlerin ortalaması ve bazı model karşılaştırma kriterleri

τ	RMSE	MAE	Tahmini değerlerin ortalaması	Tahmini değerlerin standart sapması
0.10	106.2633	66.4268	246.1092	53.1726
0.25	74.5332	29.7894	303.1073	111.8832
0.50	75.3336	28.2163	315.6472	120.0049
0.75	76.1665	29.5176	297.2797	70.7878
0.95	249.4061	161.9421	474.0600	275.2976

Tablo 13’de sonuçlar incelendiğinde, birbirine en yakın sonuçlar veren üç modelin bağımlı değişkenin 0.25, 0.50 ve 0.75 kantil değerine dayalı elde edilen regresyon modelleri olduğu belirlenmiştir. Aykırı değer varlığında $\tau = 0.75$ için elde edilen parametre tahminleri anlamlı bulunamadığından (Tablo 12), $\tau = 0.25$ ve $\tau = 0.50$ için elde edilen kantil regresyon modellerinin en uygun modeller olarak seçilmesi uygun olacaktır.

IV. SONUÇ

İki değişken arasındaki ilişkinin matematiksel bir modelle ortaya çıkarılmasında ilk akla gelen analiz regresyon analizidir. Bu yöntem için gerekli varsayımlar sağlanmadığında modelin ve model parametrelerinin güvenilirliği bir tartışma konusu olacaktır. Böyle durumlarda uygun yöntemin kullanılması önerilir. Klasik regresyon analizinin varsayımlarının sağlanmadığı durumlarda kullanılacak sağlam regresyon yöntemlerinden biri kantil regresyon analizidir. Bu çalışmada CO₂ emisyonu ve birincil enerji tüketimi arasındaki ilişkinin modellenmesinde kantil regresyon analizi kullanılmış ve sonuçlar EKK yöntemine dayalı olarak elde edilen doğrusal regresyon analizi ile karşılaştırılmıştır. Çalışmanın bir diğer amacı veri setinde aykırı değerlerin olması halinde kantil regresyona dayalı parametre tahminlerini incelemektir. Aykırı değerlerin varlığında bu değerlerin veri setinden çıkarılması hem örnek hacmini küçültecek hem de bilgi kaybına neden olacaktır. Bu sebeple bu değerleri çıkarmak yerine kantil regresyon ile uygun modeller incelenmiştir.

Çalışmada PEC ile CO₂ emisyonu arasında pozitif yönde güçlü bir korelasyon olduğu ($r = 0.994$) ayrıca modelin CO₂ emisyonunu açıklama oranının ise % 98.74 olduğu belirlenmiştir. Bu sonuç; Türkiye’de CO₂ emisyonu ile enerji tüketimi arasındaki ilişkinin incelendiği bazı çalışmalar ile benzerlik göstermektedir [4], [11], [36]-[39]. Yapılan bir diğer çalışmada da İngiltere ve ABD’de de enerji tüketimi ve CO₂ emisyonları arasında pozitif bir ilişki olduğu belirlenmiştir [40].

Klasik regresyon analizi sonuçlarına göre, enerji tüketimindeki bir birimlik artışın CO₂ emisyonu üzerinde 55.830 milyon tonluk bir artışa sebep olacağı elde edilmiştir. Ancak parametrik test varsayımları sağlanmadığı için bu modelin çıkarsama amaçlı kullanılması uygun değildir. Kantil regresyon sonuçları değerlendirildiğinde; bağımlı değişkenin $\tau = 0.50$. kantil değerine göre elde edilen model RMSE ve MAE kriterlerine göre en uygun model olarak belirlenmiştir. Bu modele göre; enerji tüketimindeki bir birimlik artış CO₂ emisyonunu yaklaşık 54.3 milyon ton artıracaktır.

Öte yandan uygulamada aykırı değerlerin etkisinin incelendiği durumda $\tau = 0.25$. ve $\tau = 0.50$. kantil değerlerine bağlı modeller birbirine yakın RMSEA ve MAE değerleri vererek en uygun modeller olarak elde edilmiştir.

Bu çalışmada elde edilen model ile, Türkiye’de önümüzdeki yıllar için birincil enerji tüketimi değerinin bilinmesi halinde CO₂ emisyonu miktarı tahmin edilebilir. Bu bakımdan bu çalışmanın çevre kirliliği ve özellikle küresel ısınma literatürüne hem teorik hem de uygulama açısından katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Ayrıca, aykırı gözlem içeren çalışmalarda değişkenler arasındaki ilişkinin modellenmesinde araştırmacılar için yol gösterici bir çalışma olacaktır.

V. KAYNAKLAR

- [1] M. Türkeş, “İklim değişikliğiyle savaşım, kyoto protokolü ve Türkiye,” *Mülkiye Dergisi*, c. 32, s. 259, ss. 101–131, 2008.
- [2] V. Yılmaz ve P. A. G. Güleç, “Üniversite öğrencilerinin küresel iklim değişikliğine yönelik görüşlerinin araştırılması: bir yapısal eşitlik model önerisi,” *İzmir İktisat Dergisi*, c. 36, s. 1, ss. 1–22, 2021.
- [3] A. Keskin, “CO₂ emisyonunu etkileyen faktörler: Avrupa birliği örneği,” *Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, c. 6, s. 5, ss. 361–370, 2019.
- [4] H. Altıntaş, “Türkiye’de birincil enerji tüketimi, karbondioksit emisyonu ve ekonomik büyüme ilişkisi: eşbütünleşme ve nedensellik analizi,” *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, c. 8, s. 1, ss. 263–294, 2013.
- [5] C. Genç, “Türkiye’nin Paris iklim anlaşması dâhilindeki yükümlülükleri ve iklim değişikliğinin bu yükümlülükler üzerindeki etkisi,” Yüksek lisans tezi, Su Ürünleri Bölümü, İskenderun Teknik Üniversitesi, İskenderun, Türkiye, 2021.
- [6] Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK). (2021, 07 Şubat). Sera gazı emisyon istatistikleri 1990-2019 [Çevrimiçi]. Erişim: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Sera-Gazi-Emisyon-Istatistikleri-1990-2019-37196>.
- [7] C. C. Chang, “A multivariate causality test of carbon dioxide emissions, energy consumption and economic growth in China,” *Applied Energy*, vol. 87, no. 11, pp. 3533–3537, 2010.
- [8] İ. Öztürk, and A. Acaravcı, “CO₂ emissions, energy consumption and economic growth in Turkey,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 14, no. 9, pp. 3220–3225, 2010.
- [9] S. S. Wang, D.Q. Zhou, P. Zhou, and Q. W. Wang, “CO₂ emissions, energy consumption and economic growth in china: a panel data analysis,” *Energy Policy*, vol. 39, no. 9, pp. 4870–4875, 2011.
- [10] H. T. Pao, H. C. Fu, and C. L. Tseng, “Forecasting of CO₂ emissions, energy consumption and economic growth in China using an improved grey model,” *Energy*, vol. 40, no. 1, pp. 400–409, 2012.

- [11] D. Uysal ve H. Yapraklı, “Kişi başına düşen gelir, enerji tüketimi ve karbondioksit (co2) emisyonu arasındaki ilişkinin yapısal kırılmalar altında analizi: Türkiye örneği,” *Sosyal Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, c. 16, s. 31, ss. 186–202, 2016.
- [12] E. Yenisu, “Enerji tüketimi, CO₂ emisyonu ve ekonomik büyüme ilişkisi: Türkiye örneği,” *Van Yüzyüncü Yıl Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, c. 3, s. 5, ss. 9–29, 2018.
- [13] İ. Karakurt ve G. Aydın, “Kömür kaynaklı CO₂ emisyonlarının tahminine yönelik model geliştirilmesi: BRICS-T Ülkeleri örneği,” *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, c. 10, s. 1, ss. 214–229, 2020.
- [14] E. C. Kılınç ve H. Altıparmak, “Çevre vergilerinin CO₂ emisyonu üzerindeki etkisi üzerine bir uygulama,” *Ordu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi (ODÜSOBİAD)*, c. 10, s. 1, ss. 217–227, 2020.
- [15] A. A. Yavuz ve E. G. Aşık, “Kantil Regresyon,” *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, c. 9, s. 2, ss. 137–146, 2017.
- [16] U. K. Çınar, “En Küçük Kareler Regresyonuna Alternatif Bir Yöntem: Kantil Regresyon,” *Avrasya Uluslararası Araştırmalar Dergisi*, c. 7, s. 18, ss. 57-71, 2019.
- [17] M. Aydemir ve N. B. Arlı, “Öğrencilerin Sosyal Dışlanılmışlık Düzeylerinin Kantil Regresyon ile Analizi,” *Celal Bayar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, c.18, s. 2, ss. 262- 274, 2020.
- [18] E. İpek, “Türkiye’de Cepten Yapılan Sağlık Harcamalarının Belirleyicileri: Koşulsuz Kantil Regresyon,” *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, c.14, s. 2, ss. 409-420, 2019.
- [19] B. Bağcı, F. Çıtak ve M. Y. Şişman, “Koronavirüs Pandemisinin Havayolu Şirketlerinin Hisse Senetleri Üzerine Etkisi: Kantil-Kantil Regresyon Modeli Uygulaması,” *Gaziantep Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, c. 19, s. COVID-19 özel sayı, ss. 429-446, 2020.
- [20] Y. A. Unvan ve O. DEMİREL, “Kandaki Kolesterol Miktarına Etki Eden Etkenlerin En Küçük Kareler Yöntemine Alternatif Kantil Regresyon ile İncelenmesi”, *Süleyman Demirel Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, c. 11, s.2, ss. 199-205, 2020.
- [21] U. Ercan, “Türkiye Hanehalkı Sağlık Harcamaları Belirleyicilerinin Kantil Regresyon Yöntemiyle İncelenmesi,” *Bingöl Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, c. 5, s.1, ss. 141-172, 2021.
- [22] F. Çobanoğlu ve H. İ. Yılmaz, “Türkiye’de Hanehalkı Sorumlusunun Toplam Gelirine Etki Eden Belirleyicilerin Kantil Regresyon Yöntemi İle Analizi,” *Sosyal Politika Çalışmaları Dergisi*, c. 20, s. 47, ss. 313-338, 2020.
- [23] M. Altaylar ve S. Dursun, “Türkiye’de İçsel Büyüme Modeline Kademeli Bir Bakış: Kantil Regresyon Yaklaşımı,” *Ekonomi Politika ve Finans Araştırmaları Dergisi*, c. 6, s. IERFM özel sayısı, ss. 225-246.
- [24] Ö. İ. Güneri, B. Durmuş ve A. İncekırık, “Aykırı değer durumunda bazı sağlam regresyon yöntemlerinin karşılaştırılması,” *New Era International Journal of Interdisciplinary Social Researches*, c. 6, s. 11, ss. 33–51, 2021.
- [25] Ö. Ünver, H. Gamgam ve B. Altunkaynak, *SPSS Uygulamalı Temel İstatistik Yöntemler*, 6. baskı, Ankara, Türkiye: Seçkin Yayıncılık, 2011, böl. 12, ss. 325-326.

- [26] R. Koenker, and J. A. F. Machado, “Goodness of Fit and Related Inference Processes for Quantile Regression,” *Journal of the American Statistical Association*, vol. 94, no. 448, pp. 1296–1310, 1999.
- [27] C. L. Chen, “An Introduction to Quantile Regression and the QUANTREG Procedure,” *Statistics and Data Analysis*, 2005, pp. 1–24.
- [28] C. Alexander, *Practical Financial Econometrics, Market Risk Analysis*, John Wiley & Sons Ltd, England, 2008, pp. 396.
- [29] R. Koenker, and K. F. Hallock, “Quantile Regression: An Introduction,” *Journal of Economic Perspectives*, vol. 15, no.4, pp. 143–156, 2001.
- [30] R. Koenker, and G. Bassett, “Regression Quantiles,” *Econometrica*, vol. 46, no.1, pp. 33–50, 1978.
- [31] L. Hao, and D. Q. Naiman, *Quantile Regression, Series: Quantitative Applications In The Social Sciences*, SAGE Publications, California, 2007.
- [32] D. Alakaya, “Kantil regresyon ve doğrusal regresyon yöntemlerinin performansını etkileyen faktörlerin incelenmesi,” Yüksek lisans tezi, Biyoistatistik ve Tıbbi Bilişim Bölümü, Mersin Üniversitesi, Mersin, Türkiye, 2019.
- [33] T. Chai, and R. R. Draxler, “Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE) – Arguments against avoiding RMSE in the literature,” *Geoscientific Model Development*, vol. 7, no. 3, pp. 1247–1250, 2014.
- [34] A. S. Sayegh, S. Munir, and T. M. Habeebullah, “Comparing the performance of statistical models for predicting PM10 concentrations,” *Aerosol and Air Quality Research*, vol. 14, no. 3, pp. 653–665, 2014.
- [35] Statistical Review of World Energy, <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>, Erişim Tarihi: 25. 01. 2022.
- [36] H. Çetintaş, İ. M. Bicil ve K. Türköz, “Türkiye’de CO₂ Salımları Enerji Tüketimi ve Ekonomik Büyüme İlişkisi,” *Finans Politik ve Ekonomik Yorumlar*, c. 53, s. 619, ss. 57–67, 2016.
- [37] Z. Kanberoğlu, M. A. Arvas ve A. G. M. Türkmenoğlu, “Ekonomik Büyüme, Enerji Tüketimi, Ticari Açıklık Ve Karbondioksitemisyon Etkileşimi: Türkiye Örneği,” *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, c. 1, s. 38, ss. 273–286, 2017.
- [38] F. Ö. Alper ve A. E. Alper, “Karbondioksit Emisyonu, Ekonomik Büyüme, Enerji Tüketimi İlişkisi: Türkiye İçin Bir ARDL Sınır Testi Yaklaşımı,” *Sosyoekonomi*, c. 25, s. 33, ss. 145–156, 2017.
- [39] M. Çetin ve Ö. Yüksel, “Türkiye Ekonomisinde Enerji Tüketiminin Karbon Emisyonu Üzerindeki Etkisi,” *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, c. 5, s. 2, ss.169–186, 2018.
- [40] H. Çetintaş ve M. Sarıkaya “ABD ve İngiltere’de CO₂ Emisyonu Enerji Tüketimi ve Ekonomik Büyüme: ARDL Yaklaşımı,” *C.Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, c. 16, s. 2, ss. 173–194, 2015.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Derin Paket İncelemesi için Önerilen Yeni Bir Örüntü Eşleştirme Algoritması

 Merve ÇELEBİ ^{a,*},  Uraz YAVANOĞLU ^b

^a Bilgisayar ve Öğretim Teknolojileri Eğitimi, Eğitim Fakültesi, Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Hatay, TÜRKİYE

^b Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Ankara, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: merveorakci@mku.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1131544

ÖZ

Derin Paket İnceleme (Deep Packet Inspection-DPI), hem paket başlığı hem de paket yükü üzerinde ayrıntılı analizler gerçekleştirerek ağ trafiğinin tam görünürlüğünü sağlayan teknolojidir. DPI ile iyi bilinen kötü amaçlı yazılım imzaları ve saldırı sırası, saldırganın izlediği yol ve kullandığı tekniklerin birleşimi olarak tanımlanan saldırı deseninin tespiti yapılabilmektedir. Bu doğrultuda, ağ güvenliği veya devlet gözetimi gibi uygulamalarda kullanılabilmesi yönüyle DPI, kritik bir öneme sahiptir. Bu çalışmada, tek seferde taranan bayt sayısını artırarak DPI sürecini hızlandırmayı amaçlayan blok tabanlı bir örüntü eşleştirme algoritması önerilmiştir. Farklı sayıda örüntü içeren veri kümeleri kullanılarak Aho-Corasick (AC), Rabin-Karp (RK), Wu-Manber (WM) ve bu çalışmada önerilen algoritma üzerinde örüntü eşleştirme testleri gerçekleştirilmiş ve bu algoritmaların performansları karşılaştırılmıştır. AC, WU ve RK algoritmalarına kıyasla bu çalışmada önerilen algoritma, daha yüksek bir performans göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Derin paket inceleme, Örüntü eşleştirme, Ağ güvenliği, Ağ trafiği analizi

A New Pattern Matching Algorithm for Deep Packet Inspection

ABSTRACT

Deep Packet Inspection (DPI) is a technology that provides full visibility into network traffic by performing detailed analysis on both packet header and packet payload. DPI technique is used to detect well-known malware signatures. Additionally, the attack pattern which includes the attack order, the path followed by the attacker and the techniques used by the attacker can be detected. Accordingly, DPI has a critical importance as it can be used in applications i.e network security or government surveillance. In this study, a block-based pattern matching algorithm is proposed, which aims to speed up the DPI process by increasing the number of bytes scanned at once. Pattern matching tests are performed on Aho-Corasick (AC), Wu-Manber (WM), Rabin-Karp (RK) algorithms and the algorithm in this study by using datasets containing different numbers of patterns, and the performances of these algorithms are compared. Compared to the AC, RK and WM algorithms, the proposed algorithm in this study has a higher performance.

Keywords: Deep packet inspection, Pattern matching, Network security, Network traffic analysis

I. GİRİŞ

Modern ağlarda performansın korunması; ağın güvenliğini tehdit eden sorunların belirlenmesi, hizmet kalitesi (QoS) gereksinimlerinin karşılanması veya kaynak tüketiminin iyileştirilmesi gibi konuların önceliklendirilmesi ile sağlanır. Bu doğrultuda, ağ trafiğinin izlenmesi ve analiz edilmesi, ağ hizmetlerinin erişilebilir olmasını ve beklendiği gibi çalışmasını garanti eden uygulamaları içerir. Bu süreçte, ağ paketleri incelenmesi gereken hedefler olarak kabul edilir [1].

Ağ paketlerini inceleme sürecinde derinliğe bağlı olarak sınıflandırılmış üç temel yöntem kullanılır [2]. Yüzeysel Paket İnceleme (Shallow packet inspection-SPI) tekniği ile ağ paketinin yalnızca başlık bilgisi incelenebilir. Bu doğrultuda, ağ paketinin başlık kısmından gönderici ve alıcının IP adresleri, port numaraları, iletilen mesajların parçalandığı paket sayısı veya paketlerin hedefe ulaşmadan evvel yapabileceği atlama sayısı gibi bilgiler elde edilebilir. Ancak, birçok uygulamanın rastgele port numarası kullanması, şifreli protokollerin ortaya çıkması, bazı uygulamaların aldatma amacıyla diğer protokollere atanan port numaralarını kullanması veya bir protokolün başka bir protokolün yerini alması gibi sebepler, bu yöntemin uygulama protokolünü tanımlama hususundaki becerisinin yetersiz olduğunu kanıtlar niteliktedir [3], [4]. Orta seviyeli paket inceleme (Medium packet inspection-MPI), ağ trafiğini incelemek için kullanılan bir diğer tekniktir. Bu teknik, yaygın olarak uygulama vekil sunucuları tarafından kullanılır ve ağ paketinin başlık bilgisinin yanı sıra yük kısmını sunum katmanına kadar inceler. Bu yönüyle MPI, SPI tekniğine göre daha kapsamlı bir analiz gerçekleştirir [5]. MPI tekniği kullanılarak şüpheli olarak nitelendirilen içeriklerin açılmasını veya indirilmesini engelleyen uygulamalar geliştirilebilir ve uygulama katmanında bulunan uygulama komutları ile sunum katmanındaki dosya formatları incelenerek paket önceliklendirmesi yapılabilir. SPI ve MPI tekniklerinin aksine DPI tekniği, bir ağ paketinin tüm katmanlarının başlık bilgilerini ve yükünü kapsayacak şekilde bir inceleme gerçekleştirir. SPI, MPI ve DPI tekniklerinin OSI ve TCP/IP modellerine göre derinlikleri Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1. Ağ paketi inceleme teknikleri

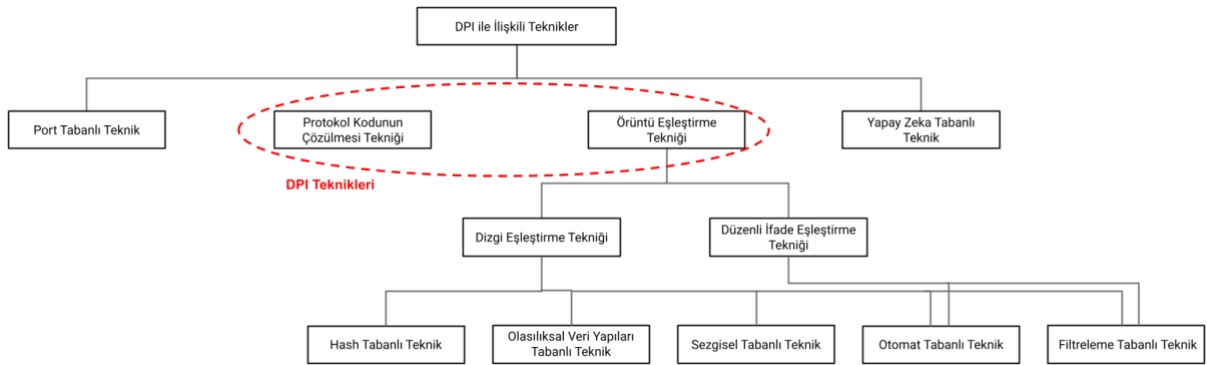
Seviye	SPI	MPI	DPI	OSI	TCP/IP
7			✓	Uygulama katmanı	
6		✓	✓	Sunum katmanı	Uygulama katmanı
5		✓	✓	Oturum katmanı	
4	✓	✓	✓	Taşıma katmanı	Taşıma katmanı
3	✓	✓	✓	Ağ katmanı	Ağ katmanı
2	✓	✓	✓	Veri bağlantı katmanı	Veri bağlantı katmanı
1	✓	✓	✓	Fiziksel katman	Fiziksel katman

DPI, belirli bir ağ noktasından geçen ağ paketlerinin derinlemesine analiz edilmesini ve analiz sonuçlarına göre çeşitli eylemlerin gerçekleştirilmesini sağlar. Bu inceleme yalnızca paket başlığını değil, aynı zamanda paket yükünü de kapsadığı için DPI tekniği derin inceleme olarak bilinir. DPI süreci tanıma ve eylem olmak üzere iki aşamadan oluşur. Tanıma, ağ paketini inceleme sürecini kapsar. Bu süreçte; uygulama protokolleri, virüsler, solucanlar, telefon numaraları veya kredi kartı numaraları gibi özel formata sahip veriler tespit edilebilir. Saldırı tespit sistemleri (intrusion detection systems-IDS), tanıma sürecine örnek olarak verilebilir. Bu sistemler, kötü amaçlı yazılımları tespit etmek için paket yükü içeriğini önceden tanımlanmış bir dizi imza veya örüntü ile karşılaştıran uygulamalardır.

DPI tekniğini kullanan bu uygulamalar sayesinde iyi bilinen kötü amaçlı yazılım imzalarının yanı sıra ağ akışı ile bağlantılı olarak saldırı sırası, saldırganın izlediği yol ve kullandığı teknikleri içeren saldırı deseninin tespiti gerçekleştirilebilir [2]. Tanıma sürecinin tamamlanmasından sonraki aşama, inceleme sonuçlarının eyleme dönüştürülmesidir. Ağ güvenliğinin öncelikli olmadığı sistemlerde log kayıtlarının tutulması yeterliken ağ güvenliğinin öncelikli olduğu sistemlerde log kayıtlarının tutulmasının yanı sıra ağdan düşürme gibi eylemler de gerçekleştirilebilir [3]. IDS'lerin aksine saldırı önleme sistemleri (Intrusion Prevention System-IPS), saldırıyı durdurma veya önleme eylemini gerçekleştirme üzerine kurgulanır. Günümüzdeki siber saldırılara karşı geliştirilen sistemler, genellikle bütünlüktür ve saldırı tespiti ve önleme sistemleri (Intrusion Detection and Prevention System-IDPS) olarak bilinir.

İki uç istasyon arasındaki iletişim üzerinde kontrolün sağlanması, gerçek zamanlı olarak hem paket başlığı hem de paket yükü üzerinde bilgi sahibi olma yeteneği ile doğrudan ilişkilidir. Yalnızca paket başlığı ve meta veriler üzerinde gerçekleştirilen inceleme; paket yükü üzerinde de denetim gerektiren içerik filtreleme, IDS, IPS, veri kaybı önleme sistemleri (Data Loss Prevention-DLP) ve dolandırıcılık tespiti gibi uygulamalar için yetersizdir [6]. Bu doğrultuda DPI, SPI ve MPI tekniklerine göre ağ trafiğinin daha güvenilir bir biçimde izlenmesini ve analiz edilmesini sağlar. Ayrıca, günümüzde ağ trafiğinin neredeyse tamamı şifreli olduğu için kötü niyetli kişiler, şifreli trafiği kendilerini gizlemek için kullanarak şifreli kanallar üzerinden saldırılarını gerçekleştirebilir [7]. Bu sebeple, siber saldırıların tespitinde paket başlığının yanı sıra, paket yükünün de incelemeye dâhil edilmesi gerekir.

Modern iletişim sistemleri ve ağları üzerinde trafiğin izlenmesi ve analiz edilmesi, doğruluğun sağlanması ve büyük verilerin gerçek zamanlı olarak etkili bir şekilde işlenmesi gibi bazı zorluklar içerir. Özellikle hücresel ağlardaki ağ trafiği modeli, cihaz hareketliliği ve ağ heterojenliği gibi çeşitli faktörler nedeniyle karmaşık davranışlar gösterir. Bahsi geçen zorluklar; büyük veri olarak adlandırılan yapıdan değerli bilgilerin elde edilmesi sürecinde karşılaşılan verinin hacmi, hızı, doğruluğu ve çeşitliliği gibi faktörlerle ilişkilidir [1], [8]. Ağ karmaşıklığının artması sonucu oluşan heterojen yapıdaki bu ağ trafiğinin toplanması ve değerlendirilmesi, büyük miktardaki verilerin çevrimiçi olarak analiz edilmesi için verimli mekanizmalar gerektirir. Bu verimli mekanizmalar, birden fazla tekniğin bir araya getirilmesi ile oluşturulan güçlü ve hibrit sistemlerdir. Bu sebeple DPI tekniğinin, ağ trafiğinin analizinde kullanılan diğer tekniklerle birlikte incelenmesi önemlidir. DPI tekniğinin temel prensibi, paket yükünün incelenmesidir. Bu prensip göz önünde bulundurularak DPI ve DPI ile ilişkili yöntemler, Şekil 1'de gösterilmiştir [3], [9], [10].



Şekil 1. DPI ile ilişkili teknikler

II. LİTERATÜR TARAMASI

Otomat tabanlı yaklaşımlarda veri yükündeki her baytın işlenmesi, bir veya birkaç hafıza erişimi gerektirdiğinden DPI'deki eşleştirme süreci, hesaplama açısından yoğun ve zaman alıcı bir iştir. Bu durum, DPI sürecini uzatabilir. Bu nedenle, genel DPI performansı büyük ölçüde örüntü eşleştirme verimliliğine, yani sonlu durum makinesinin (FSM) etkinliğine bağlıdır [3]. Nondeterministic finite

automata (NFA) ve deterministic finite automata (DFA) çoklu örüntü eşleştirme problemleri için kullanılan FSM'lerdir. İfade gücü olarak iki FSM de eşdeğerdir. Ancak DFA, yoğun bellek kullanımı NFA ise yoğun hesaplama gerektirir. Bu alandaki mevcut araştırmaların çoğu, depolama ve performans arasında bir denge sağlamaya yöneliktir [22]-[24].

Teorik bilgisayar bilimi ve biçimsel dil teorisinde RE; bir arama kalıbını, yani dilleri veya bir dizi dizgiyi tanımlar. RE'deki her sembol ya düzenli bir ASCII karakteridir ya da bazı özel anlamları temsil eden bir meta karakterdir. RE, bir dizi dizgiyi temsil edebilirken bir dizgi, yalnızca kendisini temsil edebilir [3]. RE'ler güçlü ve esnek tanımlama kabiliyeti sayesinde birçok açık kaynaklı ve ticari DPI uygulamasında yaygın olarak kullanılır [25]-[27]. Örüntü eşleştirme işleminde girdi olarak RE'lerin kullanıldığı süreçler için bellek açısından verimli mimarilerin oluşturulmasına odaklanan bazı çalışmaların [28]-[30] yanı sıra, 31 numaralı çalışmada örüntü eşleştirme doğruluğunun ve hızının iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca, ağ paketlerini arabelleklerde depolamayı ve akışları yeniden birleştirmeyi gerektirmeyen ve sırasız paketleri işleyebilen RE tabanlı bir DPI mimarisi önerilmiştir. En basit türde RE'ler olan dizgiler, sabit boyutlu örüntülerdir. Karmaşık RE'lerden daha hızlı bir eşleştirme gücüne sahip olan otomat tabanlı AC [32] algoritması, uygulanmasının kolay olması sebebiyle dizgi eşleştirme için yaygın olarak kullanılır. AC algoritmasının desen eşleştirme sürecinde uygulanması, önbellek alanını daha büyük durum geçiş tabloları için kullanışsız hale getirir. Bu durumun bir sonucu olarak büyük boyuttaki örüntü veri kümeleri için eşleştirme hızı düşer. Bellek gereksinimini azaltıp önbellek kullanımını etkin bir biçimde gerçekleştirmek için geçiş tablosunun sıkıştırılması, AC algoritmasının araştırma konularındandır. Bazı iyileştirilmiş AC algoritmaları [33]-[36], otomatların depolanmasında gerekli olan hafıza alanını azaltmaya odaklanırken 37 numaralı çalışmada, desen eşleştirme sürecinde bellek erişim sayısının ve enerji tüketiminin azaltılması amacıyla değişken adımlı AC-DFA algoritması önerilmiştir.

Paket yükündeki her baytı tek tek işleyen otomat tabanlı örüntü eşleştirme algoritmalarının aksine sezgisel tabanlı eşleştirme algoritmalarının temel prensibi, eşleştirme işlemi hızlandırmak için bazı sezgileri kullanarak mümkün olduğunca fazla sayıda paket yükü karakteri atlamaktır. Tekli örüntü eşleştirme algoritması Boyer-More (BM) [20] ve çoklu örüntü eşleştirme algoritması WM [21] sezgisel tabanlı eşleme algoritmalarıdır. BM, duruma bağlı atlamalar yaparak arama modelinin performansını iyileştirir. Kontrolü sağdan sola doğru gerçekleştiren BM, *Good-Suffix* (hedef metnin ve örüntünün eşleşen eki) ve *Bad-Character* (hedef metnin ve örüntünün eşleşmeyen karakteri) kurallarına göre kaymalar gerçekleştirir. Bilinen saldırı örüntülerinin tespiti amacıyla BM algoritmasını uygulayan birçok çalışma [38]-[41] mevcuttur. IDS'lerin performansını ve verimliliğini iyileştirmek amacıyla karakter karşılaştırma sayısını azaltmaya odaklanan çalışmalar [42]-[44] ise BM algoritmasının iyileştirilmiş versiyonu olarak sunulmuştur. BM algoritmasının performansını sınırlayan önemli bir husus, paralel olarak birden fazla örüntüyü işleyememesidir. Bu doğrultuda, BM algoritmasının bir uzantısı olarak geliştirilen WM algoritması, birden fazla örüntüyü aynı anda işleme özelliğine sahiptir. IDS'lerin performansını ve verimliliğini iyileştirmek amacıyla gereksiz eşleştirme denemelerinin sayısını azaltarak kullanılan CPU döngüsü sayısını azaltmaya odaklanan [45]-[47] numaralı çalışmalar, WM algoritmasının iyileştirilmiş versiyonu olarak sunulmuştur. Ayrıca, kaydırma mesafesinin kısa olmasına sebep olan kısa örüntülerden kaynaklanan performans kayıplarının azaltılması amacıyla WM algoritmasının iyileştirilmiş versiyonu olarak sunulan [48] numaralı çalışmada, tüm desenlerin uzunluklarına göre farklı desen setlerine bölünmesi ve bu setlerin sırayla işlenmesi ile performansı düşüren kısa desenlerin etkisinin azaltılması hedeflenmiştir. Hash tabanlı algoritmalar, paket yükünün içeriğini karakterler üzerinden örüntü ile karşılaştırmak yerine hash değerlerinin bir karşılaştırmasını yapar. RK [19] hash tabanlı bir örüntü eşleştirme algoritmasıdır. Bu algoritma hem örüntü hem de paket yükünün örüntü ile aynı uzunluklu alt dizgileri için hash hesaplamaları gerçekleştirir ve her örüntü için bu işlemi tekrar eder. Hesaplama karmaşıklığından kaynaklanan ek yükler, örüntü eşleştirme performansı üzerinde olumsuzluk teşkil eder.

Bu çalışmada önerilen algoritma, tek seferde taranan bayt sayısını artırarak eşleştirme sürecini hızlandırmayı amaçlar. Bu yönüyle blok tabanlıdır ve birden fazla örüntüyü aynı anda işleme özelliğine sahiptir. Bu algorithmada ilk m karakteri aynı olan örüntüler, diğer örüntülerden farklılaştıkları minimum uzunluklarına göre bir hash tablosunda tutulur. Daha sonra, bu uzunluklar kullanılarak hash tablosundan

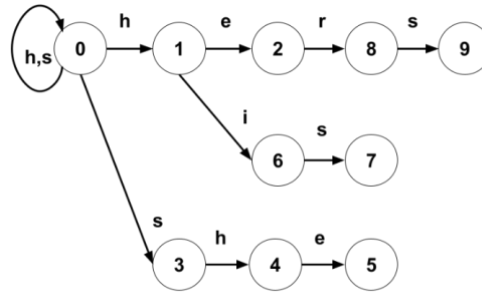
örüntülere direkt erişim sağlanır. Hash tablosu sayesinde, WM algoritmasında olduğu gibi ilk m karakteri aynı olan örüntüler üzerinde gerçekleştirilen doğrusal arama işleminden kaynaklanan performans kayıpları yaşanmaz. Bu doğrultuda, önerilen algoritma hem sezgisel hem de hash tabanlı olması yönüyle hibrit bir yapıya sahiptir. Ek olarak, WM algoritmasında bir örüntü tespit işlemi gerçekleştirildikten sonra paket yükü üzerinde kaydırma mesafesi her durumda 1'dir. Önerilen algoritmada ise kaydırma mesafesi örüntü içerisinde başka bir örüntünün tamamının ya da bir kısmının mevcut olup olmadığına göre belirlenir. Bu doğrultuda, önerilen algoritmanın eşleştirme performansı kaydırma mesafesi ile doğru orantılı olarak artar.

III. YÖNTEM

Bu bölümde, önerilen algoritma ile performansları karşılaştırılan AC, WM ve RK algoritmaları gözden geçirilmiş, önerilen algoritmanın mimarisi detaylı bir şekilde sunulmuştur.

A. AHO-CORASICK ALGORİTMASI

AC, otomat tabanlı bir örüntü eşleştirme algoritmasıdır ve örüntü eşleştirme işleminde girdi olarak önceden tanımlanmış imzalardan oluşan bir grup dizgiyi kabul eder. Örüntü tespitinin gerçekleştirilebilmesi amacıyla paket yükü AC otomatı üzerinde gezdirilir. Bu otomat; ilerleme, başarısızlık ve çıkış olarak adlandırılan üç fonksiyondan oluşur. AC otomatını oluşturan bu fonksiyonlar Şekil 2'de gösterilmiştir [32]. AC otomatında g ilerleme fonksiyonu, f başarısızlık fonksiyonu ve o çıkış fonksiyonu olarak temsil edilmiştir.



a. İlerleme fonksiyonu

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$f(i)$	0	0	0	1	2	0	3	0	3

b. Başarısızlık fonksiyonu

i	output(i)
2	{he}
5	{she,he}
7	{his}
9	{hers}

c. Çıkış fonksiyonu

Şekil 2. AC Algoritması fonksiyonları

0 numaralı durum, otomat için başlangıç durumunu gösterir. İlerleme fonksiyonu g , bir durum-karakter ikilisini bir duruma eşler. Eşlenen bu durum, başarılı bir geçiş veya başarısızlık geçişi sonucu elde edilebilir. Örnek olarak Şekil 2'de $g(0,h)=1$ başarılı bir geçişi temsil ederken $g(1,\sigma)$ fonksiyonunda "e" veya "i" dışında herhangi bir karakter için başarısızlık geçişi mevcuttur. Başarısızlık fonksiyonu f bir durum-karakter ikilisinin bir duruma eşlenememesi halinde kullanılır. Mevcut karakter ile gidilebilecek herhangi bir durum yoktur ve başarısızlık geçişi ile elde edilen karakter-durum ikilisi doğru bir eşleme için kullanılır. Örneğin, Şekil 2'de görüldüğü gibi durum 4'ten "e" karakteri ile durum 5'e geçiş

mevcuttur. Ancak paket yükünde mevcut karakter olarak “e” bulunmuyorsa $g(4,e)$ geçişi gerçekleştirilemez ve $f(4)=1$ başarısızlık fonksiyonu kullanılarak başarısızlık geçişi gerçekleştirilir. Artık durum 1’e geçilmiştir ve durum 1’den diğer durumlara olan geçişler yeni bir eşleştirme için değerlendirilir. Çıkış fonksiyonu o , bir durumu bir veya daha fazla örüntüye eşler. Yani, mevcut durumda sonlanan tüm örüntülerin indisleri çıkış fonksiyonu kullanılarak saklanır. Örneğin, AC otomatı üzerinde gezdirilen paket yükü için mevcut durum 5 ise iki örüntü tespit edilmiştir. Bu durum $o(5)=\{he, she\}$ fonksiyonu ile belirlenir.

n değerinin taranan metnin boyunu, m değerinin tüm örüntülerdeki toplam karakter sayısını ve k değerinin toplam örüntü sayısını temsil ettiği kabul edilirse; AC algoritması, tüm örüntüleri $O(n + m + z)$ zamanında tespit eder. Burada z değeri, taranan metin içerisinde bulunan örüntülerin toplam sayısıdır.

B. RABIN-KARP ALGORİTMASI

RK, hash tabanlı bir örüntü eşleştirme algoritmasıdır ve paket yükünün içeriğini karakterler üzerinden örüntü ile karşılaştırmak yerine hash değerlerinin bir karşılaştırmasını yapar. m uzunluğundaki her örüntü için bir hash değeri hesaplanır. Aynı zamanda, incelenen m uzunluğundaki alt dizginin de hash değeri hesaplanır. Örüntünün paket yükü üzerinde kaydırılması sırasında herhangi bir örüntü-alt dizgi eşleşmesi tespit edilirse doğrulama için örüntü ve alt dizgi bayt bazında karşılaştırılır.

n değerinin taranan paket yükünün boyunu, m değerinin örüntünün boyunu ifade ettiği varsayılırsa ve $n > m$ ise RK algoritmasının en iyi ve ortalama çalışma süresi $O(n+m)$ ’dir. En kötü çalışma süresi ise m uzunluğundaki örüntünün ve paket yükünden elde edilen m uzunluğundaki tüm alt dizgilerin eşit hash değerlerine sahip oldukları durumda ortaya çıkar ve $O(nm)$ olarak kabul edilir. AAA örüntüsü ve AAAAAAA metni için hesaplanan hash değerleri birbirine eşittir ve RK algoritması için en kötü çalışma süresinin geçerli olduğu durumu örnekler.

C. WU-MANBER ALGORİTMASI

BM algoritmasının bir uzantısı olarak geliştirilen sezgisel tabanlı WM algoritması, ön işleme ve tarama olarak adlandırılan iki aşamadan oluşur. Ön işleme aşamasında, eşleştirme penceresinin uzunluğu m , en kısa örüntünün uzunluğuna göre belirlenir ve daha sonra desen eşleştirme sürecinde kullanılan SHIFT, HASH ve PREFIX tabloları oluşturulur. Eşleştirme penceresinin kaydırılması, örüntü eşleştirme sürecini hızlandıran *Bad Character* kaydırma yaklaşımını temel alır. Ancak, burada kaydırma hesaplamaları tek bir karakter yerine karakter bloğu kullanılarak gerçekleştirilir. Karakter bloğunun uzunluğu genellikle 2 veya 3 olarak kabul edilir.

m değerinin eşleştirme penceresinin uzunluğunu, B değerinin karakter bloğunun uzunluğunu, X değerinin mevcut eşleştirme penceresinin içerisindeki karakter bloğunu temsil ettiği varsayılmış ve $T=t_1, t_2, \dots, t_n$ paket yükü, n paket yükünün uzunluğu ve $P=\{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ örüntü kümesi olarak kabul edilmiştir.

Her örüntünün ilk m karakterinden B boyutunda karakter blokları elde edilir ve her bloğun kaydırma mesafesi SHIFT tablosunda saklanır. Hash hesaplaması sonucunda X değerinin, SHIFT tablosunda i . indiste bulunduğu kabul edilirse SHIFT tablosu içerisindeki kaydırma mesafesi eşitlik (1) vasıtasıyla hesaplanır.

$$SHIFT[i] = \begin{cases} m - B + 1, X \text{ herhangi bir örüntü ile eşleşmiyorsa} \\ \min \{m - q \setminus X[k] = P_j[q - B + k], 1 \leq k \leq B, P_j \in P\} \end{cases} \quad (1)$$

Eşitlik (1)’deki q değeri, X karakter bloğunun konumunun en sağındaki yeri temsil eder.

HASH tablosu, eşleştirme penceresi içerisinde aynı son eke sahip örüntüleri bulduran liste girişlerini saklar. Her örüntünün ilk m karakterinin son B boyutlu karakter bloğunun hash değeri hesaplanır. Aynı hash değerine sahip tüm örüntüler aynı listeye alınır ve listenin girişi HASH tablosunda saklanır.

PREFIX tablosunun oluşumu HASH tablosunun oluşumu ile benzerdir. HASH tablosundan farklı olarak, hash değerinin hesaplanmasında örüntülerin ilk m karakterinin son eki yerine ön eki kullanılır.

WM algoritmasında örüntü arama işlemi aşağıdaki gibidir:

1. Eşleştirme penceresi, T 'nin başlangıcına yerleştirilir. Paket yükü işaretçisi t_p , eşleştirme penceresinin son ek karakter bloğunu gösterecek şekilde konumlandırılır.
2. Eğer t_p işaretçisinin değeri paket yükünün son elemanını gösteren işaretçi değerinden büyükse arama işlemi sonlanır. Aksi durumda, eşleştirme penceresinin son ek karakter bloğunun hash değeri hesaplanır.
3. Elde edilen hash değeri, karakter bloğunun kaydırma mesafesini saklayan SHIFT tablosunda, arama işleminin gerçekleştirilmesinde kullanılır. Karakter bloğunun kaydırma mesafesinin 0 olması durumu, eşleştirme penceresinin bazı örüntülerin ilk m karakteri olduğu anlamına gelir ve 4. adıma gidilir. Kaydırma mesafesinin 0'dan büyük olduğu durumlarda ise t_p değeri kaydırma mesafesi kadar artırılır ve 2. adıma gidilir.
4. HASH tablosunda arama yapmak için SHIFT tablosunda da arama işleminin gerçekleştirilmesinde kullanılan hash değeri kullanılır. HASH tablosu üzerinde arama işleminin gerçekleştirilmesiyle aynı son ek karakter bloğuna sahip örüntülerin listesinin ilk elemanını gösteren işaretçi tespit edilir.
5. Mevcut eşleştirme penceresindeki T 'nin ön ek karakter bloğunun hash değeri hesaplanır.
6. Listedeki her örüntü için önek karakter bloğunun hash değeri hesaplanır. Bu değer, 5. adımda hesaplanan hash değerine eşit ise örüntü ve paket yükü bayt bazında karşılaştırılır. Herhangi bir eşleşme mevcut ise eşleşme kaydedilir. t_p değeri bir artırılır ve 2. adıma gidilir.

N değerinin taranan metnin boyu, P değerinin örüntü sayısı ve m değerinin bir örüntünün boyutu olduğu varsayılırsa $M=mP$ tüm örüntülerin boyutu olur. $N \geq M$ ise herhangi bir örüntünün B boyutlu alt dizgisi bir kez işleme alınır ve bu sebeple SHIFT tablosu $O(M)$ zamanında oluşturulur. Tarama süresi iki duruma bağlıdır. Birinci durumda kaydırma mesafesi 0'dan büyüktür. Bu durumda, yalnızca bir kaydırma uygulanır ve ek bir iş yükü gerekmez. İkinci ve daha karmaşık durum, kaydırma mesafesinin 0 olduğu durumdur. Bu durumda, örüntüler üzerinde doğrusal arama gerçekleştirilir.

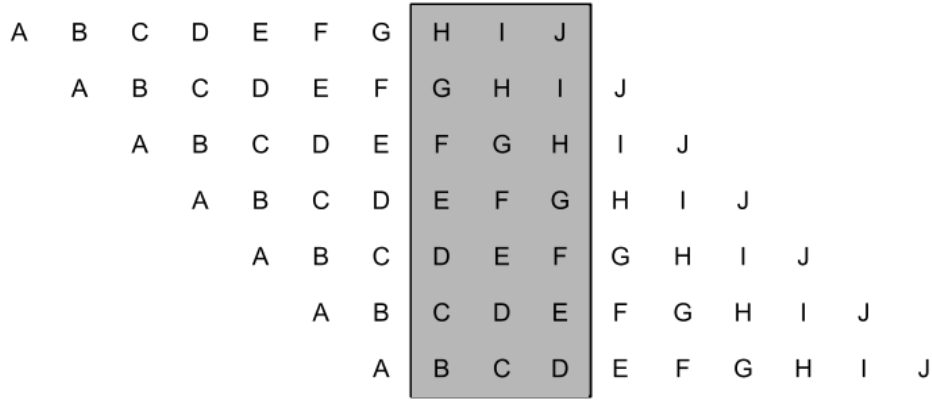
En fazla örüntü sayısı ($P=M/m$) kadar dizgi i . indiste bir kaydırma mesafesi oluşturur. B boyutundaki tüm olası alt dizgilerin sayısı en az $2M'$ 'dir. Rastgele B boyutunda bir dizginin i . indiste bir kaydırma mesafesini oluşturma olasılığı, $0 \leq i \leq m-B+1$, $\leq 1/2m'$ 'dir ve bir hash fonksiyonu $O(B)$ zamanında hesaplanır. Bu doğrultuda, kaydırma mesafesinin 0'dan farklı olduğu durumda toplam iş $O(BN/m)$ zamanında yürütülür. SHIFT tablosunda bir eşleşme olmadığı sürece, 0 kaydırma değeri için de iş miktarı $O(B)$ olur. Ancak bir eşleşmenin olduğu durumda, aynı son ek ve ön ek hash hesaplamalarına sahip örüntüler üzerinde doğrusal bir arama gerçekleştirilir. Bu arama işlemi, bir örüntü için $O(m)$ zamanında gerçekleştirilir.

D. ÖNERİLEN ALGORİTMA

Çok adımlı örüntü eşleştirme algoritmaları bir ağ paketinin birden çok baytının tek seferde taranmasına izin verir. Bu durum, örüntü eşleştirme performansını artırır. Önerilen blok tabanlı algoritma, tek seferde taranan bayt sayısını artırarak örüntü eşleştirme işlemlerini hızlandırmayı amaçlar. Bu algoritma, mevcut tek adımlı ya da çok adımlı örüntü eşleştirme algoritmalarına benzer şekilde, birden fazla örüntüyü aynı anda işleme özelliğine sahiptir.

Önerilen algoritma, örüntü eşleştirme işleminde bir grup dizgiyi girdi olarak kabul eder ve eşleştirme işlemini hızlandırmak için önceden tanımlanmış kuralları uygulayarak mümkün olduğunca fazla sayıda paket yükü karakteri atlamayı hedefler. Bu doğrultuda, bütün karakterleri tek tek kontrol eden doğrusal aramadan daha iyi bir sonuç elde edilmesi amaçlanmıştır. Örüntü eşleştirme sırasında; bir pencere, incelenecek karakterleri içerir ve eşleştirme sonucu, pencerenin kaydırılması gereken bir sonraki konumu belirtir.

Algoritma, ön işleme ve tarama olarak adlandırılan iki aşamadan oluşur. Ön işleme aşamasında, eşleştirme penceresinin uzunluğunu temsil eden m değeri belirlenir ve örüntülerin ilk m baytı için bir OFSET tablosu oluşturulur. Her örüntünün ilk m baytıdan k bayt alt dizgileri elde edilir ve her dizginin kaydırma mesafesi, OFSET tablosunda saklanır. Şekil 3'te bir k bayt alt dizginin bir m bayt örüntüden nasıl çıkarıldığı gösterilmektedir. Burada k uzunluğu 3, m uzunluğu ise 10 olarak kabul edilmiştir. k uzunluğunun 3'ten küçük bir değer seçilmesi durumunda, üretilen alt dizgi sayısı için gereken bellek ihtiyacı fazla olacaktır. k uzunluğunun büyük seçilmesi durumu ise hesaplama karmaşıklığını artırır. Dolayısıyla bu çalışmadaki k uzunluğu 3 olarak belirlenmiştir. OFSET tablosu oluşturulurken her örüntünün ilk m uzunluğu kullanılmıştır. Bu sebeple m uzunluğunun en kısa örüntüden küçük olmaması gerekir. Bu çalışmada kullanılan en kısa örüntünün uzunluğu 10 olduğu için m değeri 10 olarak belirlenmiştir.



Şekil 3. Alt dizgi çıkarımı

Hash hesaplaması sonucunda mevcut eşleştirme penceresinin içerisindeki X değerinin OFSET tablosunda hash. indiste bulunduğu varsayılırsa OFSET tablosu içerisindeki kaydırma mesafesi, eşitlik (1) vasıtasıyla hesaplanır.

$$OFSET[i] = \begin{cases} m - k + 1, X \text{ karakter bloğu herhangi bir örüntünün alt dizgisi değil} \\ m - k - \max(OFSET[hash]) \end{cases} \quad (1)$$

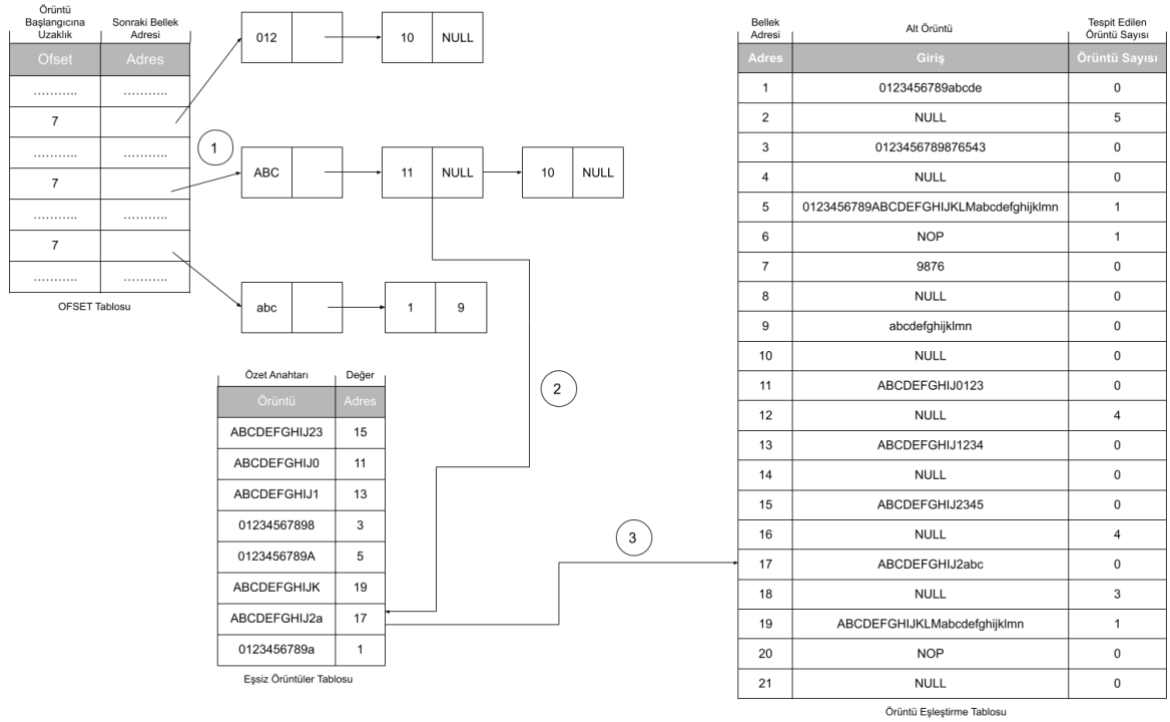
Kaydırma mesafesinin 7'den küçük olduğu durumlarda ağ paketi üzerinde kaydırma mesafesi kadar atlama gerçekleştirilir. Bu mesafe 7 iken örüntü eşleştirme işlemi gerçekleştirilir. Eşleştirme işlemi başarısız olursa ağ paketi üzerinde yalnızca 1 bayt atlanır. Başarılı bir eşleştirme olursa kaydırma mesafesi en iyi durumda, tespit edilen örüntü uzunluğu+($m-k+1$) kadar; en kötü durumda ise 1 olur. En iyi durum, örüntü içerisinde başka bir örüntünün tamamının ya da bir kısmının mevcut olmadığı durumdur. En kötü durumda ise örüntünün ikinci baytıdan itibaren başka bir örüntünün alt örüntüsü mevcuttur.

OFSET tablosunda her k bayt alt dizge için ofset ve adres olmak üzere iki tanımlayıcı özellik tutulur. Ofset değeri, alt dizginin başlangıç konumunun örüntünün başlangıç konumuna olan uzaklığını ifade eder. Adres değeri ise her örüntünün ilk m baytının aynı son k bayt alt dizgisine sahip örüntülerin listesinin ilk elemanını gösteren bir işaretçi tutar. Bu listenin her bir elemanı, aynı ilk k bayt alt dizgilerine sahip örüntülerin listesinin ilk elemanını gösteren bir işaretçi tutar. Bu liste ise örüntülerin eşsiz olmasını sağlayan indis değeriyle birlikte tam eşleştirme işleminin gerçekleştirildiği örüntü eşleştirme tablosuna erişimin sağlanması için bir işaretçi tutar. Bu işaretçinin NULL değerine sahip olması durumunda, aynı indis değerine sahip birden fazla örüntünün mevcut olduğu anlaşılır ve eşsiz örüntüler tablosu, örüntü eşleştirme tablosuna erişim sağlanması için kullanılır.

Eşsiz örüntüler tablosu basit bir hash tablosudur ve örüntüler, eşsiz oldukları yani diğer örüntülerden farklılaştıkları minimum uzunlukları kullanılarak bu tabloya yerleştirilir. ABCDEFGHIJ1234 ve ABCDEFGHIJ0123 örnek örüntüleri için eşsiz örüntüler tablosuna ABCDEFGHIJ1 ve ABCDEFGHIJ0 alt örüntüleri yerleştirilir. Burada örüntülerin eşsiz olmalarını sağlayan minimum bayt sayısı iki örüntü için de 11'dir. Bu tablo, hash değeri olarak örüntü eşleştirme tablosuna erişim sağlayan bir işaretçi tutar.

Tam eşleştirme işlemi, örüntü eşleştirme tablosu kullanılarak gerçekleştirilir. Bu tabloda her örüntünün alt örüntüleri ardışık bellek adreslerinde tutulur. Bu sayede eşleştirme işlemi için bir sonraki adresin bulunması, basit bir artırma operasyonu ile gerçekleştirilir. Bir örüntü, başka bir örüntüyü içeriyorsa içerdiği örüntünün bitiş noktasına kadar olan kısım, bir alt örüntü oluşturur ve bu alt örüntü tabloya yerleştirilir. Örüntünün geri kalan kısmı için ise başka örüntüyü içerme durumu kontrol edilir ve oluşturulan alt örüntüler ardışık bellek adreslerine yerleştirilir. Alt örüntüler tek bir örüntüyü içerebileceği gibi birden fazla örüntüyü de içerebilir. Bu sebeple, mevcut indiste tespit edilen örüntü sayısı için örüntü eşleştirme tablosunda bir alan tutulur. Bu durum, algoritmaya birden fazla örüntüyü aynı anda işleme özelliği kazandırır ve yeni örüntü eşleştirme süreci, tespit edilen örüntüden sonraki baytlar üzerinde gerçekleştirilir. Ancak, bir örüntü başka bir örüntünün içerisinde alt örüntü oluşturacak şekilde konumlanmış ise örüntünün kalan kısmının tespit edilebilmesi için bir sonraki örüntü tespit işlemi, bu örüntünün diğer örüntü içerisindeki başlangıç indisinden itibaren gerçekleştirilir. Örüntü eşleştirme tablosunda, her örüntünün son alt örüntü bloğunu tutan bellek alanından bir sonraki alanda herhangi bir içerik saklanmaz. Örüntü eşleştirme tablosunda bu bellek alanına gelindiğinde örüntü tespitinin tamamlandığı anlaşılır ve yeni örüntü tespit işlemi için indis değeri belirlenir. Bu adresteki örüntü sayısı alanı, sonraki örüntü tespit işlemi için başlangıç indisi değerini tutar. Bu sayede, önceki aşamada tespiti tamamlanmayan örüntüler için eşleştirme süreci devam eder.

ABCDEFGHIJ2abc örüntüsü için örüntü tespit süreci Şekil 4'te gösterilmiştir. Örnek tespit sürecinde k değeri 3, m değeri 10 ve l değeri 2 olarak seçilmiştir. Öncelikle, örüntünün ilk m baytının son k elemanını içeren alt dizgi için hash hesaplama işlemi gerçekleştirilir ve bu alt dizginin OFSET tablosunda bulunduğu adres alanı belirlenir. Adres alanının belirlenmesinden sonraki adım, örüntünün ilk l elemanını içeren alt dizgi için hash hesaplamasının gerçekleştirilmesidir. Bu hash hesaplaması ile aynı ilk l bayta sahip örüntü listesinin ilk elemanına ulaşılır. Sonraki adım, doğru eşleştirmenin gerçekleştirilebilmesi için listedeki elemanlar üzerinde gezilmesidir. Mevcut elemanda indis alanı 11 ve örüntü eşleştirme tablosuna erişim sağlanması için gerekli işaretçi alanı NULL değerine sahiptir. Bu durumda, 11 indis değerine sahip birden fazla örüntü mevcuttur ve bu indis değeri kullanılarak eşsiz örüntüler tablosundaki uygun bellek adresine erişilir. Son adımda, erişilen bellek alanındaki adres değeri, örüntü eşleştirme tablosuna erişim sağlamak için kullanılır. ABCDEFGHIJ2abc örüntüsü tek bir örüntüden oluşur. Bu sebeple eşleştirme tablosunda ilk alt örüntüyü içeren adrese erişildiğinde tespit edilen örüntü sayısının 0 olduğu görülür. Bir sonraki adres alanına erişildiğinde ise alt örüntü alanının NULL olduğu görülür ve örüntü eşleştirme sürecinin tamamlandığı anlaşılır. Ayrıca, alt örüntü alanının NULL olduğu bu adreste tespit edilen örüntü sayısı alanının 3 olduğu görülür ve bu bilgi, yeni örüntünün tespit edilmesi sürecinde kullanılır. ABCDEFGHIJ2abc örüntüsünün son üç baytı, abcdefghijklmn örüntüsünün ilk 3 baytını içerir. Bu sebeple yeni eşleştirme süreci, ağ paketi içerisinde konumlanan ABCDEFGHIJ2abc örüntüsünün son üç baytından başlar.



Şekil 4. Örüntü tespit süreci örneği

Rastgele B boyutunda bir dizinin i değerinde bir kaydırma mesafesini oluşturma olasılığı, $0 \leq i \leq m-B+1$, $\leq 1/2m$ 'dir ve bir hash fonksiyonu $O(B)$ zamanında hesaplanır. Bu doğrultuda, kaydırma mesafesinin 7'den küçük olduğu durumlarda toplam iş, $O(BN/m)$ zamanında yürütülür. OFSET tablosunda bir eşleşme olmadığı sürece, kaydırma mesafesinin 7 olduğu durum için de iş miktarı $O(B)$ olarak hesaplanır. Aksi durumda, yani OFSET tablosunda bir eşleşme olduğunda, aynı son ek ve ön ek hash hesaplamalarına sahip örüntüler üzerinde bir arama işlemi gerçekleştirilir. WM algoritmasında herhangi bir eşleşmenin tespit edilebilmesi için örüntüler üzerinde doğrusal arama gerçekleştirilir. Önerilen algoritmada ise arama işlemi basit bir hash tablosu kullanarak gerçekleştirilir. Örüntüler, eşsiz oldukları minimum uzunluklara göre hash tablosuna yerleştirilir. Daha sonra, bu uzunluk kullanılarak aranan örüntüye hash tablosundan direkt erişim sağlanır. Hash tablosu, en iyi durumda $O(1)$ zamanında işlem yürütür. En kötü durumda ise işlem süresi doğrusal aramaya yaklaşır.

IV. BULGULAR

Bu bölümde öncelikle analiz sürecinde kullanılan teknolojiler hakkında bilgi verilmiş, daha sonra analizlerde kullanılan veri kümesinin nasıl oluşturulduğundan bahsedilmiştir. Son olarak; AC, WM, RK algoritmaları ve bu çalışmada önerilen algoritma kullanılarak örüntü eşleştirme testleri gerçekleştirilmiş ve elde edilen performansların karşılaştırılması sunulmuştur.

Tablo 2, oluşturulan donanım yapılandırmasını gösterir. Analizlerde kullanılan örüntü kümeleri, kötü niyetli aktiviteleri barındıran ağ paketlerinin imzalarını içeren Snort [49] kurallarından elde edilmiştir. Farklı sayıda örüntü içeren veri kümeleri içerisindeki ağ paketlerinin ortalama uzunlukları Tablo 3'te gösterilmiştir. Bu kümeler içerisindeki örüntülerin uzunlukları 10 ila 171 bayt arasında değişmektedir. Örüntü kümesi oluşturulduktan sonraki adım, bu imzaları yük kısmında barındıran ağ paketlerini üretmek ve bu ağ paketlerinden bir veri kümesi elde etmektir. Bu veri kümesi içerisindeki her ağ paketi, 256 bayt uzunluğundadır ve rastgele seçilmiş bir örüntünün rastgele bir paket yükü konumuna eklenmesiyle üretilmiştir.

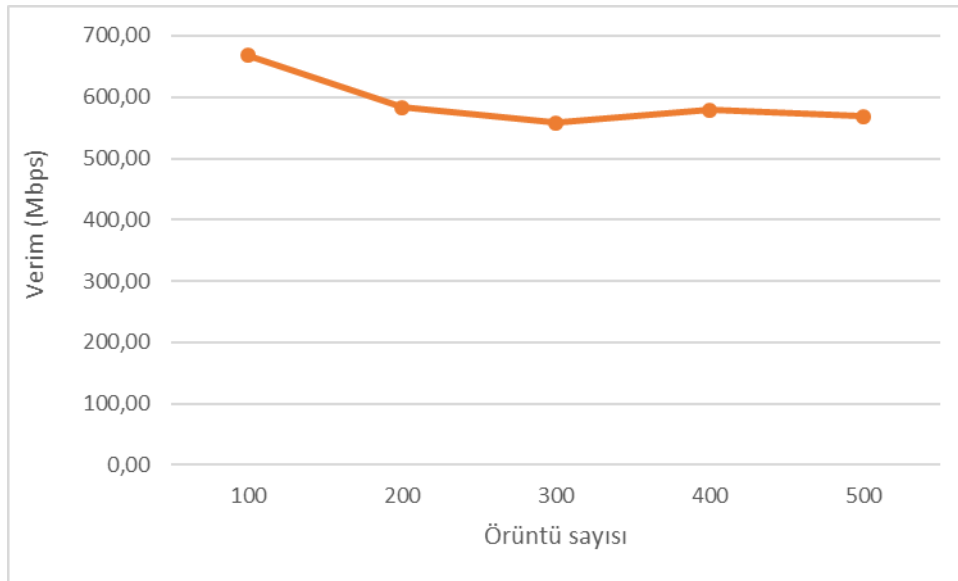
Tablo 2. Donanım yapılandırması

İşlemci	Intel Xeon E5-2640 v4
Bellek	32 GB DDR4-2666 4Rx4 ECC RDIMM

Tablo 3. Paket istatistikleri

Toplam paket sayısı	Ortalama örüntü uzunluğu
100	30,42
200	29,44
300	29,91
400	29,98
500	30,70

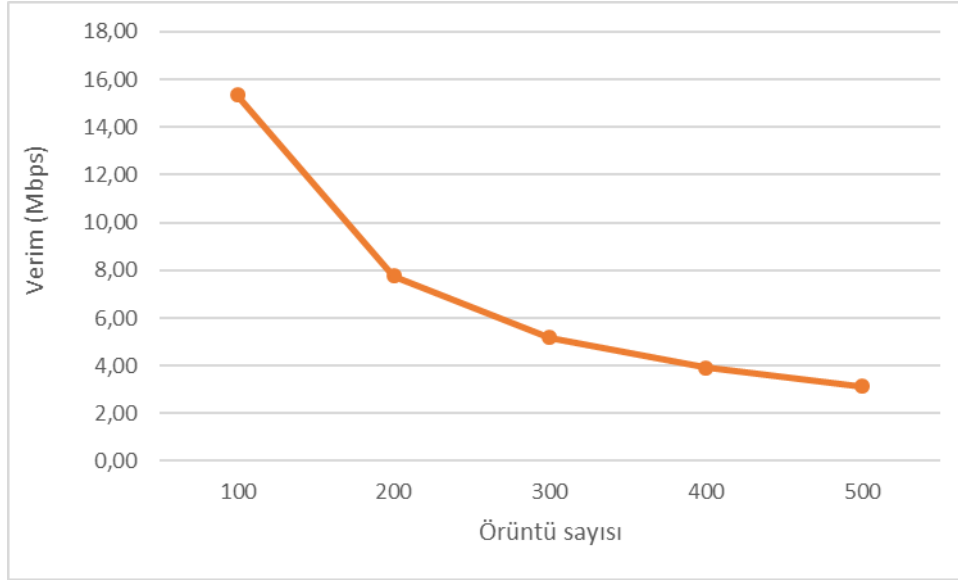
AC algoritması üzerinde gerçekleştirilen testler sonucunda elde edilen verim grafiği, Şekil 5'te verilmiştir. AC algoritmasının örüntü eşleştirme performansı incelendiğinde örüntü sayısının verim üzerindeki etkisinin oldukça kısıtlı olduğu görülmüştür. Bu etki, algoritmanın ihtiyaç duyduğu bellek alanı ve sahip olduğu erişim gecikmeleri ile ilişkilidir. İncelenecek örüntü sayısındaki artış, ihtiyaç duyulan bellek alanını da artırır. Dolayısıyla AC algoritmasının örüntü eşleştirme sürecinde uygulanması, önbellek alanını daha büyük durum geçiş tabloları için kullanışsız hale getirir. Bu durumun bir sonucu olarak büyük örüntü veri kümeleri için eşleştirme hızı düşer. CPU önbellekleri, ana bellek kaynaklarına kıyasla daha kısa erişim gecikmesi sağlar. Dolayısıyla küçük veri kümeleri için bu önbelleklere erişimin artması, AC algoritmasının daha yüksek seviyede verim elde etmesini sağlar. Bu durum, verimin düşmesinin nedenini açıklar.



Şekil 5. AC algoritması verim grafiği

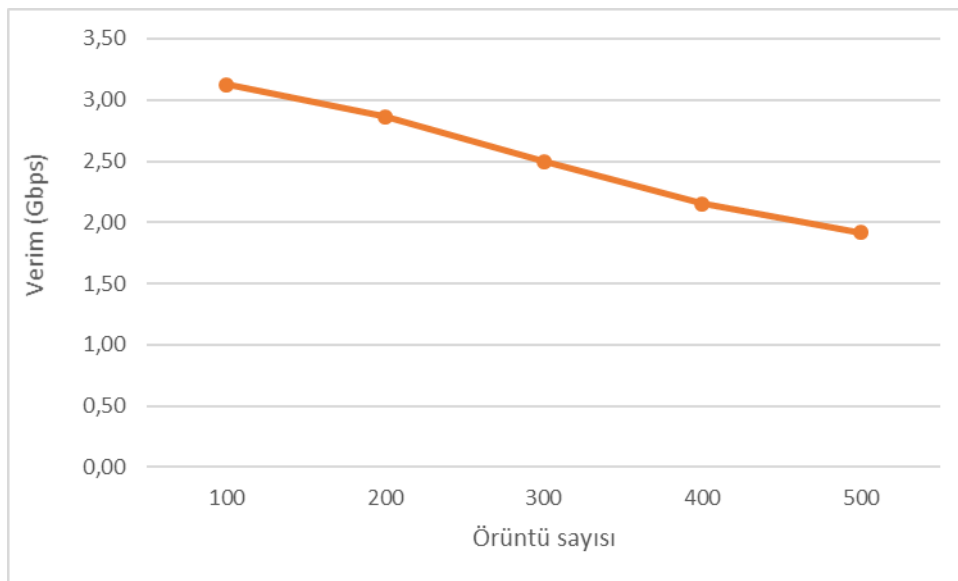
RK algoritması üzerinde gerçekleştirilen testler sonucunda elde edilen verim grafiği, Şekil 6'da gösterilmiştir. RK algoritmasının örüntü eşleştirme performansı incelendiğinde örüntü sayısının verim

üzerindeki etkisinin çok yüksek olduğu görülmüştür. Bu algoritma, paket yükünün içeriğini karakterler üzerinden örüntü ile karşılaştırmak yerine hash değerlerinin bir karşılaştırmasını yapar. Dolayısıyla m uzunluğuna sahip bir örüntü, ağ paketi üzerinde kaydırılırken hem örüntünün hem de ağ paketinin m uzunluğundaki alt dizisinin hash değerine ihtiyaç duyulur. Bu durumun bir sonucu olarak incelenecek örüntü sayısındaki artış, RK algoritması için ek hash hesaplamaları gerektirir ve büyük örüntü veri kümeleri için eşleştirme hızı düşer.



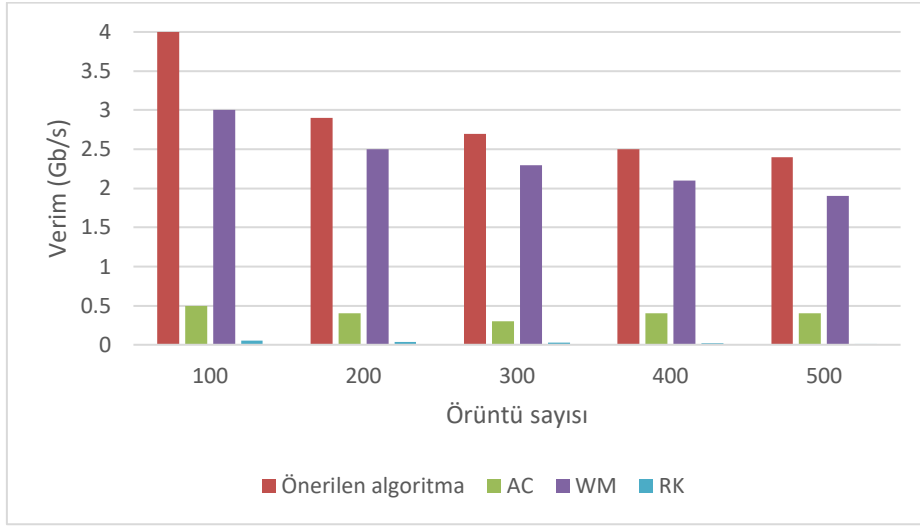
Şekil 6. RK algoritması verim grafiği

WM algoritması üzerinde gerçekleştirilen testler sonucunda elde edilen verim grafiği Şekil 7'de gösterilmiştir. WM algoritmasının örüntü eşleştirme performansı incelendiğinde örüntü sayısının verim üzerindeki etkisinin yüksek olduğu görülmüştür. İlk m baytının son k elemanı için aynı hash hesaplamasına sahip örüntüler, SHIFT tablosunda aynı adreste bulunur. İncelenecek örüntü sayısındaki artış, SHIFT tablosunda aynı adres alanında bulunan örüntü sayısını da artırır. Algoritma, bir eşleşme tespit edebilmek için SHIFT tablosunda aynı adres alanında bulunan ve ilk l eleman için aynı hash hesaplamasına sahip örüntüleri sırayla ağ paketi ile karşılaştırmak zorundadır. Bu durumun bir sonucu olarak büyük örüntü veri kümeleri için eşleştirme hızı düşer.



Şekil 7. WM algoritması verim grafiği

Önerilen algoritma üzerinde gerçekleştirilen testler sonucunda elde edilen verim grafiği Şekil 8’de gösterilmiştir. İlk m baytının son k elemanı için aynı hash hesaplamasına sahip örüntüler, OFSET tablosunda aynı adreste bulunur. İncelenecek örüntü sayısındaki artış, OFSET tablosundaki aynı adres alanında bulunan örüntü sayısını da artırır. Bu durumun eşleştirme performansı üzerindeki olumsuz etkisini azaltmak amacıyla arama işlemi doğrusal olarak değil, bir hash tablosu üzerinden gerçekleştirilir. Örüntüler, eşsiz oldukları minimum uzunluklara göre hash tablosuna yerleştirilir. Daha sonra, bu uzunluk kullanılarak aranan örüntüye hash tablosundan direkt erişim sağlanır. Ayrıca, örüntü eşleştirme tablosunun yapısı sayesinde bir örüntünün eşleştirilmesi sırasında diğer örüntüler için de bir eşleşme aranır. Bu durum, algoritmaya birden fazla örüntüyü aynı anda işleme özelliği kazandırır ve yeni örüntünün eşleştirilme süreci, tespit edilen örüntüden sonraki baytlar üzerinde gerçekleştirilir. Bu yaklaşımın temel amacı, mümkün olduğunca fazla sayıdaki paket yükü karakterini atlayarak eşleştirme işlemini hızlandırmaktır.



Şekil 8. AC, WM, RK algoritmalarının ve bu çalışmada önerilen algoritmanın performanslarının karşılaştırılması

Farklı sayıda örüntü içeren veri kümeleri kullanılarak AC, WM, RK algoritmaları ve bu çalışmada önerilen algoritma üzerinde gerçekleştirilen testler sonucunda elde edilen verimlerin karşılaştırılmasını sunan grafik, Şekil 8’de gösterilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi, en düşük performansa sahip algoritma RK algoritmasıdır. Bu algoritma, hem örüntü için hem de paket yükünün örüntü ile aynı uzunluklu alt dizgileri için hash hesaplamaları gerçekleştirir ve her örüntü için bu işlemi tekrar eder. Hesaplama karmaşıklığından kaynaklanan ek yükler, örüntü sayısının verim üzerindeki etkisinin çok yüksek olmasına sebep olur. En düşük performansa sahip ikinci algoritma AC’dir. Bu algoritma, blok tabanlı algoritmaların aksine her CPU döngüsünde bir paket yükü baytı işler. Bu durum algoritmanın performansı üzerinde olumsuz etki gösterir. Blok tabanlı WM algoritması ise RK ve AC’den daha yüksek bir performansa sahiptir. Bu algoritma, SHIFT tablosunda aynı adres alanında bulunan ve ilk l elemanı için aynı hash hesaplamasına sahip örüntüler üzerinde doğrusal arama gerçekleştirir. Ancak önerilen algoritmada, aranan örüntüye hash tablosundan direkt erişim sağlanır. Ayrıca, WM algoritmasında bir örüntü tespit işlemi gerçekleştikten sonra paket yükü üzerinde kaydırma mesafesi her durumda 1’dir. Önerilen algoritma için başarılı bir eşleştirme gerçekleşirse kaydırma mesafesi en iyi durumda, tespit edilen örüntü uzunluğu+ $(m-k+1)$ kadar olurken en kötü durumda 1 olur. Dolayısıyla önerilen algoritmanın eşleştirme performansı, kaydırma mesafesi ile doğru orantılı olarak artar.

V. SONUÇ

Bu çalışmada, tek seferde taranan bayt sayısını artırarak DPI’nın eşleştirme sürecini hızlandırmayı amaçlayan ve birden fazla örüntüyü aynı anda işleyebilen hibrit yapıya sahip örüntü eşleştirme algoritması önerilmiştir. Farklı sayıda örüntü içeren veri setleri kullanılarak AC, WM, RK algoritmaları ve önerilen

algoritma üzerinde örüntü eşleştirme testleri gerçekleştirilmiş ve bu algoritmaların performansları karşılaştırılmıştır. En düşük performansa sahip RK algoritmasında hesaplama karmaşıklığından kaynaklanan ek yükler, örüntü sayısının verim üzerindeki etkisinin yüksek olmasına sebep olmuştur. Her CPU döngüsünde bir paket yükü baytı işleyen otomat tabanlı AC algoritması, en düşük performansa sahip ikinci algoritma olurken blok tabanlı WM algoritması RK ve AC algoritmalarından daha yüksek bir performans göstermiştir. WM algoritması, ilk m karakteri aynı olan örüntüler üzerinde doğrusal arama gerçekleştirirken önerilen algoritmada aranan örüntüye hash tablosundan direkt erişim sağlanır. Bu hash tablosunun kullanılmasıyla bütün karakterleri tek tek kontrol eden doğrusal aramaya kıyasla daha iyi bir sonucun elde edilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca, WM algoritmasında bir örüntü tespiti gerçekleştirildikten sonra, paket yükü üzerindeki kaydırma mesafesi her durumda 1'dir. Öte yandan, önerilen algoritmadaki kaydırma mesafesi, örüntü içerisinde başka bir örüntünün tamamının ya da bir kısmının mevcut olup olmamasına göre belirlenir. Böylelikle önerilen algoritmanın eşleştirme performansı, kaydırma mesafesi ile doğru orantılı bir biçimde artar. Sonuç olarak, DPI eşleştirme sürecindeki en yüksek performansa sahip algoritmanın bu çalışmada önerilen algoritma olduğu saptanmıştır.

V. KAYNAKLAR

- [1] M. Abbasi, A. Shahraki, and A. Taherkordi, "Deep learning for network traffic monitoring and analysis (NTMA): A survey," *Computer Communications*, vol. 170, pp. 19-41, 2021.
- [2] G. A. Pimenta Rodrigues, R. de Oliveira Albuquerque, F. E. Gomes de Deus, R. T. de Sousa Jr, G. A. de Oliveira Júnior, L. J. Garcia Villalba, and T. H. Kim, "Cybersecurity and network forensics: Analysis of malicious traffic towards a honeynet with deep packet inspection," *Applied Sciences*, vol. 7, no. 10, pp. 1082, 2017.
- [3] C. Xu, S. Chen, J. Su, S. M. Yiu, and L. C. Hui, "A survey on regular expression matching for deep packet inspection: Applications, algorithms, and hardware platforms," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 18, no. 4, pp. 2991-3029, 2016.
- [4] H. Tahaei, F. Afifi, A. Asemi, F. Zaki, and N. B. Anuar, "The rise of traffic classification in IoT networks: A survey," *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 154, pp. 102538, 2020.
- [5] C. Parsons, *Deep Packet Inspection in Perspective: Tracing its lineage and surveillance potentials*, Kingston, Canada: Surveillance Studies Centre, Queen's University, 2008.
- [6] X. de Carné de Carnavalet, and P. C. van Oorschot, "A survey and analysis of TLS interception mechanisms and motivations," *arXiv e-prints*, 2020.
- [7] S. Canard, A. Diop, N. Kheir, M. Paindavoine, and M. Sabt, "BlindIDS: Market-compliant and privacy-friendly intrusion detection system over encrypted traffic," *In Proceedings of the 2017 ACM on Asia Conference on Computer and Communications Security*, pp. 561-574, 2017.
- [8] A. D'Alconzo, I. Drago, A. Morichetta, M. Mellia, and P. Casas, (2019). "A survey on big data for network traffic monitoring and analysis," *IEEE Transactions on Network and Service Management*, vol. 16, no. 3, pp. 800-813, 2019.
- [9] R. Topolski, F. Press, and P. Knowledge, *NebuAd and partner ISPs: Wiretapping, forgery and browser hijacking*, Washington DC: FreePress, 2008.
- [10] M. R. Shahid, G. Blanc, Z. Zhang, and H. Debar, "IoT devices recognition through network traffic analysis," *presented at 2018 IEEE international conference on big data*, pp. 5187-5192, IEEE, 2018.

- [11] M. Finsterbusch, C. Richter, E. Rocha, J. A. Muller, and K. Hanssgen, "A survey of payload-based traffic classification approaches," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 16, no. 2, pp. 1135-1156, 2013.
- [12] L. Deri, M. Martinelli, T. Bujlow, and A. Cardigliano, "ndpi: Open-source high-speed deep packet inspection," *presented at 2014 International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC)*, pp. 617-622, IEEE, 2014.
- [13] T. T. Nguyen, and G. Armitage, "A survey of techniques for internet traffic classification using machine learning," *IEEE communications surveys & tutorials*, vol. 10, no. 4, pp. 56-76, 2008.
- [14] B. H. Bloom, "Space/time trade-offs in hash coding with allowable errors" *Communications of the ACM*, vol. 13, no. 7, pp. 422-426, 1970.
- [15] D. E. Knuth, *The art of computer programming, sorting and searching*, vol. 3, Addison Wesley Longman Publishing Co. Inc., Redwood City, CA, USA, 1998.
- [16] B. Fan, D. G. Andersen, M. Kaminsky, and M. D. Mitzenmacher, "Cuckoo filter: Practically better than bloom," *presented at Proceedings of the 10th ACM International on Conference on emerging Networking Experiments and Technologies*, pp. 75-88, 2014.
- [17] M. Al-hisnawi, M. Ahmadi, "QCF for deep packet inspection," *IET Networks*, vol. 7, no. 5, pp. 346-352, 2018.
- [18] B. Choi, J. Chae, M. Jamshed, K. Park, and D. Han, "{DFC}: Accelerating string pattern matching for network applications," *presented at 13th USENIX Symposium on Networked Systems Design and Implementation (NSDI 16)*, pp. 551-565, 2016.
- [19] R. M. Karp, and M. O. Rabin, "Efficient randomized pattern-matching algorithms," *IBM journal of research and development*, 31(2), 249-260, 1987.
- [20] R. S. Boyer, and J. S. Moore, "A fast string searching algorithm," *Communications of the ACM*, vol. 20, no. 10, pp. 762-772, 1977.
- [21] S. Wu, and U. Manber, *U. A fast algorithm for multi-pattern searching Tucson, AZ: University of Arizona, Department of Computer Science*, 1994, pp. 1-11.
- [22] D. Luchaup, L. De Carli, S. Jha, and E. Bach, "Deep packet inspection with DFA-trees and parametrized language overapproximation," *presented at IEEE INFOCOM 2014-IEEE Conference on Computer Communications*, pp. 531-539, IEEE, 2014.
- [23] M. Češka, V. Havlena, L. Holík, O. Lengál, and T. Vojnar, "Approximate reduction of finite automata for high-speed network intrusion detection," *presented at International Journal on Software Tools for Technology Transfer*, vol. 22, no. 5, pp. 523-539, 2020.
- [24] M. Ceška, V. Havlena, L. Holík, J. Korenek, O. Lengál, D. Matoušek, j. Matoušek, J. Semric, and T. Vojnar, "Deep packet inspection in FPGAs via approximate nondeterministic automata," *presented at 2019 IEEE 27th Annual International Symposium on Field-Programmable Custom Computing Machines (FCCM)*, pp. 109-117, IEEE, 2019.
- [25] M. Roesch, "Snort: Lightweight intrusion detection for networks," *In Lisa*, vol. 99, no. 1, pp. 229-238, 1991.
- [26] R. Sommer, "Bro: An open source network intrusion detection system," *Security, E-learning, E-Services, 17. DFN-Arbeitstagung über Kommunikationsnetze*, 2003.

- [27] Cisco. (2022, june 6). *Cisco IOS Intrusion Prevention System (IPS)* [Online]. Available: <https://www.cisco.com/c/en/us/products/security/ios-intrusion-prevention-system-ips/index.html>
- [28] C. Yin, H. Wang, X. Yin, R. Sun, J. Wang, "Improved deep packet inspection in data stream detection," *The Journal of Supercomputing*, vol. 75, no. 8, pp. 4295-4308, 2019.
- [29] R. Sun, L. Shi, C. Yin, J. Wang, "An improved method in deep packet inspection based on regular expression," *The Journal of Supercomputing*, vol. 75, no. 6, pp. 3317-3333, 2019.
- [30] S. Nagaraju, B. Shanmugham, and K. Baskaran, *High throughput token driven FSM based regex pattern matching for network intrusion detection system*, Materials Today: Proceedings, vol. 47, pp. 139-143, 2021.
- [31] X. Yu, W. C. Feng, D. Yao, and M. Becchi, "O3FA: A scalable finite automata-based pattern-matching engine for out-of-order deep packet inspection," *presented at 2016 ACM/IEEE Symposium on Architectures for Networking and Communications Systems (ANCS)*, pp. 1-11, IEEE.
- [32] A. V. Aho, and M. J. Corasick, "Efficient string matching: an aid to bibliographic search," *Communications of the ACM*, vol. 18, no. 6, pp. 333-340, 1975.
- [33] M. Norton, "Optimizing pattern matching for intrusion detection," Sourcefire, Inc., Columbia, MD, 2004.
- [34] N. Tuck, T. Sherwood, B. Calder, and G. Varghese, "Deterministic memory-efficient string matching algorithms for intrusion detection," *In IEEE INFOCOM 2004*, vol. 4, pp. 2628-2639, IEEE.
- [35] L. Tan, T. Sherwood, "A high throughput string matching architecture for intrusion detection and prevention," *presented at 32nd International Symposium on Computer Architecture (ISCA'05)*, pp. 112-122, IEEE, 2005.
- [36] T. H. Lee, and N. L. Huang, "A pattern-matching scheme with high throughput performance and low memory requirement," *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 21, no. 4, pp. 1104-1116, 2012.
- [37] H. Kim, "A scalable architecture for reducing power consumption in pipelined deep packet inspection system", *Microelectronics Journal*, vol. 46, no. 10, pp. 950-955, 2015.
- [38] R. Padmashani, S. Sathyadevan, and D. Dath, "BSnort IPS better snort intrusion detection/prevention system," *presented at 2012 12th International Conference on Intelligent Systems Design and Applications (ISDA)*, pp. 46-51, IEEE, 2012.
- [39] S. Gupta, "Efficient malicious domain detection using word segmentation and BM pattern matching," *presented at 2016 International Conference on Recent Advances and Innovations in Engineering (ICRAIE)*, pp. 1-6, IEEE, 2016.
- [40] T. F. A. Rahman, A. G. Buja, K. Abd, and F. M. Ali, "SQL Injection Attack Scanner Using Boyer-Moore String Matching Algorithm," *J. Comput.*, vol. 12, no. 2, pp. 183-189, 2017.
- [41] Y. Otoum, and A. Nayak, "As-ids: Anomaly and signature based ids for the internet of things," *Journal of Network and Systems Management*, vol. 29, no. 3, pp. 1-26, 2021.
- [42] Y. Wang, and H. Kobayashi, "An improved technology for content matching intrusion detection system," *presented at 2006 International Conference on Software in Telecommunications and Computer Networks*, pp. 238-241, IEEE, 2006.



- [43] A. A. Hasan, and N. A. A. Rashid, "Hash-Boyer-Moore-Horspool string matching algorithm for intrusion detection system," *presented at In International Conference on Computer Networks and Communication Systems*, vol. 35, pp. 12-16, 2012.
- [44] S. Sharma, and M. Dixit, "Single Digit Hash Boyer Moore Horspool Pattern Matching Algorithm for Intrusion Detection System," *presented at International Journal of Future Generation Communication and Networking*, vol. 9, no. 9, 169-180, 2016.
- [45] Q. Zheng, "An improved multiple patterns matching algorithm for intrusion detection," *presented at 2010 IEEE International Conference on Intelligent Computing and Intelligent Systems*, vol. 2, pp. 124-127, IEEE, 2010.
- [46] C. Ke-Qin, D. Lin, and W. Hui, "An improved multi-pattern matching algorithms in intrusion detection," *presented at 2013 Fifth International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation*, pp. 203-205, IEEE, 2013.
- [47] M. Aldwairi, K. Al-Khamaiseh, F. Alharbi, and B. Shah, "Bloom filters optimized Wu-Manber for intrusion detection," *Journal of Digital Forensics, Security and Law*, vol. 11, no. 4, 2016.
- [48] B. Zhang, X. Chen, Pan, and Z. Wu, "High concurrence Wu-Manber multiple patterns matching algorithm," *presented at the 2009 International Symposium on Information Processing (ISIP 2009)*, pp. 404, 2009.
- [49] Cisco. (2022, june 6). SNORT [Online]. Available: <https://snort.org/>



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Tarihi Yapılarda Üst Örtülerin Çelik Malzeme ile Tamamlanmasının Yapısal Açıdan İncelenmesi

 Murat ÇAVUŞ^{a,*},  Metin ARSLAN^b

^a İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Tokat, TÜRKİYE

^b Gayrimenkul Geliştirme ve Yönetimi Anabilim Dalı, Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Ankara Üniversitesi, Ankara, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: murat.cavus@gop.edu.tr
DOI:10.29130/dubited.1180533

ÖZ

Bu çalışmada tarihi Tokat Deveci Hanı'nın hasar görmüş tonozu için geleneksel malzeme dışında çelik konstrüksiyon ile sağlamlaştırma önerisi hazırlanmıştır. Yapı sonlu elemanlar yöntemiyle SAP2000 programı kullanılarak modellenerek statik ve dinamik açıdan yapısal analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizlerde literatürde verilen malzeme özellikleri ve deprem yönetmeliğinin ilgili formülleri kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar deformasyon ve gerilme haritaları üzerinden tartışılmıştır. Bu veriler dikkate alındığında, benzer özelliklere sahip yapılar için geçici ya da kalıcı olarak çelik ile sağlamlaştırma-tamamlama uygulamalarının mevcut yapının sismik performansına olumlu yönde etkisinin olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Restorasyon, Tonoz, Çağdaş Malzeme, Yapısal Analiz

Structural Investigation of the Completion of the Upper Covers with Steel Material in Historical Buildings

ABSTRACT

In this study, a reinforcement proposal was prepared for the damaged vault of the historic Tokat Deveci Inn with steel construction instead of traditional materials. The finite element method modeled the structure using the SAP2000 program, and structural analyses were carried out statically and dynamically. The material properties in the literature and the relevant formulas of the earthquake code were used in the analysis. The results obtained are discussed through deformation and stress maps. Considering these data, it has been seen that temporary or permanent steel construction-completion applications for structures with similar properties positively affect the existing structure's seismic performance.

Keywords: Restoration, Vault, Contemporary Material, Structural Analysis

I. GİRİŞ

İnsanlık ilk çağlardan günümüze kadar barınma ihtiyaçlarını karşılamak için farklı türde yapılar üretmişlerdir. Bu yapılar, malzeme ve yapım tekniği alanındaki gelişime paralel olarak çeşitlenmiş ve daha sofistike hale gelmiştir [1],[2]. Çoğunlukla kagir malzemeyle, yığma yapım tekniğine göre inşa edilen bu yapıların bir kısmı kullanılan malzemenin mekanik özelliklerine ve yapım tekniğine bağlı olarak yüzlerce yıl ayakta kalarak günümüze kadar ulaşmıştır. Tarihi yapıların hasar görmelerinin en önemli nedenleri olarak malzemelerin mekanik dayanımlarının azalması ya da doğal afetlerin yol açtığı yıkımlar olarak kayıtlara geçmiştir [3],[4]. Anadolu coğrafyasında bu yıkımların en önemli sebebi diri fay hatlarının ürettiği farklı büyüklükteki depremlerdir. Tarihi yapıların depreme karşı güçlendirilebilmesi bu yapıların deprem altındaki davranışlarının tahmin edilebilmesiyle doğru orantılıdır [5]. Günümüze kadar ulaşan tarihi yapıların korunabilmesi için deprem analizleri yapılmaktadır. Bu analizler daha çok yapının davranışını belirleyerek gerilme yığılmalarının yoğunlaştığı bölgelere odaklanmaktadır [6]. Tarihi yapıların sismik analizi, çelik ya da betonarme yapım tekniğine göre inşa edilmiş yapılarınkinden farklı yöntemler gerektirir. Bu tür yapıların analizinde karşılaşılan en büyük problem yapı elaman kesitlerinin değişkenliği ve tam bir kompozit özellik göstermemeleridir. Bununla birlikte inşa aşamasında kullanılan birleşim detayları ve kalın kesitli duvarlarda iç kısım özelliklerinin tespit edilememesi başka bir sorun olarak ortaya çıkmaktadır. Bu yüzden analiz yönteminin ve sonuçlarının değerlendirilmesi benzer binaların yapısal davranışlarında gözlenen deneyimleri ön plana çıkarmaktadır. Tarihi yığma yapıların performans özelliklerinin belirlenmesi için bazı araştırmacıların yaptıkları çalışmalar şu şekilde özetlenebilir.

Cardoso vd. [7] tarihi yapıların sismik performansını tahmin etmek için doğrusal olmayan analiz yöntemlerini kullanmışlardır. Şeker vd. [8] Kara Mustafa Paşa Camisi'nin statik ve dinamik analizlerini gerçekleştirmek için yapının sonlu eleman modelini oluşturmuşlar, yaptıkları analizlerle Cami'nin deprem altındaki davranışını belirlemeye çalışmışlardır. Durukal vd. [9] Ayasofya ve Sultanahmet Cami'lerinin deprem performanslarını belirlemek için 1999 Kocaeli ve Düzce deprem kayıtlarını kullanarak zaman tanım alanında hesap yöntemiyle dinamik analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Casolo ve Sanjust [10] Maniace Kalesi hakkında yaptıkları çalışmada hem geleneksel sonlu eleman modellerini hem de mekanik bir hesaplama modelini kullanarak yapının sismik özelliklerini belirlemişlerdir. Doğangün ve Sezen [11] 1999 Kocaeli ve Düzce depremlerinden sonra inceledikleri beş tarihi yığma yapıda sismik hasar ve kırılgenlik incelemesi yapmışlardır. Atamturktur vd. [12] Beverley Manastırının dinamik karakteristiklerini belirlemek için sonlu eleman modelinden yola çıkarak, yapıda oluşması muhtemel hasarları belirlemişlerdir. Köseoğlu ve Canbay [13] Cenabı Ahmet Paşa Camisi'nin sonlu eleman modelini oluşturmuşlar ve çevresel yükler altında yapının davranışı belirlenmeye çalışmışlardır. Günaydın vd. [14] Orta Anadolu'da 19. yüzyıldan kalma önemli bir kervansaray olan Veli Paşa Han Binası'nın restorasyon öncesi yapısal davranışını araştırmışlardır. Bayraktar vd. [15] tarihi yığma minareler üzerinde deneysel ve teorik modal analizler gerçekleştirmiş ve analiz sonuçları deneysel verilerle karşılaştırılmaya çalışılmıştır. Rovero ve Tonietti [16] Halep bölgesinde bulunan geleneksel yığma yapıların kubbelerinin sonlu eleman modellerini kabuk elemanlar kullanarak modellemişler ve analiz sonuçları ile gerçek durumu tartışmışlardır. Ademovic vd. [17] yığma bir binanın sismik performansını farklı analiz türleri kullanarak araştırmışlardır. Çalık vd. [18] yaptıkları çalışmada tarihi Dürbinar Mahallesi Cami'nin restorasyon öncesi ve sonrasındaki durumunu sonlu elemanlar yöntemiyle modellemişler, iki durum arasındaki farkı incelemişlerdir. Çakır vd. [19] 2011 Van depreminde hasar gören tarihi binaların performansını değerlendirmek üzere yaptıkları çalışmalarla bu yapıların mevcut durum analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Akan [20] çalışmasında tarihi Ahi Evren Camisi'nin sonlu eleman modelini oluşturmuş literatürden elde ettiği malzeme özellikleri ile Deprem yönetmeliğinden elde ettiği bağıntıları kullanarak malzeme mekanik özelliklerini belirlemiştir. Daha sonra elde ettiği gerilme değerleri arasında karşılaştırma yapmıştır. Brandonisio vd. [21] 2009 L'Aquila depremi sonrasında bir kilisenin performansını belirlemek için itme analizini kullanmışlardır. Mustafaraj ve Yardım [22] yaptıkları çalışmada mevcut durumda hasar ve çatlaklar barındıran tarihi Naziresha Camisi'nin sonlu eleman modelini oluşturarak deprem analizi gerçekleştirmişlerdir. Kazaz ve Kocaman [23] yaptıkları çalışmada malzeme özelliklerini belirlemek için literatürde yer alan modelleri kullanmışlar ve elde ettikleri değerlerle Erzurum Lala Paşa caminin sismik analizini yapmışlardır.

Bu çalışmada bir bölümü depremlerde hasar görmüş Tokat Deveci hanı incelenmiştir. Bu çalışmanın literatürde yer alan diğer çalışmalardan farkı, aynı yapının bir kısmının çelikle diğer kısmının ise özgün malzeme kullanılarak tamamlanmasıyla oluşturulan yeni sistemin deprem performansına odaklanmasıdır. Bu amaçla tarihi Tokat Deveci Hanının tamamen çökmüş olan develik kısmındaki tonozların üst kısmının çelikle sağlamlaştırılması ve geri kalan kısmın özgün malzemeyle tamamlanması senaryosu hazırlanmıştır. Daha sonra bu yeni durumun yapısal performansını belirlenmiş ve deprem davranışı incelenmiştir. Yapıya uygun sonlu eleman modeli oluşturulmuş ve yapının statik ve dinamik analizleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar deformasyon ve gerilme haritaları kullanılarak tartışılmıştır.

II. İNCELENEN YAPI ve SAYISAL MODELLEME **PARAMETRELERİ**

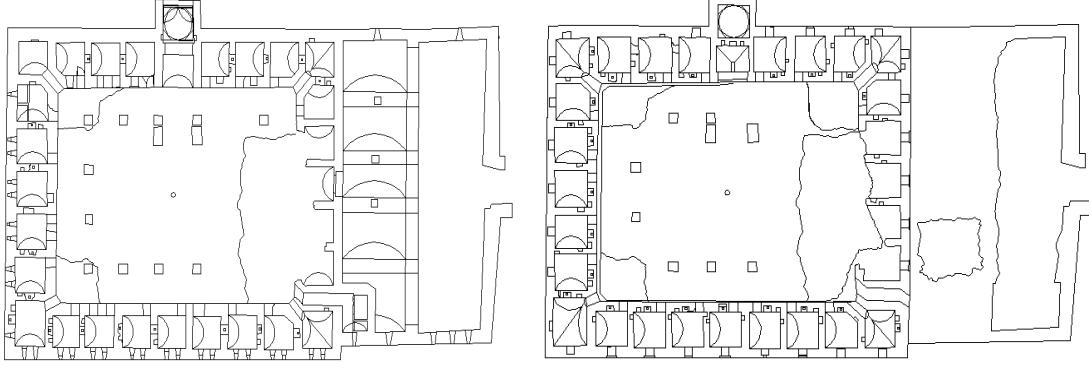
A. TOKAT DEVECİ HANI

Osmanlı dönemi yapılarından olan Tokat Deveci Hanı, Tokat il merkezindedir. Yapının XV-XVI yüzyıla ait olduğu bilinmekle beraber kimin tarafından yaptırıldığı tam olarak bilinmemektedir. Hanın adı Eski Eserler ve Müzeler Genel Müdürlüğü Doğal ve Kültürel Varlıkları Koruma envanterinde Deveci Hanı olarak geçmektedir [24]. 2007 yılında çekilen resimlerde geçirdiği depremler sonucunda iç revakların tamamen yıkıldığı, develik kısmı tonozlarının ise çöktüğü görülmektedir (Şekil 1). Giriş bölümünün üzeri kubbeyle örtülmüş olan yapı açık dikdörtgen bir avluya sahiptir (Şekil 2). İç avlunun etrafı iki katlı revaklarla çevrilmiştir. İç avludan tonozlu develik kısmına basık bir tonozla geçilmektedir [24].



Şekil 1. Deveci Hanının 2007 yılı avlu ve develik bölümü görünüşü (Tokat Vakıflar Bölge Müdürlüğü Arşivi).

Doğu-batı yönünde yaklaşık 60 m ve kuzey-güney yönünde ise yaklaşık 35 m uzunluğa sahiptir (Şekil 2). Yapının kapalı mekanlarında üst örtü geçiş elemanı olarak genellikle tonoz kullanılmıştır. Yapılan incelemelerde yıkılmış olan revaklarda ve giriş kısmında kubbe kullanıldığı düşünülmektedir [24]. Yapıda 4 farklı duvar kalınlığı kullanılmış olup yerinde yapılan ölçümlerde kalınlıklar şu şekilde tespit edilmiştir. Odalar arası bölme duvarlar 80-90 cm, zemin kat beden duvarları 135-140 cm, iç avluya bakan duvarlar 130-135 cm, üst kat avluya ve dışa bakan duvarlar ise 110-120 cm aralığında ölçülmüştür. Üst katlara çıkışta giriş kısmının sağında ve solunda merdiven olduğu düşünülmektedir [24].



Şekil 2. Zemin ve 1. kat plan krokisi 2012 yılı (Tokat Vakıflar Bölge Müdürlüğü Arşivi).

Yapının doğu cephesinde develerin bağlandığı ve ahır olarak kullanılan kısım vardır. Bu mekâna içeriden ve dışarıdan giriş mevcuttur. Ahır iki mekandan meydana getirilmiş olup üzeri kaburgalı tonoz olarak adlandırılan sistemle örtülmüştür. Bu bölümde tonoz açıklıkları yaklaşık 9 metredir. İki bölüm birbirinden kemerli ve sütunlu duvarla ayrılmıştır. Tüm yapıda duvarların örülmesinde kesme taş ve moloz taş kullanılmıştır. Tonozlar ve kubbelerin teşkilinde ise harman tuğlası kullanılmıştır.

B. SAYISAL MODELLEME PARAMETRELERİ

Tarihi binaların modellenmesi ve yapısal analizleri günümüzde inşa edilen betonarme, çelik ya da ahşap yapıların modelleme analiz yöntemlerinden farklılar içerir [25-26]. Özellikle modelleme aşamasındaki bazı belirsizlikler kesin sonuç alınmasındaki en önemli engeldir. Bu belirsizlikler 3 maddede toplanabilir. Bunlardan birincisi, malzemelerin mekanik özelliklerinin tam olarak saptanamaması ve kompozit bir yapı oluşturmamaları nedeniyle hesaplarda kesin bir değer yerine yaklaşık değerlerin kullanılmasıdır. İkincisi, geniş kesitlere sahip yapı elemanlarının içyapılarının tam olarak bilinmemesi nedeniyle modellemelerde genellikle duvar yüzeyi ile iç yüzeyinin benzer kabul edilmesidir. Son olarak yapı elemanlarının geometri ve ölçü özelliklerinin her noktada farklılık göstermesi ve bunların modele tam yansıtılmaması olarak verilebilir. Bu belirsizlikler ortaya çıkan sonuçların yorumlanmasında bazı tecrübelerden faydalanmayı gerektirmektedir.

Tokat Deveci Hanı'nın sonlu elemanlar modeli oluşturulurken, bu hususlar dikkate alınmıştır. Son derece karmaşık geometrik yapıya sahip yapının özellikle revak yapı birleşimleri mümkün olduğunca hassas bir şekilde tanımlanmıştır. Yapının analiz modeli için yapılan matematiksel modelleme sırasında aşağıda belirtilen kabuller yapılmıştır:

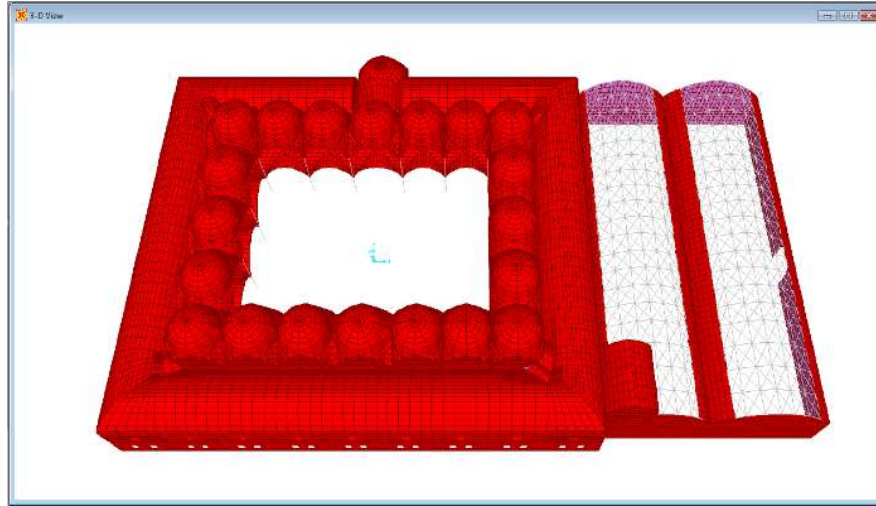
- Yapıda kullanılan taş ve tuğlanın harç ile birlikte tek bir malzeme özelliği gösterdiği varsayılmış doğrusal elastik özelliklere sahip olduğu ve modelleme yaklaşımı olarak da makro modelleme tekniği kullanılmıştır.
- Çoğu zaman tarihi yapı elemanlarından malzeme örneği alınmadığından malzeme özellikleri literatürde benzer yapılar için yapılan çalışmalarda elde edilen değerler ve önerilen bağıntılardan faydalanılarak üretilmiştir.
- Kalın kesitlere sahip yapı elemanlarının içyapıları tam olarak bilinemediğinden duvar dış kısımlarında kullanılan malzemelerin kalınlık boyunca devam ettiği varsayımı yapılmıştır.
- Yapının çelik ile örtülen tonoz bölümünün sabit yükleri hesaplanırken, ana taşıyıcı kendi ağırlıklarına ek olarak bölgenin kar yükü de dikkate alınmıştır.
- Modelde duvarların temelle bağlantısı ankastre olarak alınmıştır.
- Yapıya yer hareketinin yol açtığı zorlamaların tespiti için sabit yükler ve deprem spektrumu ile tanımlanan EQx ve EQy şeklinde iki ayrı yüklenme durumu uygulanmıştır.
- Sonuçların kolaylıkla değerlendirilebilmesi için, G + EQx ve G + EQy olmak üzere iki ayrı yük kombinasyonu tanımlanmıştır. Modal analizde ilk 20 mod dikkate alınmıştır.

Yapının modellenmesinde duvarlar, kubbeler ve tonozlarda kabuk elemanlar kullanılmıştır. Revaklarda bulunun kolonlar ise çubuk eleman olarak tanımlanmıştır. Yapının kubbe ve tonozları tuğla ile yapılmış geri kalan kısımlarında ise taş kullanılmıştır. Tonoz kalınlıkları yerinde yapılan kalıntı ölçümlerine göre develik kısmında 35 cm olarak alınmıştır. Mekanik ve fiziksel analizler için numune alınmadığından analizlerde daha önceki çalışmalarda [27-28] benzer yapılar için kullanılan ve Tablo 1’de verilen malzeme değerleri kullanılmıştır.

Tablo 1. Modellemede kullanılan elemanlar için malzeme özellikleri.

Malzeme	Elastisite modülü (MPa)	Özgül ağırlık (kN/m ³)	Poisson Oranı
Tuğla tonoz ve kubbeler (harç ile)	3500	18	0,2
Taş duvarlar (harç ile)	1500	24	0,2

Sayısal modelde develik kısmı tonoz üst kısımlarının çelikle sağlamlaştırıldığı, geri kalan kısımların ise geleneksel malzemeyle tamamlandığı varsayılmıştır. Yapının sonlu eleman modelinde 21235 kabuk ve 1060 adet çubuk eleman kullanılmıştır. Yapının sonlu elemanlar modelini gösteren durum Şekil 3’te verilmiştir.

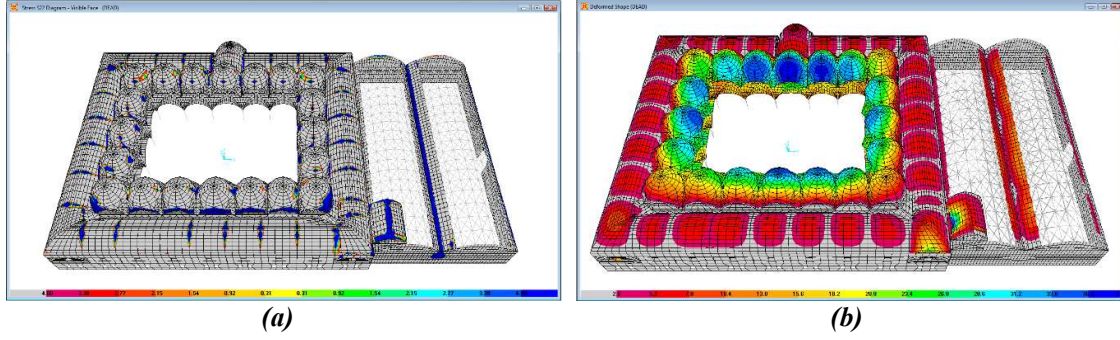


Şekil 3. Yapının sonlu elemanlar modeli.

III. YAPISAL ANALİZ SONUÇLARI

A. STATİK ANALİZ

Statik analizde yapıda kullanılan malzemelerin doğrusal elastik özelliklere sahip olduğu kabul edilmiştir. Elde edilen gerilme ve yer değiştirme haritaları Şekil 4’te verilmiştir. Kendi ağırlığı altında oluşan basınç gerilmeleri incelendiğinde, revaklarda oluşan maksimum basınç gerilmeleri 1,27 MPa ya kadar ulaşmıştır. Yapının tonoz kısmına bakıldığında basınç gerilme değeri 1,46 MPa olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4-a). Yapılan analize göre maksimum yer değiştirmenin düşey yönde revakların tepe noktasında meydana geldiği ve maksimum yer değiştirme değerinin 2,23 mm’ye ulaştığı görülmektedir (Şekil 4-b). Yapıda oluşan gerilme ve yer değiştirmelerin beklendiği gibi herhangi bir risk oluşturmadığı görülmüştür.



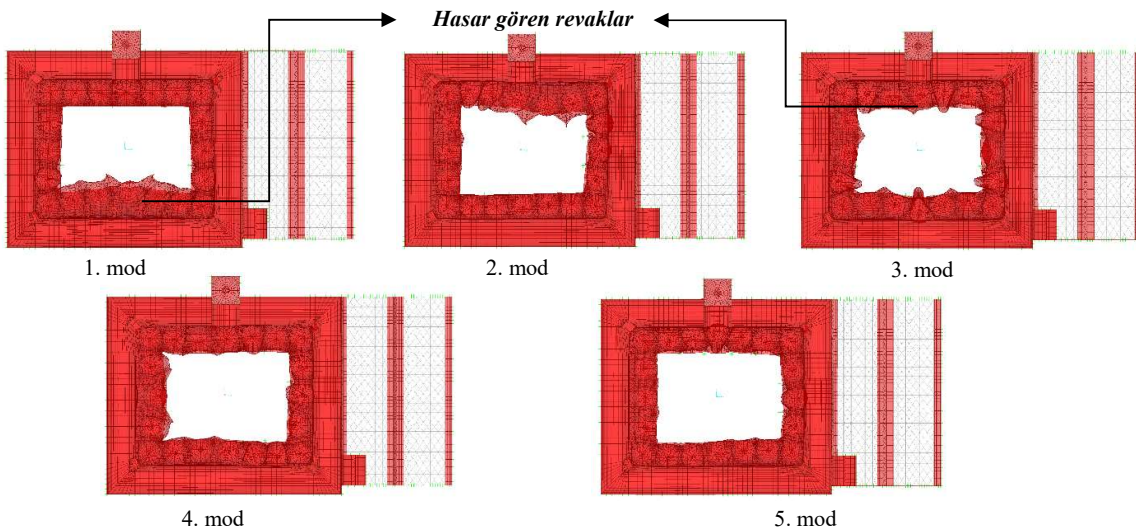
Şekil 4. Statik analiz sonucunda elde edilen (a) aksensel gerilmeler (b) yer değiştirmeler.

B. MODAL ANALİZ

Yapıların deprem anındaki muhtemel davranışlarının tespit edilebilmesi için öncelikle serbest titreşim mod şekillerinin ortaya konması gerekir. Bu işlem için yapıya etkiyen dinamik yükler altında olası şekil değiştirmeler ve kütle katılım oranları belirlenerek riskli noktalar tespit edilir [29-31]. Tokat Deveci Hanı'nın dinamik hesaplamaları için yapılan modal analiz sonucunda elde edilen mod şekilleri ve titreşim periyotları belirlenmiştir. Analizlerde 20 mod kullanılmıştır. Aşağıdaki Tablo 2'de ilk beş moda ait periyot, frekans ve kütle katılım oranları, Şekil 5'te ise ilk beş moda ait deformasyonlar gösterilmektedir.

Tablo 2. Modlara göre periyotlar ve kütle katılım oranları.

Mod	Periyot (sn)	Frekans (Hz)	Kütle Katılım Oranı		
			X Yönü	Y Yönü	Z Yönü
1	0,177	3,75	0,0961	0,7345	0,0001
2	0,116	5,87	0,1227	0,4773	0,12E-4
3	0,056	6,54	0,2365	0,0443	0,62E-5
4	0,020	11,41	0,0651	0,0039	0,25E-5
5	0,006	17,34	0,0042	0,0059	0,34E-5



Şekil 5. Yapının ilk beş moduna ait deformasyon şekilleri.

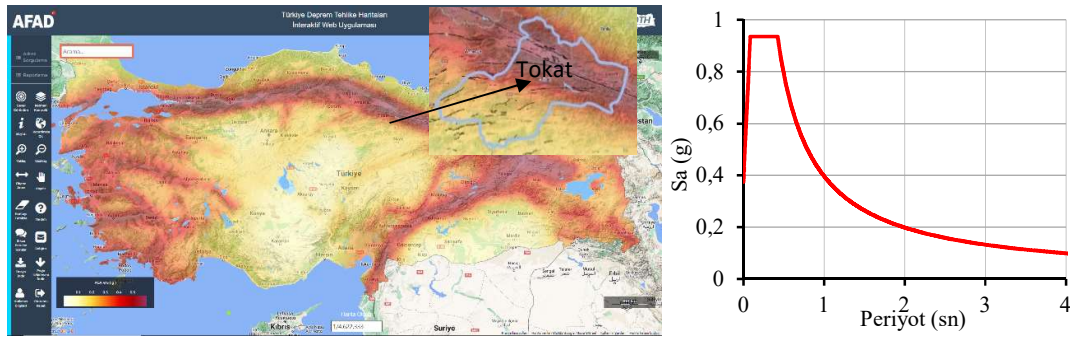
Yapının mod şekilleri incelendiğinde ilk 2 modun doğu-batı yönünde, 3. ve 4. modların kuzey-güney yönünde ve 5. moddan itibaren burulma şeklinde gerçekleştiği görülmüştür. İlk beş moda ait deformasyon şekilleri incelendiğinde deprem sırasında özellikle iç avluda yer alan revakların büyük oranda zorlandığı görülmektedir. Şekil 6'da verilen 2007 yılına ait fotoğraflar incelendiğinde yapının yıkılan ve hasar gören kısımlarının, analiz sonucunda tespit edilen hasar görme potansiyeli olan kısımlarla uyumlu olduğu görülmektedir. Develik kısmında bulunan ve geniş açıklığa sahip tonozların çelikle geçilmesi sayesinde burada oluşacak deformasyonların sınırlandırıldığı görülmektedir.



Şekil 6. Yapının 2007 yılındaki iç avlusunu gösteren fotoğraflar (Vakıflar Bölge Müdürlüğü Arşivi).

C. DİNAMİK ANALİZ

Deveci hanının bulunduğu bölge Türkiye deprem risk haritasında yüksek riskli bölgeler içinde kalmaktadır. Yakın tarihimizde olan Erbaa depreminde çok sayıda bina hasar görmüştür. Tokat merkezde bulunan bazı binalarla birlikte Deveci Hanı da etkilenmiştir. Günümüzde restore edilmiş olan hanın 2007 resimlerinde durum açıkça görülmektedir. Deveci Hanının dinamik analizi SAP2000 [32] programında gerçekleştirilmiştir. Dinamik analizlerde Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde [33] de önerilen normalize edilmiş ivme spektrumu kullanılmıştır. Buna göre Tokat Deveci Hanı'nın bulunduğu bölge için deprem risk haritasından elde edilen veriler ve bölgenin yerel zemin sınıfı dikkate alınarak hesap spektrum eğrisi oluşturulmuştur (Şekil 7). Binanın mevcut durumu göz önüne alınarak bina önem katsayısı bir olarak belirlenmiştir. Deprem yüklerinde herhangi bir azaltma yapılmamış ve R değeri bir olarak alınmıştır. Deveci Hanı'nın olası bir deprem sırasındaki davranışı ve taşıyıcı elemanları üzerinde oluşması muhtemel deformasyonlar ve asal gerilmeler ile ilgili şu gözlemler yapılmıştır.



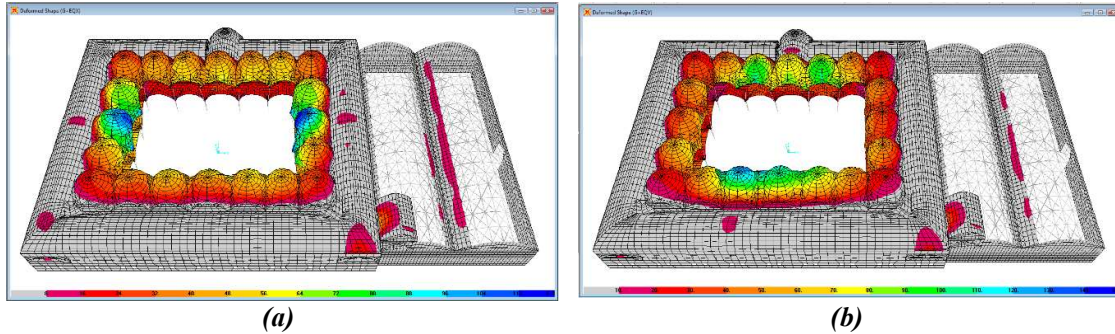
Şekil 7. Deprem risk haritasında Tokat'ın yeri ve Hesap spektrum eğrisi.

Yapının toplam ağırlığı 98147 kN, taban kesme kuvveti doğu-batı doğrultusunda uygulanan deprem etkisi altında toplam 4662 kN, kuzey-güney doğrultusunda uygulanan deprem etkisi altında 6582 kN olarak hesaplanmıştır (Tablo 3). Bu sonuçlara göre, yapının maruz kaldığı en büyük taban kesme kuvveti kuzey-güney yönünde toplam ağırlığının yaklaşık %7'sine karşılık geldiği görülmüştür.

Tablo 3. Taban kesme kuvvetleri ve eksenel kuvvetler.

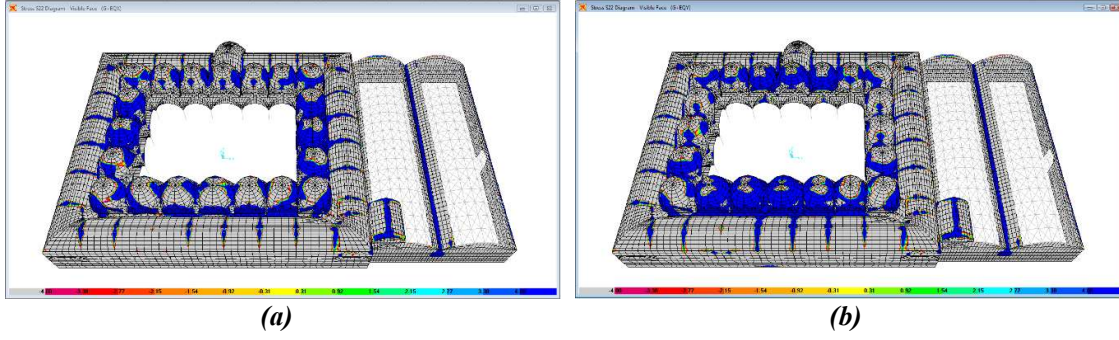
Yükleme tipi	Analiz tipi	Meydana gelen taban kesme kuvveti (kN)		
		X Yönü (Doğu-Batı)	Y Yönü (Kuzey-Güney)	Z Yönü (Düşey)
G	Doğrusal Statik	-	-	98147
EQx	Doğrusal Davranış Spek.	Max	4662	1456
EQy	Doğrusal Davranış Spek.	Max	1456	6582
G+EQx	Kombinasyon	Max	4662	1456
	Kombinasyon	Min	-4662	-1456
G+EQy	Kombinasyon	Max	1456	6582
	Kombinasyon	Min	-1456	-6582

Kareye yakın bir geometriye sahip olan yapının ana bölümünün ve iç mekanların simetrik olmasından dolayı oluşan yer değiştirmeler X ve Y yönündeki deprem yüklemelerinde birbirine yakın çıkmıştır. Develik kısmının yapının doğu-batı yönündeki stabilitesine kayda değer bir katkı sağlamadığı görülmüştür. Her iki yönde de 3,5-3,8 cm aralığında hesaplanan yer değiştirmeler revak kubbelerinde oluşmuştur (Şekil 8). Yapı yer değiştirmeler açısından değerlendirildiğinde (gerilme ve deformasyonlar dikkate alınmadığında) revaklarda oluşan hareket, yapının mevcut hasarlı durumuyla örtüşmektedir. Revakların özgün malzemeye onarımı sonrasında, ileriki tarihlerde oluşacak depremlerde hasar görmesi beklenmelidir. Onarım ve tamamlamasında çelik kullanılan develik kısmında her iki deprem doğrultusu için yer değiştirmeler 0,6 cm'nin altında kalmıştır.



Şekil 8. Deprem yüklemesi altında elde edilen yer değiştirmeler (a) X yönü (doğu-batı) (b) Y yönü (kuzey-güney)

Tonozların çelikle onarımı sonucu yapılan deprem analizinde bu yapının en zayıf noktalarının revaklar olduğu ortaya çıkmaktadır. Büyük açıklığa sahip tonozların geleneksel malzeme yerine çelikle onarımı bu bölgelerde oluşacak gerilmeleri sınırlandırmıştır. Doğu-batı yönünde uygulanan deprem kuvvetiyle revakların bazı kısımlarında oluşan basınç gerilmeleri 4,65 MPa olarak hesaplanmıştır. Kuzey-güney yönünde uygulanan deprem kuvvetiyle revakların duvarla birleştiği pandantif kısımlarında oluşan basınç gerilmeleri 4,95 MPa'a kadar ulaşmıştır. Develik kısmındaki tonozlarda ise gerilmeler her iki deprem doğrultusu için en fazla 1,98 MPa düzeyinde gerçekleşmiştir (Şekil 9). Bunlarla birlikte revakları ayakta tutan kolonlarda çok büyük oranda kesme gerilmeleri meydana gelmiştir.



Şekil 9. Deprem yüklemesi sonucunda elde edilen aksinel gerilmeler (a) X yönü (doğu-batı) (b) Y yönü (kuzey-güney)

Özellikle revaklarda oluşan gerilme değerlerinin Türk Deprem Yönetmeliğinin ortaya koyduğu sınır değerleri zorladığı, ancak çelikle onarımı yapılan develik kısmında oluşan gerilmelerin sınırlı kaldığı görülmüştür.

IV. SONUÇ

Bu çalışmada Tokat Deveci Hanının hasarlı tonozlarında özgün malzeme yerine çelik malzeme kullanılarak bir onarım senaryosu hazırlanmıştır. Analiz parametreleri 3. bölümde verilen deprem bölgesi ve zemin sınıfı dikkate alınarak oluşturulmuştur. Bu analizlerde, doğrusal elastik malzeme varsayımına göre çok sayıda düğüm noktası ve kabuk eleman oluşturulmuştur. Elde edilen bulgular ile ilgili aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- Yapılan statik analiz sonucunda elde edilen gerilme deformasyon şekilleri herhangi bir hasar oluşturmayacak şekilde ve beklendiği şekilde oluşmuştur.
- Geleneksel malzemeyle onarılan revaklarda hasar vermeye sonuçlanacak deformasyonların (ötelenmelerin), bu elamanlarda oluşacak gerilmelerden daha belirleyici olacağı görülmüştür. Çelikle onarımı yapılan tonozlarda meydana gelen gerilmeler yapının diğer kısımlarında meydana çıkan gerilmelerden daha düşük olarak hesaplanmıştır.
- Gerilme haritaları ile yapının 2007 yılı resimleri karşılaştırıldığında, gerilme yığılmalarının olduğu bölgeler ile mevcut durumdaki hasarlı bölgelerin uyumlu olduğu görülmüştür.

Ancak bu tür analizlerde malzeme değerlerinin literatürden alınması ve gerçek yapı kesitlerinin modele çok hassas bir şekilde yansıtılmamış olması sebebiyle elde edilen sayısal değerler nihai sonuç olarak görülmemelidir. Yüzlerce yıl önce yapılmış yapıların bazı bölümlerinde oluşabilecek malzeme dayanım kayıplarının analiz sonuçlarını sınırlı da olsa değiştirebileceği unutulmamalıdır.

TEŞEKKÜR: Bu çalışmada kullanılan Rölöve Projeleri ve Fotoğraflar için Tokat Vakıflar Bölge Müdürlüğüne ve Mimar Özkan Öner'e teşekkür ederiz.

V. KAYNAKLAR

- [1] F. Aras, L. Krstevka, G. Altay, and L. Tashkov, "Experimental and numerical modal analyses of a historical masonry palace," *Construction and Building Materials*, vol. 25, no. 1, pp. 81-91, 2011.
- [2] M. Betti, and A. Vignoli, "Modeling and analysis of a Romanesque church under earthquake

loading: assessment of seismic resistance,” *Engineering Structures*, vol. 30, no. 2, pp. 352-367, 2008.

[3] A.İ. Ünay, *Tarihi Yapıların Depreme Dayanımı*, Ankara, Türkiye, ODTÜ Mimarlık Fak. Basım İşliği, 2002, ss. 76- 77.

[4] Ö. Can, "Seismic performance comparison of a building made with old masonry Bayburt stone according to old and new TBDY," *International Journal of Scientific and Technological Research*, Vol. 5, no. 11, pp. 18 – 24, 2019.

[5] Ş. Sözen, and M. Çavuş, “Assessment of the seismic performance of historical building reinforced with steel buttress,” *KSCE Journal of Civil Engineering*, vol. 23, no. 7, pp. 3113-3121, 2019.

[6] P.B. Lourenço, A. Zucchini G. Milani and A. Tralli, “Homogenization Approaches for Structural Analysis of Masonry Buildings” *Proceedings of the 5th International Conference*, New Delhi India, 2006, pp. 59-76.

[7] R. Cardoso, M. Lopes, and R. Bento, “Seismic evaluation of old masonry buildings. part I: Method description and application to a case-study,” *Eng. Struct.* vol. 27, no. 20, pp. 24–35, 2005.

[8] B.Ş. Şeker, A. Doğangün ve F. Çakır, “Merzifonlu Kara Mustafa Paşa Cami Taşıyıcı Sistemi Üzerine İrdeleme,” *SDU İnternational Technologic Science*, c. 5, ss. 112-120, 2013.

[9] E. Durukal, S. Cimilli, and M. Erdik, “Dynamic Response of Two Historical Monuments In İstanbul Deduced from The Recordings of Kocaeli and Düzce Earthquakes,” *Bulletin of The Seismological Society of America*, vol. 93, no. 2, pp. 694-712, 2003.

[10] S. Casolo, and C.A. Sanjust, “Seismic analysis and strengthening design of a masonry monument by a rigid body spring model: The “Maniace Castle” of Syracuse,” *Eng Struct*, vol. 31, no. 7, pp. 1447–59, 2009.

[11] A. Doğangün, and H. Sezen, “Seismic vulnerability and preservation of historical masonry monumental structures,” *Earthquakes and Structures*, vol. 3, no. 1, pp. 83–95, 2012.

[12] S. Atamturktur, L. Bornn, and F. Hemez, “Vibration characteristics of vaulted masonry monuments undergoing differential support settlement,” *Engineering Structures*, vol. 33, pp. 2472-2484, 2011.

[13] G.C. Köseoğlu, and E. Canbay, “Assessment and Rehabilitation of The Damaged Historic Cenabı Ahmet Pasha Mosque,” *Engineering Failure Analysis*, vol. 57, pp. 389-398, 2015.

[14] M. Günaydın, C. Demirkır, A.C. Altunışık, E.D. Gezer, A.F. Genç, and F.Y. Okur, “Diagnosis and monitoring of historical timber Velipaşa Han building prior to restoration,” *International Journal of Architectural Heritage*, pp. 1–25, 2021.

[15] A. Bayraktar, A.C. Altunışık, B. Sevim, T. Türker, M. Akköse, and N. Çoşkun, “Modal Analysis, Experimental Validation, and Calibration of A Historical Masonry Minaret,” *Journal of Testing and Evaluation*, vol. 36, no. 6, pp. 516-24, 2008.

[16] L. Rovero, and U. Tonietti, “Structural behavior of earthen corbelled domes in the Aleppo’s region,” *Materials and Structures*, vol. 45, pp. 171-184, 2012.

[17] N. Ademovic, M. Hrasnica, and D.V. Oliveira, “Pushover analysis and failure pattern of a typical masonry residential building in Bosnia and Herzegovina,” *Eng. Struct.*, vol. 50, pp. 13–29, 2013.

- [18] İ. Çalık, A. Bayraktar ve T. Türker, “Betonaarme kubbeli taş yığma duvarlı camilerin dinamik davranışına etkisinin çevresel titreşim yöntemiyle incelenmesi,” *Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, c. 31, s. 3, ss. 621-630, 2016.
- [19] F. Cakir, E. Uçkan, J. Shen, B.S. Seker, and B. Akbas, “Seismic damage evaluation of historical structures during Van Earthquake,” *Eng Fail Anal*, vol. 58, pp. 249–66, 2015.
- [20] A.E. Akan, “Tarihi Ahşap Sütunlu Camilerin Sonlu Elemanlar Analizi ile Taşıyıcı Sistem Performansının Belirlenmesi,” *SDU International Technologic Science*, c. 2, s.1, ss. 41-54, 2010.
- [21] G. Brandonisio, G. Lucibello, E. Mele, and A.D. Luca, “Damage and performance evaluation of Masonry Churches in the 2009 L’Aquila earthquake,” *Eng. Fail. Anal.*, vol. 34, pp. 693-714, 2013.
- [22] E. Mustafaraj and Y. Yardım, “Conditional Assessment of Historical Structures: Earthquake Performance of Naziresha Mosque,” Presented at International Students Conference of Civil Engineering, Tirana, Albania, 2012.
- [23] İ. Kazaz ve İ. Kocaman, “Taş Yığma Camilerin sismik yük kapasitelerinin değerlendirilmesi,” *Gazi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 33, s. 2, ss. 557-573, 2018.
- [24] B.I. Aksulu, “Tokat Deveci Hanı,” 9. Milletlerarası Türk Sanatları Kongresi, T.C. Kültür Bakanlığı Yayınlar Dairesi Başkanlığı, İstanbul, ss. 65-77, 1991.
- [25] S. Toker, and A.I. Ünay, “Mathematical Modeling and Finite Element Analysis of Masonry Arch Bridges,” *G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi*, c. 17, s.2, ss. 129-139, 2004.
- [26] M. Yurdakul, F. Yılmaz, M. Artar, Ö. Can, E. Öner, and A. Daloğlu, “Investigation of time-history response of a historical masonry minaret under seismic loads,” *Structures*, Vol. 30, pp. 265-276, 2021.
- [27] F. Jalayer, H. Ebrahimian, A. Miano, G. Manfredi, and H. Sezen, “Analytical fragility assessment using unscaled ground motion records,” *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, Vol. 46, no. 15, pp. 2639–2663, 2017.
- [28] L. Pela, A. Aprile, and A. Benedetti, “Seismic assessment of masonry arch bridges,” *Eng. Struct.*, vol. 31, no. 8, pp. 1777-1788, 2009.
- [29] A. Preciado, G. Bartoli, and H. Budelmann, “Fundamental aspects on the seismic vulnerability of ancient masonry towers and retrofitting techniques,” *Earthq. Struct.*, vol. 9, no. 2, pp. 339-352, 2015.
- [30] Ö. Can, “5 Katlı Yığma Binanın Deprem Performansının Belirlenmesi ve Güçlendirme Önerileri,” *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 9, s. 2, ss. 689-701, 2021.
- [31] M. Artar, K. Çoban, M. Yurdakul, Ö. Can, F. Yılmaz, and M. B. Yıldız, “Investigation on seismic isolation retrofit of a historical masonry structure,” *Earthquakes and Structures*, vol. 16, no. 4, pp. 501-512, 2019.
- [32] SAP2000, “Integrated Structural Analysis and Design Software,” Computers and Structures, Inc., Ver. 16.0.0, Berkeley, California.
- [33] TBDY-2018, “Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği,” *Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı*, Ankara, 2018.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Diatomit (Van/Çaldıran) Kullanılarak Atık Sulardan Asit Blue 25 Boyar Maddesinin Adsorpsiyon Yöntemiyle Uzaklaştırılması

 Ali Rıza KUL^{a,*}

^a Kimya Bölümü, Fen Fakültesi, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: alirizakul@yyu.edu.tr

DOI:10.29130/dubited.1099711

Öz

Çalışmamızda, pamuk ve elyaf gibi ürünlerin boyanmasında kullanılan bir boyar madde olan asit blue 25'in atık sulardan Çaldıran/Diatomit ile bertaraf edilmesi incelenmiştir. Çalışmada derişimin (40 ppm, 80 ppm ve 120 ppm) ve sıcaklığın (293 K, 308 K ve 323 K) etkinliği de araştırılmış, elde edilen veriler Langmuir, Freundlich, D-R izoterm modellerine uygulanmıştır. Çalışma neticesinde hesaplanan izoterm hesaplamaları bizlere çalışmamızın Freundlich izoterm modeline daha iyi uyum sağladığını ve bu izoterm ait korelasyon katsayılarının tüm sıcaklıklarda 0.99'den büyük olduğunu göstermiştir. Paralel bir şekilde D-R izoterm modeli yardımıyla hesaplanan D-R adsorpsiyon serbest enerjisi ise tüm sıcaklıklar için 8 kJ/mol değerinden küçük bulunmuştur. Termodinamik hesaplamalar yardımıyla bulunan Gibbs serbest enerji değerlerinin negatif olması, adsorpsiyon işleminin kendiliğinden meydana geldiğini göstermiştir.

Anahtar kelimeler: Adsorpsiyon, Asit Blue 25, Boyarmadde, Diatomit, İzoterm, Termodinamik

Removal of Acid Blue 25 Dye from Wastewater by Adsorption Method Using Diatomite (Van/Çaldıran)

ABSTRACT

In our study, the disposal of acid blue 25, a dyestuff used in the dyeing of products such as cotton and fiber, from wastewater with Çaldıran/Diatomite was investigated. In the study, the efficiency of concentration (40 ppm, 80 ppm and 120 ppm) and temperature (293 K, 308 K and 323 K) were also investigated, and the obtained data were applied to Langmuir, Freundlich, D-R isotherm models. The isotherm calculations calculated as a result of the study have shown us that our study fits better with the Freundlich isotherm model and the correlation coefficients of this isotherm are greater than 0.99 at all temperatures. The D-R adsorption free energy calculated with the help of the D-R isotherm model in parallel was found to be less than 8 kJ/mol for all temperatures. The negative Gibbs free energy values found with the help of thermodynamic calculations showed that the adsorption process occurred spontaneously.

Keywords: Adsorption, Acid Blue 25, Dyestuff, Diatomite, Isotherm, Thermodynamics

I. GİRİŞ

İnsan çevresi ile sürekli olarak etkileşim içindedir. Bu etkileşimler her zaman çift taraflı olmuştur fakat etkileşimin tüm zaman boyunca iki tarafında yararına olduğunu söylemek mümkün değildir. Özellikle sanayinin gelişmesinin ardından yapılan çalışmalar çevreyi çok kirletmiştir.

Çevrenin hızlıca kirlenmesi sonucundan insan dahil olmak üzere tüm canlılar olumsuz etkilenmişlerdir. Bu nedenle uzmanlar, çevreyi kirletici özelliğe sahip boyar madde, ağır metal gibi maddelerin atık sular veya topraktan uzaklaştırılması için çeşitli yöntemler geliştirmişlerdir. Bu yöntemlerden bazıları uygulanabilirlik ve maliyet açısından uygun olmadığı için tercih edilmemelerine karşın adsorpsiyon yöntemi, hem maliyet hem de uygulanabilirlik açısından sağladığı avantajlardan nedeniyle oldukça kabul gören bir yöntem olmuştur.

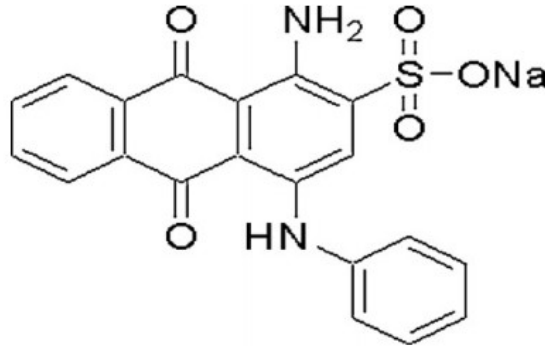
Adsorpsiyon, kirleticilerin sulu ortamlardan uzaklaştırılması amacıyla kullanılan bir yöntemidir. Bu yöntemde adsorbent olarak kullanılan maddenin gözenekli yapısı ve uzaklaştırılacak kirletici madde arasındaki van der Waals kuvvetleri etkilidir. Kısaca gözenek sayısının fazla olması daha fazla kirletici uzaklaştırılması anlamına gelmektedir. Ayrıca adsorpsiyon işleminden sonra adsorbent temizlenerek tekrar kullanıma sunulabildiği için adsorpsiyon oldukça verimli bir yöntemdir.

Endüstride kumaş boyamada kullanılan 100.000'den fazla boyar madde bulunmaktadır [1]. Bu boyar maddelerin yaklaşık % 54'lik bir kısmın tekstil endüstrisinde kullanıldığı ve yaklaşık % 15'lik bir kısmın ise doğrudan atık sulara bırakıldığı tahmin edilmektedir [2]. Asit blue 25 (AB25) tekstil endüstrisinde kullanılan antrakinon boyar maddelerden biridir sağlık üzerinde çeşitli olumsuz etkilere sahip olduğu düşünülen [3] bu boyar maddenin atık sularından hızlıca uzaklaştırılması oldukça önem arz etmektedir.

II. DENEYSEL ÇALIŞMA

A. KİMYASALLAR

Çalışmada kullanılan asit blue 25 ($C_{20}H_{13}N_2NaO_5S$) boyar maddesi, Sigma – Aldrich firmasından temin edildi. Kullanılan boyar madde analitik saflıkta olduğundan deneysel çalışmalarda saflaştırılmadan kullanılmıştır.



Şekil 1. AB25 tekstil boyasının kimyasal formülü [1].

B. KARAKTERİZASYONDA KULLANILAN CİHAZLAR

Diatomitin yapısındaki fonksiyonel grupların tayin edilmesi amacıyla fourier dönüşümlü kızılötesi (FTIR) spektroskopisi ($400 - 4000 \text{ cm}^{-1}$ aralığı) kullanıldı. Çözeltide kalan maddenin derişimi UV-Vis. spektrofotometresi (Pg instruments, T80+ için $\lambda_{\text{max}}=602 \text{ nm}$ 'lik) kullanılarak belirlendi.

C. DENEYLERDE KULLANILAN CİHAZLAR

Nüve Nf 200 marka santrifüj cihazı, ısıtmalı su banyosu (Julabo, Model ED), manyetik karıştırıcı (Thermo Scientific, Telesystem 15.07 with Telemodul 15).

D. DOĞAL ADSORBAN VE ÖZELLİKLERİ

Adsorpsiyon işleminde kullanılan Diatomit, Van'ın Çaldıran ilçesinden temin edilmiş ve bileşimlerinin belirlenmesi amacıyla X-Işını Fraksiyonu (XRF) analizi yapılmıştır. XRF analizi sonucu Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Diatomitin (Van/Çaldıran) XRF analizi (Bileşenlerin % değerleri).

A.Za	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	SiO ₂	TiO ₂
11.55	11.50	4.40	1.40	0.80	69.70	0.65

E. DİATOMİTİN HAZIRLANMASI

Öncelikle safsızlıkların giderilmesi amacıyla diatomitten 100 g alınarak 1 L distile su ile 8 saat süre ile karıştırıldı. Bu sürenin sonunda kil sudan uzaklaştırılarak 105 °C sıcaklık altında 24 saat kurumaya bırakılarak kullanılmaya hazır hale getirildi. Kurutma işleminden sonra elekten geçirilerek tanecik boyutu 230 mesh aralığına getirildi [4].

F. STOK ÇÖZELTİNİN HAZIRLANMASI

Asit blue 25 (AB25) boyar maddesinden 1 gram alınarak balon joje yardımıyla 1 L distile su içinde çözülerek 1000 ppm'lik stok çözelti hazırlandı. Deneyler sırasında hazırlanan çözeltiler stok çözeltilerden uygun seyreltilme yapılarak hazırlanmıştır.

G. DENEYSEL ÇALIŞMALARININ YAPILMASI

G.1. Temas Süresinin Adsorpsiyona Etkisinin Belirlenmesi

İlk aşamada sıcak su banyosundaki ortamın sıcaklığı 293 K olarak sabit tutuldu. Diatomitten 1 g madde tartıldı ve sonrasında stok çözeltilerden 0.5 L hacminde 40 ppm derişime sahip çözelti hazırlandı. Çözelti sıcak su banyosuna konularak çözeltinin sıcaklığının dengeye ulaşması beklendi. Manyetik karıştırıcı 400 rpm olarak ayarladıktan sonra Dengeye ulaşan çözeltilere tartılan 1g diatomit eklendi. 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 140, 240. dakikalarda çözeltilerden 1.5 ml sıvı alınarak 3000 rpm'de 2 dakika boyunca santrifüj edildi.

G.2. Derişim ve Sıcaklığın Adsorpsiyona Etkisinin Belirlenmesi

Derişimin, diatomit üzerindeki etkinliğini belirlemek için 0.5 L hacimlerde ve 40 ppm, 80 ppm, 120 ppm derişimlerde üç adet çözelti hazırlanmıştır. İlk olarak 293 K sıcaklıkta, sabit karıştırma hızı (400 rpm) ve dozda (1 g) denge süresine (60 dk.) kadar çözelti bekletilmiştir. Çözelti dengeye ulaştığı sırada ortamdaki 1.5 mL'lik numune alınarak 2000 rpm'de 3 dakika boyunca santrifüj edildi ardından santrifüj edilen numuneler UV-Vis. spektrofotometre cihazında 602 nm dalga boyunda okundu böylece çözeltilerde kalan derişim (C_e) hesaplandı. Aynı işlemler 308 K, 323 K sıcaklıkları için de tekrar edildi.

Çalışma sonunda yüzde adsorplanan miktar, denge anında birim yüzeyde tutunan madde miktarı (q_e) ve birim zamanda birim yüzeyde tutunan madde miktarı (q_t) eşitlik 1 ve eşitlik 2 kullanılarak hesaplanmıştır [5], [6].

$$\% \text{ ads.} = \frac{(C_i - C_e) * 100}{C_i} \quad (1)$$

$$q_e = \frac{(C_i - C_e) * V}{m} \quad (2)$$

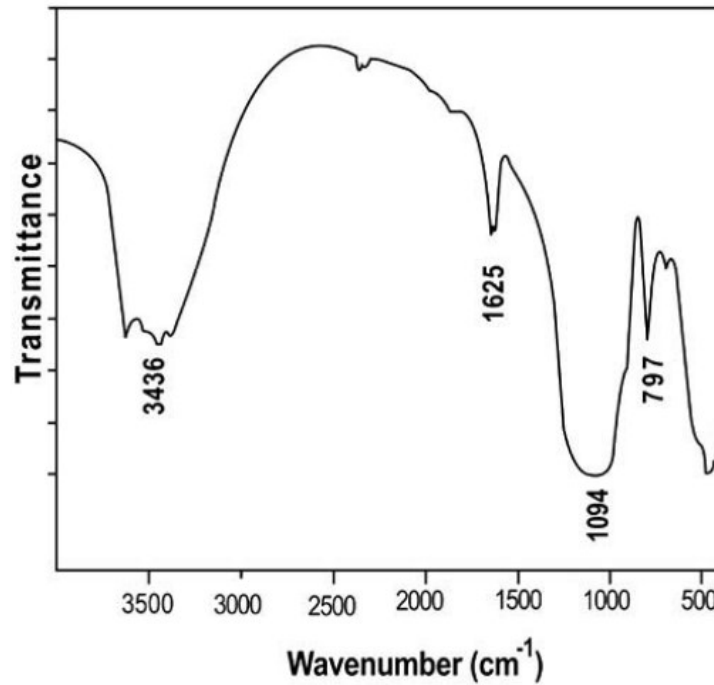
Burada, C_i : boyar madde derişimini (ppm), C_e : adsorpsiyon işlemi sonrasında çözeltide kalan boyar madde derişimini (ppm), V : çözeltinin hacmini (L), m : adsorbentin kütlesini (g) ifade etmektedir.

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

H. DİATOMİTİN KARAKTERİZASYONU

H.1. FTIR Analizi

Diatomitin karakteristik yüzey özelliklerini belirlemek için FTIR analizi 400-4000 cm^{-1} aralığında yapılarak elde edilen grafik şekil 2’de gösterilmiştir. Diatomitin 3436, 1625, 1094 ve 797 cm^{-1} ’deki FTIR spektrumları adsorpsiyon bantlarına işaret etmektedir. 3436 cm^{-1} ’deki bant, serbest yüzeyde silanol grubunu (SiO-H), 1625 cm^{-1} bant ise suyun H-O-H bükülme titreşimini temsil eder, ayrıca 1094 cm^{-1} ’deki yayvan bükülme siloksan (-Si-O-Si-) grubunun gerilmesine bağlanabilir son olarak 797 cm^{-1} ’deki tepe SiO-H titreşimine karşılık gelmektedir [7]–[9].

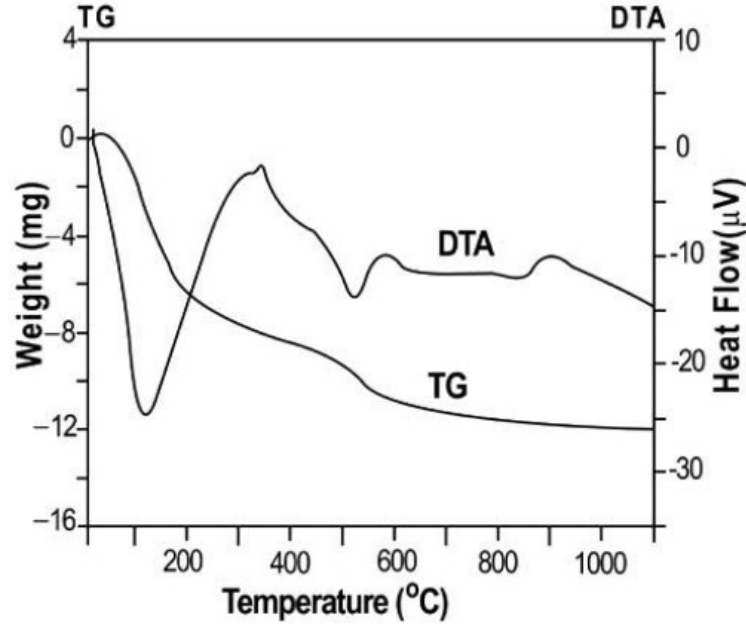


Şekil 2. Diatomite ait FTIR grafiği.

H.2. TG-DTA

Diatomitin ısıtma işlemi belirlemek amacıyla TG-DTA eğrileri çizilerek şekil 3’te gösterildi. Grafiğe baktığımızda TG eğrisi iki adet belirgin kütle kaybını sergilerken, DTA eğrisi iki endotermik tepe noktası ve bir ekzotermik tepe noktası göstermiştir. TG eğrisinde yaklaşık 522 $^{\circ}\text{C}$ ’de % 8.9’luk bir kütle kaybıyla beraber, sıcaklığın 550 $^{\circ}\text{C}$ ’ye çıkarılmasıyla yaklaşık %2.4’lük bir kütle kaybı daha

yaşanmıştır. DTA eğrisinde ise yaklaşık 100 °C ve 500 °C sıcaklıklarda muhtemelen dehidrasyon ve dehidroksilasyon nedeniyle iki adet endotermik pik gözlenirken, yaklaşık 900 °C sıcaklıktaki ekzotermik pik, kristal yapının bozulmasından kaynaklanmaktadır [8].

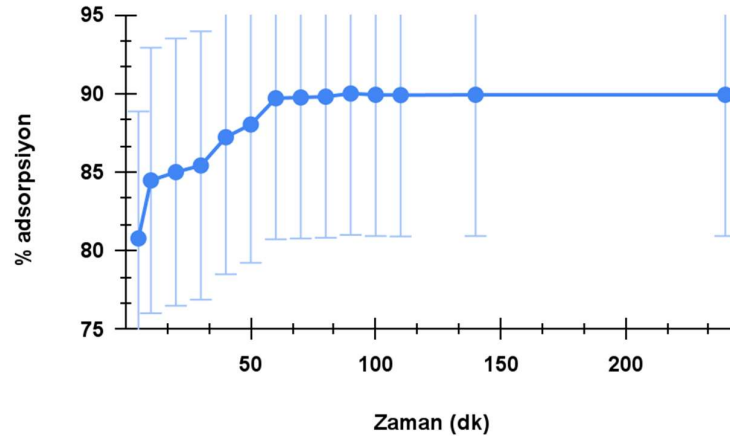


Şekil 3. Diatomit için TG-DTA eğrisi.

I. ADSORPSİYON ÇALIŞMALARI

I.1. Temas Süresinin Etkisi

İzoterm çalışmalarının yapılabilmesi amacıyla temas süresinin adsorpsiyon üzerindeki etkisini incelediğimiz çalışmamız neticesinde elde edilen grafik şekil 4'te gösterilmiştir.



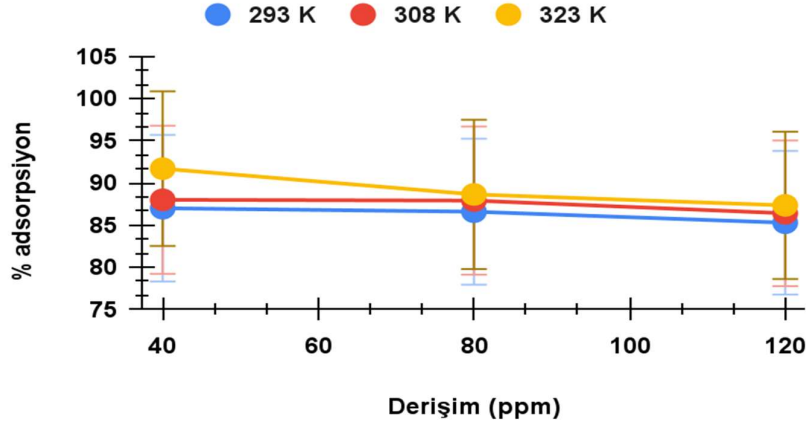
Şekil 4. Diatomit için adsorpsiyona temas süresinin etkisi ($T: 293 K$, $m: 1 g$, $V: 0.5 L$, doğal pH).

Grafiğe bakıldığı zaman diatomit yüzeyine başlangıçta hızlı bir şekilde madde tutunmasının olduğunu fakat zamanla bu hızın azaldığını ve yaklaşık 60. dakikadan sonra ise bu tutunmanın yatay bir pozisyon seyrettiğini görüyoruz. Bu durum diatomitin gözeneklerinin zamanla hızlı bir şekilde dolması ve belirli bir süre sonunda doyuma ulaşmasından kaynaklanmaktadır [10], [11].

I.2. Derişimin Adsorpsiyon Üzerindeki Etkisi

Derişimin AB25 boyar maddesinin adsorpsiyonu üzerindeki etkisini gösteren grafik Şekil 5'te gösterilmiştir.

Boyar madde derişimi arttıkça diatomitin AB25 boyar madde adsorpsiyon yüzdesi azalmaktadır. Bu durum tüm sıcaklıklar için de benzerdir. Bunun nedeni derişim arttıkça diatomitin yüzeyinde tutunma kapasitesinin azalması ve verimin buna oranla azalmasıdır. Benzer durum [12], [13] çalışmalarında da kayıt edilmiştir.



Şekil 5. Diatomit üzerine AB25 boyar maddesinin derişim etkisi (pH: doğal, m: 1 g, V: 0.5 L).

J. İZOTERM HESAPLAMALARI

Denge anında adsorbent yüzeyinde tutunan AB25 derişimi ile çözültide kalan boyar madde derişimi arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla veriler, Langmuir, Freundlich ve D-R izoterm modellerine uygulandı. İzoterm hesaplamalarında tablo 2'de verilen bağıntılar kullanılmıştır. Tabloda; K_L : Langmuir sabitini (L/mg), C_e : denge anında çözültide kalan maddenin derişimini (ppm), q_m : Langmuir sabitini (mg/g), C_e : denge anında çözültide kalan maddenin derişimini (ppm), R: İdeal gaz sabitini (8.314 j/mol), T: sıcaklığı (K), D: D-R izoterm sabitini (mol^2/kJ^2), ϵ : Polanyi potansiyelini, E: D-R adsorpsiyon serbest enerjisini (kJ/mol) ifade etmektedir.

Tablo 2'te verilen bağıntıları kullanılarak hesaplanan izoterm verileri Tablo 3'te gösterilmiştir.

Tablo 2. Hesaplama kullanılan izoterm bağıntıları.

İzoterm modeli	Lineer bağıntı	Grafik	Sabitler	Eşitlik
Langmuir	$\frac{C_e}{q_e} = \left(\frac{1}{K_L q_m}\right) + \left(\frac{C_e}{q_m}\right)$	$\frac{C_e}{q_e}$ vs C_e	K_L : Eğim/Kesme noktası, q_m : (Eğim) ⁻¹	(3) [6]
Freundlich	$\ln q_e = \ln K_F + \frac{1}{n} \ln C_e$	$\ln q_e$ vs $\ln C_e$	K_F : exp(Kesme noktası), n : (Eğim) ⁻¹	(4) [14]
D-R	$\ln q_e = \ln q_m - D\epsilon^2$ $\epsilon = RT \ln\left(1 + \frac{1}{C_e}\right)$	$\ln q_e$ vs ϵ^2	D: -Eğim, q_m : exp(Kesme noktası) $E = \frac{1}{\sqrt{2D}}$	(5) [15]

Tablo 3. Diatomit üzerine AB25 boyar maddesi adsorpsiyonu sonucunda hesaplanan izoterm verileri (pH: doğal, V: 0.5 L, m: 1 g).

	T (K)	Hesaplamalar
Langmuir	293	$K_L : 0.0138, Q_m : 526.3158, R^2 : 0.9475$
	308	$K_L : 0.0153, Q_m : 526.3158, R^2 : 0.8577$
	323	$K_L : 0.0581, Q_m : 217.3913, R^2 : 0.9459$
Freundlich	293	$n : 1.1278, 1/n : 0.8867, K_F : 8.1752, R^2 : 0.9973$
	308	$n : 1.1255, 1/n : 0.8885, K_F : 8.9187, R^2 : 0.9940$
	323	$n : 1.4590, 1/n : 0.6854, K_F : 15.9882, R^2 : 0.9985$
D-R	293	$Q_m : 103.5961, E : 0.2874, D : 6.0543, R^2 : 0.9606$
	308	$Q_m : 106.1762, E : 0.3231, D : 4.7889, R^2 : 0.9672$
	323	$Q_m : 96.6600, E : 0.5037, D : 1.9706, R^2 : 0.9227$

Diatomit izoterm hesaplamalarında modelin uyumlu olduğunu gösteren korelasyon katsayısı (R^2), Freundlich izoterm modelinde tüm sıcaklıklarda 0.99'tan büyük hesaplanmıştır. Bundan dolayı adsorpsiyon prosesinin Freundlich izoterm modeline en iyi uyum sağladığı söylenebilir. Freundlich izoterm modeli bizlere adsorpsiyon işleminin çok tabakalı ve tutunmanın heterojen olduğunu göstermekle beraber, n ve 1/n değerlerinin sırasıyla 1-10 ve 0-1 arasında bulunması tutunmanın çok tabakalı olduğunu ve izoterm çalışmamızın Freundlich izoterm modeline uyduğunu göstermesi açısından oldukça önemlidir [16].

Ayrıca D-R izoterm modeli sırasında hesaplanan E değerlerinin tüm sıcaklıklarda 8 kJ/mol'dan küçük olması adsorpsiyonun fiziksel adsorpsiyon olduğunu göstermiştir [17].

K. TERMODİNAMİK HESAPLAMALAR

ΔG° (kJ/mol), ΔH° (kJ/mol) ve ΔS° (kJ/mol.K) değerlerinin bilinmesi amacıyla termodinamik hesaplamalar da yapılmıştır.

ΔG° Gibbs serbest enerji olarak bilinir. Bu değer negatif olması işlemin kendiliğinden meydana geldiğini göstermektedir. ΔG° değerinin hesaplanması için öncelikle K_c değerinin hesaplanması gerekmektedir.

K_c değeri eşitlik 6 kullanılarak bulunabilir [18].

$$K_c = \frac{q_e}{C_e} \quad (6)$$

Eşitlik 6 kullanılarak hesaplanan K_c , 7 numaralı eşitlikte yerine yazılarak ΔG° hesaplanabilmektedir.

$$\Delta G^{\circ} = -RT \ln K_c \quad (7)$$

$$\ln K_c = \left[\frac{\Delta S^{\circ} - \Delta H^{\circ}}{T} \right] \frac{1}{R} \quad (8)$$

Eşitlik 8'de, $\ln K_c$ değerinin $1/T$ değerine karşı grafiğe geçirilmesi ile (Van't Hoff Eşitliği) oluşan doğrunun eğimi ΔH° 'ı verirken kesişim noktası ise ΔS° 'yi verir.

Eşitlik 6, eşitlik 7 ve eşitlik 8 yardımı ile hesaplanan termodinamik parametreler Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Diatomit üzerine AB25 boyar maddesi adsorpsiyonu için hesaplanan termodinamik parametreler (pH: doğal, V: 0.5 L, m: 1 g).

Derişim (ppm)	T (K)	Hesaplamalar	
40	293	$\Delta G^{\circ} : -4.6307$	
	308	$\Delta G^{\circ} : -5.1020$	$\Delta H^{\circ} : 13.0236$ $\Delta S^{\circ} : 0.0598$
	323	$\Delta G^{\circ} : -6.4511$	
80	293	$\Delta G^{\circ} : -4.5431$	
	308	$\Delta G^{\circ} : -5.0809$	$\Delta H^{\circ} : 4.9892$ $\Delta S^{\circ} : 0.0326$
	323	$\Delta G^{\circ} : -5.5165$	
120	293	$\Delta G^{\circ} : -4.2784$	
	308	$\Delta G^{\circ} : -4.7345$	$\Delta H^{\circ} : 4.6027$ $\Delta S^{\circ} : 0.0303$
	323	$\Delta G^{\circ} : -5.1869$	

Diatomit üzerine AB25 boyar maddesi için hesaplanan termodinamik veriler incelendiği zaman tüm derişimler için ΔG° değerleri negatif olarak bulunmuştur. Bu durum adsorpsiyon işleminin kendiliğinden meydana geldiğine işaret etmektedir [19]. Bununla beraber ΔH° değerlerinin pozitif olması prosesin endotermik olduğunu, ΔS° değerlerinin pozitif olması ise düzensizliğin arttığını göstermektedir [20].

VI. SONUÇLAR

AB25 boyar maddenin Diatomit üzerindeki etkisi üç farklı sıcaklık (293 K, 308 K, 323 K), ve üç farklı derişim (40, 80, 120, 120 ppm) kullanılarak araştırılmıştır. AB25 boyar maddesinin Diatomit üzerindeki adsorpsiyonu değerlendirildiğinde, adsorplanan boyar madde miktarının sabit değere ulaşması için yaklaşık 60 dakika gibi bir süreye ihtiyaç duyduğu böylece adsorpsiyonun bu süre sonunda dengeye ulaştığı tespit edilmiştir.

Denge anında sıcaklık ile çözelti derişimi arasındaki ilişkiyi belirleyen izoterm hesaplamaları neticesinde adsorpsiyon işleminin Freundlich izoterm modeline iyi uyum sağlandığı korelasyon katsayısının tüm sıcaklıklarda 0.99'dan büyük olmasından anlaşılmıştır. Ayrıca bu izoterm modeline ait sabitler olan n ve $1/n$ değerlerinin sırasıyla 0-10 ile 0-1 aralığında olması diatomit yüzeyinde heterojen bir tutunmaya işaret etmiştir.

D-R izoterm modeli yardımıyla hesaplanan E değerinin 8 kJ/mol'dan küçük bulunması, adsorpsiyon işleminin fiziksel bir sorpsiyon olduğunu göstermiştir.

Termodinamik hesaplamalar neticesinde bulunan tüm ΔG değerlerinin negatif olması ise adsorpsiyonun kendiliğinden meydana geldiğine işaret etmiştir. Bununla beraber hesaplanan tüm ΔH değerleri pozitifdir. Bu, çalışmamızın ısıalan (endotermik) bir çalışma olduğunu göstermektedir. ΔS değerlerinin pozitif olması adsorpsiyonun entropisinin arttığını göstermektedir.

V. KAYNAKÇA

- [1] M. Auta ve B. H. Hameed, "Preparation of waste tea activated carbon using potassium acetate as an activating agent for adsorption of Acid Blue 25 dye", *Chemical Engineering Journal*, c. 171, s 2, ss. 502-509, Tem. 2011, doi: 10.1016/j.cej.2011.04.017.
- [2] B. OYAR, "Elektrokoagülasyon Yöntemi Kullanılarak Atık Sulardan Boyarmadde Gideriminin Araştırılması", Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, Türkiye, 2020.
- [3] A. Aldemir ve A. R. Kul, "Comparison of acid blue 25 adsorption performance on natural and acid-thermal co-modified bentonite: Isotherm, kinetics and thermodynamics studies", *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 26, s 7, 2020.
- [4] A. R. Kul, V. Benek, S. Kaptanoğlu, S. Alkan, ve V. Avcı, "Pyrus communis Atığının Üzerine Sulu Çözeltilerdeki Metilen Mavisinin Adsorpsiyon İzoterm ve Termodinamik Çalışmaları", *Van Sağlık Bilimleri Dergisi*, c. 11, s 1, 2019.
- [5] İ. Alacabey, A. R. Kul, Ş. Ece, ve H. Alkan, "Van Gölü Doğal Sediment ve Modifiye Sediment Üzerine Krom (III) Adsorpsiyonu (İzoterm ve Termodinamik Analiz Çalışması)", *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, c. 11, s 3, 2020, doi: 10.24012/dumf.731216.
- [6] A. Behnamfard ve M. M. Salarirad, "Equilibrium and kinetic studies on free cyanide adsorption from aqueous solution by activated carbon", *Journal of Hazardous Materials*, c. 170, s 1, ss. 127-133, 2009.
- [7] J. C. T. Rezende, V. H. S. Ramos, H. Oliveira, R. Oliveira, ve E. De Jesus, "Removal of Cr(VI) from Aqueous Solutions Using Clay from Calumbi Geological Formation, N. Sra. Socorro, SE State, Brazil", *Materials Science Forum*, c. 912, ss. 1-6, 2018, doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.912.1.
- [8] N. Çalışkan, E. Söğüt, C. Saka, Y. Yardım ve Z. Sentürk, "The natural diatomite from caldiranvan (Turkey): electroanalytical application to antimigraine compound naratriptan at modified carbon paste electrode", *Combinatorial Chemistry & High Throughput Screening*, c. 13, s. 8, ss. 703-711, 2010, doi: 10.2174/138620710791920356.
- [9] I. Alacabey, "Bazı Ağır metallerin (Kobalt, Krom, Kadmiyum) Doğal ve Aktive Edilmiş Çaldıran Diatomiti (Çaldıran/Van) Üzerindeki Adsorpsiyon Denge Çalışmaları", Yüksek Lisans Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Van, Türkiye, 2006.


- [10] N. Caliskan, A. R. Kul, S. Alkan, E. G. Sogut, ve İ. Alacabey, “Adsorption of Zinc(II) on diatomite and manganese-oxide-modified diatomite: A kinetic and equilibrium study”, *Journal of Hazardous Materials*, c. 193, ss. 27-36, 2011, doi: 10.1016/j.jhazmat.2011.06.058.
- [11] İ. Alacabey, “Adsorptive removal of cationic dye from aqueous solutions using Bardakçı clay”, *International Journal of Agriculture Environment and Food Sciences*, c. 6, s 1, 2022, doi: 10.31015/jaefs.2022.1.12.
- [12] B. Demir ve Y. Kalpaklı, “İşlem Görmemiş Kütahya Ca-Bentonitinin Bazik Mavi 41 (BB41) Adsorpsiyon Karakteristiğinin İncelenmesi”, *Journal of the Institute of Science and Technology*, c. 10, s 1, 2020, doi: 10.21597/jist.556691.
- [13] E. H. Gürkan ve S. Çoruh, “Atık Döküm Kumu İle Katyonik Boyarmaddelerin Adsorpsiyon Çalışmaları”, *Celal Bayar University Journal of Science*, c. 13, s 2, 2017, doi: 10.18466/cbayarfbe.319947.
- [14] İ. Alacabey, “Antibiotic Removal from the Aquatic Environment with Activated Carbon Produced from Pumpkin Seeds”, *Molecules*, c. 27, s 4, 2022, doi: 10.3390/molecules27041380.
- [15] I. Alacabey, “Doğal ve Aktive Edilmiş Van Gölü Sediment (Dip Çamuru) Örneklerinin Bazı Ağır Metallerle Adsorpsiyonunun İzoterm ve Termodinamik Analizi”, Doktora Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van, Türkiye, 2014.
- [16] S. Ekinci ve Z. İltter, “Sulu Çözeltilerden Alizarin Sarısı Boyarmaddesinin Nanoadsorbent (MNPs-G1-Mu) Vasıtasıyla Adsorpsiyon Özelliklerinin Belirlenmesi”, *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, c. 11, s 1, 2021.
- [17] B. Kirkan ve M. Bekaroğlu, “Modifiye Edilmiş Pomza Kullanılarak Sulu Ortamlardan Adsorpsiyon Prosesi ile Arsenat (V) Giderimi”, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 23, s 2, 2019, doi: 10.19113/sdufenbed.467165.
- [18] O. Lacin, A. Haghightania, F. Demir, F. Sevim, ve O. Laçin, “Adsorption Characteristics and Behaviors of Natural Red Clay for Removal of BY28 from Aqueous Solutions”, *International Journal of Trend in Scientific Research and Development*, c. 3, s. 2, ss. 1037-1047, 2019, doi: 10.31142/ijtsrd21544.
- [19] A. R. Kul, A. Aldemir, S. Alkan, H. Elik, ve M. Çalışkan, “Adsorption of Basic Blue 41 using Juniperus excelsa: Isotherm, kinetics and thermodynamics studies”, *Environmental Research and Technology*, c. 2, s 3, 2019, doi: 10.35208/ert.568992.
- [20] A. Çiçekçi, B. Dönmez, E. Kavci, ve Ö. Laçin, “Malahit Yeşilinin Şeftali Çekirdeği Kabuğu Üzerine Adsorpsiyon İzotermi ve Termodinamiği”, *Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, c. 5, s 2, 2020, doi: 10.33484/sinopfd.701059.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Derin Öğrenme Tabanlı Trafik Yoğunluğu Tahmini: İstanbul İçin Bir Vaka Çalışması

 Anıl UTKU*

Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Munzur Üniversitesi, Tunceli, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: anilutku@munzur.edu.tr

DOI:10.29130/dubited.1139534

ÖZ

Trafik yoğunluk tahmini, kullanıcıların daha iyi seyahat kararları verebilmeleri, trafik sıkışıklığının hafifletilmesi, zaman ve yakıt tasarrufu sağlanması ile trafik işlem verimliliğinin artırılması açısından önemlidir. Akıllı ulaşım sistemlerinin gelişmesi ve yaygınlaşmasıyla birlikte trafik yoğunluğunun tahmin edilmesi giderek daha fazla ilgi görmeye başladı. Trafik yoğunluk tahmini, büyük ölçüde geçmiş ve gerçek zamanlı trafik verilerine bağlıdır. Sensörler, kameralar, mobil cihazlar ve sosyal medya gibi kaynaklarından anlık olarak büyük miktarlarda trafik verileri elde edilmektedir. Giderek artan trafik verileri, trafik yönetimi sorununu çözebilmek amacıyla yapay zekâ teknolojilerinin kullanımını ön plana çıkarmaktadır. Bu çalışmada, trafik yoğunluk tahminine yönelik LSTM tabanlı bir tahmin modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen tahmin modeli LR, RF, SVM, MLP, CNN ve Recurrent Neural Network (RNN) ile İstanbul'un trafik verileri kullanılarak test edilmiştir. Deneysel sonuçlar, geliştirilen LSTM tabanlı modelin karşılaştırılan modellere göre daha başarılı sonuçlara sahip olduğunu göstermiştir. Geliştirilen model, araç sayısı ve ortalama hız tahmininde yaklaşık olarak 0,9 R² değerine sahip olmuştur.

Anahtar Kelimeler: Trafik yoğunluk tahmini, Makine öğrenmesi, Derin öğrenme, LSTM

Deep Learning Based Traffic Density Prediction: A Case Study for Istanbul

ABSTRACT

Traffic density prediction is important for users to make better travel decisions, reduce traffic congestion, save time and fuel, and increase traffic processing efficiency. With the development and widespread use of intelligent transportation systems, traffic density prediction has received more and more attention. Traffic density prediction is heavily dependent on historical and real-time traffic data. Large amounts of traffic data are obtained instantly from sources such as sensors, cameras, mobile devices and social media. Increasing traffic data reveals the use of artificial intelligence technologies to solve the traffic management problem. In this study, an LSTM-based prediction model has been developed for traffic density prediction. The developed prediction model has been tested using traffic data of Istanbul with LR, RF, SVM, MLP, CNN and RNN. Experimental results showed that the developed LSTM-based model has more successful results than the compared models. The developed model had approximately 0.9 R² value in predicting the number of vehicles and average speed.

Keywords: Traffic density prediction, Machine learning, Deep learning, LSTM

I. GİRİŞ

Günümüzde modern şehirler giderek akıllı şehirlere dönüşmektedir. Kentleşmenin hızlanması ve artan kentsel nüfus, trafik yönetimi üzerinde büyük baskı oluşturmaktadır [1]. Akıllı ulaşım sistemleri, akıllı şehrin vazgeçilmez bir parçasıdır ve trafik tahmini de akıllı ulaşım sistemlerinin önemli bir bileşendir [2]. Doğru trafik tahmini, şehrin trafik tıkanıklığının hafifletilmesine yardımcı olması açısından birçok gerçek dünya uygulaması için gereklidir [3].

Kapsamlı trafik bilgileri, şehirde yaşayan kişilerin günlük yaşamına fayda sağlar ve kentsel ulaşım verimliliğini artırır [4]. Bu tür trafik bilgilerinin doğru tahminleri, rota planlama, navigasyon ve diğer mobilite hizmetleri için büyük önem taşımaktadır [5]. Kentsel trafik tahmini, gelecekteki trafik koşullarını tahmin etmek için çeşitli geçmiş ve gerçek zamanlı trafik verilerini analiz etmek amacıyla genellikle trafik modellerini uygular. Trafik hızı, trafik akışı ve kaza riski, trafik koşullarının temsili göstergeleridir ve hareketlilik verisi türleri ile trafik modellerinden yararlanmaktadır [6].

Dünyanın en büyük şehirlerinden biri olan İstanbul, dünya genelinde trafik sıkışıklığından en çok etkilenen ilk beş şehir arasında yer almaktadır. İstanbul aynı zamanda bir sanayi, kültür ve turizm şehri olması sebebiyle giderek artan kentsel nüfusu nedeniyle trafik probleminin yaşandığı şehirlerden biridir. Şekil 1’de, 25 Ocak 2021 tarihi saat 18:33 İstanbul’un trafik yoğunluk haritası görülmektedir.



Şekil 1. İstanbul trafik yoğunluk haritası [7].

İstanbul’da trafik sıkışıklığı hafta içi günlerde ve özellikle de işe gidiş-geliş saatlerinde oldukça artmaktadır. Şehir yönetimleri, hareketlilik verilerini toplamak için önemli yol kavşaklarında sensörler ve trafik kameraları gibi teknolojileri kullanmaktadır. Ancak, yüksek dağıtım ve bakım maliyetleri nedeniyle, bu teknolojilerin şehir genelinde uygulanabilirliği sınırlıdır. Akıllı ulaşım sistemlerinin gelişimiyle birlikte, mobil cihazlardan çok büyük miktarlarda mobilite verileri toplanabilmektedir. Elde edilen bu veriler, büyük ölçekli ve güvenilir trafik tahminlerini uygulanabilir hale getirmektedir. Giderek artan trafik verileri, trafik yönetimi sorununu çözebilmek için potansiyel yeni bakış açıları sağlamaktadır. Trafik tahmini, son yıllarda önemli bir araştırma alanı haline gelmiştir. Literatürde, trafik yoğunluk tahminine yönelik yapılmış makine öğrenmesi ve derin öğrenme tabanlı çalışmalar bulunmaktadır.

Fu ve ark. tarafından yapılan çalışmada [8], kısa süreli trafik akışını tahmin etmek için Long-Short Term Memory (LSTM) ve Gated Recurrent Unit (GRU), Artificial Neural Network (ANN) ve Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) yöntemlerinin karşılaştırmalı bir analizi sunulmuştur. Deneysel sonuçlar, LSTM ve GRU’nun karşılaştırılan diğer modellerden daha başarılı sonuçlar verdiğini göstermiştir.

Liu ve ark. tarafından yapılan çalışmada [9], trafik akış bilgilerinin uzamsal-zamansal bilgilerini çıkarabilmek amacıyla hibrit Conv-LSTM modeli geliştirilmiştir. Trafik akışının periyodiklik özelliğini çıkarabilmek için tahmin noktasının geçmiş trafik akışı verilerini analiz etmek amacıyla LSTM kullanılmıştır. Deneysel sonuçlar, önerilen modelin mevcut yaklaşımlara kıyasla daha iyi bir tahmin doğruluğu sağladığını göstermektedir.

Duan ve ark. tarafından yapılan çalışmada [10], kentsel trafik akışının tahmini için ağgözlü algoritma ile geliştirilmiş derin bir hibrit sinir ağı önerilmiştir. Önerilen modelde, kentsel trafik akışını tahmin etmek için zamansal bilgileri çıkarmak amacıyla LSTM kullanılmıştır. Mekânsal özellikleri çıkarmak amacıyla ise Convolutional Neural Network (CNN) kullanılmıştır. Önerilen model Ağgözlü (Greedy) algoritma kullanılarak kısa zaman tüketimi için eğitilmektedir. Xi'an şehrindeki taksilerin GPS verileri kullanılarak yapılan deneysel çalışmalar, önerilen CNN-LSTM modelinin mevcut yöntemlere kıyasla daha yüksek tahmin doğruluğu ve daha kısa zaman tüketimi sağladığını göstermiştir.

Lin ve ark. tarafından yapılan çalışmada [11], seyrek otomatik kodlayıcı ve LSTM tabanlı SpAE-LSTM modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen model, trafik akışının zamansal ve mekânsal özelliklerini işlemektedir. Seyrek otomatik kodlayıcı, tam bağlantılı katmanlar aracılığıyla uzamsal-zamansal matris içindeki uzamsal özellikleri çıkarmaktadır. Trafik akışının mekânsal-zamansal özelliklerini yakalamak ve tahminde bulunmak için LSTM kullanılmaktadır. Veriseti olarak Çin'in Chengdu şehrinin Qingyang Bölgesi'nin trafik verileri kullanılmıştır. Deneysel sonuçlar, önerilen modelin seyrek otomatik kodlayıcı ve LSTM'den daha başarılı sonuçlar verdiğini göstermiştir.

Mohammed ve Kianfar tarafından yapılan çalışmada [12], trafik hacmi, trafik hızı ve karayolu bölümlerinin doluluğu gibi koşulların tahminine yönelik Deep Neural Networks (DNN), Random Forest (RF), Gradient Boosting ve Generalized Linear Model'in (GLM) karşılaştırmalı bir analizi yapılmıştır. Veriseti olarak Amerika Birleşik Devletleri'ndeki St. Louis, Missouri'deki Interstate 64'ten elde edilen veriler kullanılmıştır. Deneysel sonuçlar, RF'ın karşılaştırılan modellerden daha başarılı sonuçlar verdiğini göstermiştir. Trafik tahmin sürecine trafik akış hızı, doluluk ve zamanın dâhil edilmesinin trafik tahmin hatasını azalttığı görülmüştür.

Zhang ve ark. tarafından yapılan çalışmada [13], CNN tabanlı kısa vadeli trafik akışı tahmin modeli önerilmiştir. Önerilen modelde, zaman gecikmeleri ve konumsal veri miktarları Spatio-Temporal Feature Selection Algorithm (STFSA) ile belirlenir ve seçilen uzay-zamansal trafik akış özellikleri gerçek verilerden çıkarılarak iki boyutlu hale dönüştürülür. CNN, bu özellikler kullanılarak eğitilir. Deneysel sonuçlar, önerilen modelin doğruluk açısından kNN, SARIMA, ANN ve Support Vector Machine (SVM)'den daha iyi performans elde ettiğini göstermiştir.

Bratsas ve ark. tarafından yapılan çalışmada [14], Yunanistan'ın Selanik karayolu ağından toplanan araştırma verilerini kullanarak, LR, RF, SVM ve Multilayer Perceptron (MLP) modellerinin karşılaştırmalı bir analizi sunulmuştur. Deneysel çalışmalar, üç tür senaryoda kümelenmiş çoklu testler ile gerçekleştirilmiştir. İlk senaryo, algoritmaları rastgele seçilen farklı yollarda rastgele seçilen belirli tarihlerde test etmektedir. İkinci senaryo, 15 dakikalık aralıklarla rastgele seçilen yollarda algoritmaları test etmektedir. Üçüncü senaryo, algoritmaları tüm gün boyunca rastgele yollarda test etmektedir. Deneysel sonuçlar, MLP'nin karşılaştırılan modellere göre daha başarılı sonuçlar verdiğini göstermiştir.

Taş ve Müngen tarafından yapılan çalışmada [15], İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından sunulan 1 Ocak 2020 - 1 Ocak 2021 tarihleri arasındaki veriler kullanılarak bölgesel trafik yoğunluğunun tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada bölgesel hava koşulları ve trafik yoğunluk verileri kullanılarak SVM, MLP ve Genel Regresyon Sinir Ağı (General Regression Neural Network-GRNN) modellerinin sonuçları karşılaştırılmıştır. MAE, MAPE ve R^2 metriklerine göre deneysel sonuçlar elde edilmiştir. Deneysel sonuçlar önerilen sinir ağı modelinin %90 başarı oranı ile trafik yoğunluk tahmininde başarılı olduğunu göstermiştir.

Bu çalışmanın literatüre olan temel katkıları şu şekilde özetlenebilir:

- Trafik yoğunluk tahmine yönelik bu verisetinin kullanıldığı ilk çalışmadır.
- LSTM tabanlı bir derin öğrenme modeli geliştirilerek Linear Regression (LR), RF, SVM, MLP, CNN ve Recurrent Neural Network (RNN) gibi popüler makine öğrenmesi ve derin öğrenme modelleriyle karşılaştırmalı bir analiz yapılmıştır.
- Bu çalışma vasıtasıyla Türkçe literatüre katkıda bulunabilmek amaçlanmıştır.

II. TAHMİN YÖNTEMLERİ

Bu çalışmada LR, RF, SVM, MLP, CNN, RNN ve geliştirilen LSTM tabanlı modelin karşılaştırmalı bir analizi sunulmuştur.

LR, gelecekteki olayların sonucunu tahmin etmek için bağımsız bir değişken ile bağımlı bir değişken arasında doğrusal ilişki sağlayan bir algoritmadır [16]. LR, gözlemlenen verilere doğrusal bir denklem uydurarak iki değişken arasındaki ilişkiyi modellemeye çalışır. Genel model, bir bağımlı değişken olan y ile bir veya daha fazla bağımsız değişken olan x arasında doğrusal bir ilişki olduğunu varsayar. Tahmine dayalı analiz için veri bilimi ve makine öğreniminde kullanılan istatistiksel bir yöntemdir. Bağımsız değişken, değişmeden kalan yorumlayıcı veya açıklayıcı değişkendir. Ancak bağımlı değişken, bağımsız değişkendenki değişimlere göre farklı değerler almaktadır. Regresyon modeli, bağımlı değişkenin değerini tahmin etmektedir [17].

RF, sınıflandırma ve regresyon problemlerinde yaygın olarak kullanılan bir denetimli öğrenme algoritmasıdır. Farklı örnekler üzerinde karar ağaçları oluşturur ve regresyon problemlerinde ortalamayı, sınıflandırma problemlerinde ise çoğunluk oyunu alır. Karmaşık bir problemi çözmek ve modelin performansını iyileştirmek için birden fazla sınıflandırıcıyı birleştirme süreci olan topluluk öğrenme kavramına dayanmaktadır [18]. RF'nin en önemli özelliklerinden biri, regresyon problemlerinde olduğu gibi sürekli değişkenleri ve sınıflandırma durumunda olduğu gibi kategorik değişkenleri içeren verisetlerini işleyebilmesidir. RF, verisetinin çeşitli alt kümelerinde bir dizi karar ağacı içeren ve bu verisetinin tahmin doğruluğunu iyileştirmek için ortalamayı alan bir sınıflandırıcıdır. RF, tek bir karar ağacına güvenmek yerine, her ağaçtan ve tahminlerin çoğunluk oylarına dayalı olarak tahmini alır ve nihai çıktıyı tahmin eder [19].

SVM, sınıflandırma ve regresyon analizi için kullanılan bir öğrenme algoritmasıdır. SVM'in, verileri sınıflandırmak için kullandığı düz çizgiye hiperdüzlem adı verilir. SVM'in amacı, veri noktalarını belirgin bir şekilde sınıflandıran n -boyutlu bir uzayda bir hiperdüzlem bulmaktır [20]. Hiperdüzlemin her iki tarafında, hiperdüzleme en yakın olan veri noktalarına destek vektörleri adı verilir. Bunlar, hiperdüzlemin konumunu ve yönünü etkiler ve bu sayede SVM'in oluşturulmasına yardımcı olur [21].

MLP, doğrusal ve doğrusal olmayan veriler arasındaki ilişkiyi öğrenen bir sinir ağıdır. Girdiler ve çıktılar arasındaki eşlemenin doğrusal olmadığı bir yapıdadır. MLP, giriş ve çıkış katmanlarına ve birçok nöronun dâhil edildiği bir veya daha fazla gizli katmana sahiptir [22]. MLP'de her katman, bir sonrakini hesaplamalarının sonucuyla, verilerin dâhili temsiliyle besler. Bu süreç, gizli katmanlardan çıktı katmanına kadar devam eder. MLP, maliyet fonksiyonunu en aza indirmek amacıyla ağıdaki ağırlıkların yinelemeli olarak ayarlanmasına izin veren bir öğrenme mekanizması olan geriye yayılımı kullanmaktadır [23].

CNN, temel olarak görüntü verileri gibi iki boyutlu dizileri işleyebilen bir derin öğrenme modelidir. CNN'in, regresyon problemlerindeki sürekli verileri tahmin edebilmesi için ağına sonuna bir regresyon katmanı eklenmektedir. CNN, her biri bir görüntünün farklı özelliklerini algılamayı öğrenen birçok katmana sahip olabilir [24]. Her eğitim görüntüsüne farklı çözünürlüklerde filtreler uygulanır ve her bir görüntünün çıktısı bir sonraki katmana giriş olarak kullanılır. CNN bir giriş katmanı, bir çıkış katmanı ve bunların arasındaki birçok gizli katmandan oluşur. Bu katmanlar, verilere özgü özellikleri öğrenmek

amacıyla verileri değiştiren işlemleri yerine getirir. En yaygın kullanılan katmanlar konvülyasyon, Rectified Linear Unit (ReLU) ve pooling katmanlarıdır. Evrişim, giriş görüntülerini, her biri görüntülerden belirli özellikleri etkinleştiren bir dizi evrişimli filtreden geçirir. ReLU, negatif değerleri sıfıra eşleyerek ve pozitif değerleri koruyarak daha hızlı ve daha etkili eğitim sağlar. Havuzlama, doğrusal olmayan alt örnekleme geręekleřtirerek çıktıyı basitleştirir ve ağın öğrenmesi gereken parametre sayısını azaltır [25].

RNN, sıralı verileri veya zaman serisi verilerini işleyen bir derin öğrenme modelidir. Dil çevirisi, doğal dil işleme ve konuşma tanıma gibi sıralı veya zamansal problemler için yaygın olarak kullanılır. Mevcut girdi ve çıktıyı etkilemek için önceki girdilerden bilgi aldıkları için hafıza bloklarını kullanırlar [26]. RNN, bir önceki adımın çıktısının mevcut adıma girdi olarak beslendiği bir sinir ağıdır. RNN'in ayırt edici özelliği, zaman adımları üzerinden bilgi gönderme yetenekleridir. RNN', zaman adımları arasındaki bağlantılar için ek bir parametre matrisine sahiptir. RNN, her bir zaman adımındaki tahminlerin mevcut girdiye ve önceki zaman adımlarından gelen bilgilere dayandığı çıktı üretmek için eğitilir. RNN, yönlendirilmiş döngüleri olan bir grafik oluşturur. İleri beslemeli sinir ağlarından farklı olarak, bilgi ağdaki mevcut döngülerle katmandan katmana hareket eder [27]. Bu sayede her durum önceki durumlarından etkilenir. Döngülerin eklenmesi sayesinde RNN, geğmiş hesaplamaların saklanmasına izin veren bir hafıza yeteneğine sahiptir.

LSTM, bilginin kalıcı olmasını sağlayan gelişmiş bir RNN'dir. RNN'nin karşılaştığı kaybolan gradyan problemine çözüm olarak geliştirilmiştir. RNN'in eksikliği, kaybolan gradyan problemi nedeniyle uzun vadeli bağımlılıkları hatırlayamamalarıdır [28]. LSTM, uzun vadeli bağımlılık sorunlarına çözüm sunmak amacıyla geliştirilmiştir. LSTM temel olarak girdi kapısı, unutma kapısı ve çıktı kapısı birimlerinden oluşur. Girdi kapısı, hücreye gelen girdiden yeni bilgilerin öğrenmeye çalışıldığı birimdir. Unutma kapısı, önceki zaman damgasından gelen bilgilerin hatırlanıp hatırlanmayacağına veya alakasız ve unutulabilir olup olmadığına karar verir. Çıktı kapısı ise hücredeki güncellenmiş bilgiyi mevcut zaman damgasından bir sonraki zaman damgasına iletir [29].

III. GELİşTİRİLEN DERİN ÖğRENME TABANLI TAHMİN MODELİ

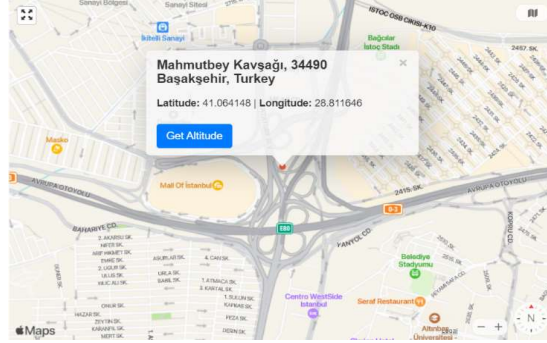
Bu çalışmada, İstanbul için trafikteki ortalama hız ve araç yoğunluğunun tahminine yönelik LSTM tabanlı bir derin öğrenme modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen model ile İstanbul'daki önemli kavşak noktalarından biri olan Başakşehir Mahmutbey kavşağındaki ortalama hızın ve trafik yoğunluğunun tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Geliştirilen LSTM tabanlı model LR, RF, SVM, MLP, CNN ve RNN ile uygulamalı olarak karşılaştırılmıştır.

A. VERİSETİ

Bu çalışmada İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından sunulan, Ocak 2021-Mayıs 2021 tarihleri arasındaki saatlik trafik yoğunluğu veriseti kullanılmıştır [30]. Kullanılan veriseti Date_Time, Longitude, Latitude, Geohash, Minimum_Speed, Maximum_Speed, Average_Speed ve Number_of_Vehicles özniteliklerinden oluşmaktadır. Date_Time Yıl/Ay/Gün ve saat cinsinden zaman bilgisini ifade etmektedir. Longitude boylam değerini, Latitude ise enlem değerini ifade etmektedir. Geohash enlem ve boylam değerlerine göre elde edilen coğrafi konum kodunu ifade etmektedir. Minimum_Speed, Maximum_Speed ve Average_Speed öznitelikleri sırasıyla minimum, maksimum ve ortalama hız değerlerini ifade etmektedir. Number_of_Vehicles ise belirli bir konumdan geçen saatlik araç sayısını ifade etmektedir.

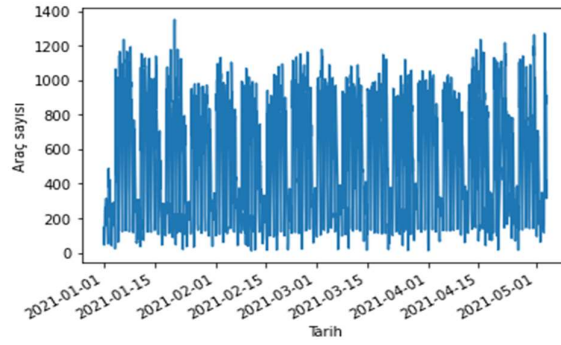
Verisetinde 2321 farklı noktaya ait trafik yoğunluk bilgileri bulunmaktadır. Trafik yoğunluğu ve hız tahmini yapılacak noktayı belirlemek için en yüksek araç sayısına sahip olan konum seçilmiştir. Enlem ve boylam değerlerine göre bu konumun Başakşehir Mahmutbey kavşağı olduğu görölmüş ve bu konum deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere seçilmiştir. Verisetinde, Başakşehir Mahmutbey Kavşağı'na

ait Ocak 2021-Mayıs 2021 tarihleri arasında bir saat aralıklarla kaydedilen 2900 satır araç verisi bulunmaktadır. Başakşehir Mahmutbey Kavşağı, TEM otoyolunun İstanbul'a batıdan giriş ve çıkışında önemli bir rol oynayan kilit bir kavşaktır. Bu kavşak, Başakşehir, İkitelli Organize Sanayi Bölgesi, İstoç, Bağcılar, Halkalı, Basın ekspres yolu, TEM otoyolu ve Kuzey Marmara Otoyolunu birbirine bağlamaktadır. Bu sebeple İstanbul'daki en yüksek trafik yoğunluğuna sahip kavşak durumundadır. Şekil 2'de 18 Haziran 2022 saat 15:44 için Google Maps üzerinden alınan Başakşehir Mahmutbey kavşağının bilgileri görülmektedir.



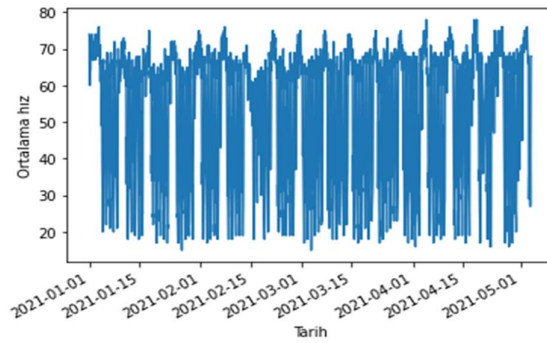
Şekil 2. Başakşehir Mahmutbey kavşağı.

Şekil 3'te Başakşehir Mahmutbey kavşağından saat başına geçen araç sayıları görülmektedir.



Şekil 3. Kavşak noktasından saat başına geçen araç sayıları.

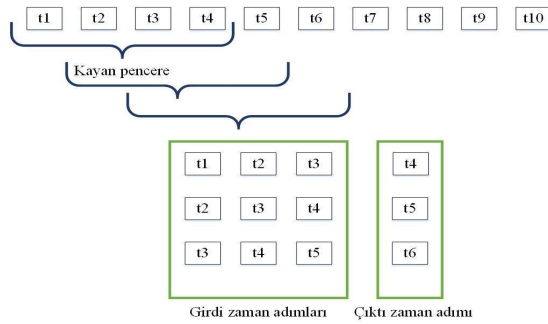
Şekil 4'te ise Başakşehir Mahmutbey kavşağından saat başına geçen araçların ortalama hızları görülmektedir.



Şekil 4. Kavşak noktasından saat başına geçen araçların ortalama hızları.

B. VERİ ÖN-İŞLEME

Bu çalışmada, kullanılan veriseti zaman serisi verilerinden oluşmaktadır. Zaman serisi verileri, zaman sırasına göre indekslenen veri noktası dizileridir. Bu veri noktaları tipik olarak aynı kaynaktan bir zaman aralığında yapılan ardışık ölçümlerden oluşur ve zaman içindeki değişimi izlemek için kullanılır. Zaman serisi verilerinin makine öğrenmesi modellerinin işleyebileceği denetimli öğrenme problemi olarak yapılandırılması gereklidir. Zaman serisi verileri kayan pencere yöntemi kullanılarak denetimli öğrenme problemi yapısına dönüştürülebilir. Kayan pencere yöntemi, gelecek gözlem değerlerinin, geçmiş gözlem değerleri kullanılarak tahmin edilmesi temeline dayanmaktadır. Kayan pencerenin büyüklüğü, pencere içerisine yerleştirilecek zaman adımlarının sayısına göre belirlenmektedir. Bu çalışmada, yapılan deneysel çalışmaların sonucuna göre kayan pencere boyutu 3 olarak seçilmiştir. Şekil 5'te görüldüğü gibi t_3 , t_2 ve t_1 zaman adımlarındaki veriler kayan pencerenin girdisi, t zaman adımındaki veri ise kayan pencerenin çıktısı olacak şekilde zaman serisi verileri denetimli öğrenme problemine dönüştürülmüştür.



Şekil 5. Kayan pencere yöntemi.

Veriler denetimli öğrenme formatına dönüştürüldükten sonra Scikit Learn kütüphanesinden MinMaxScaler metodu kullanılarak 0-1 aralığında normalize edilmiştir. Normalizasyon adımından sonra veriler eğitim, test ve doğrulama kümelerine ayrılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda en yüksek tahmin doğruluğuna %80 eğitim ve %20 test kombinasyonunda erişildiği için bu değerler deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere seçilmiştir. Eğitim verilerinin %10'u doğrulama için ayrılmıştır. Doğrulama verileri uygulanan modellerin parametrelerinin optimizasyonu için kullanılmıştır. Uygulanan modellerin en iyi tahmin sonuçlarını elde edebilmesi için Scikit Learn kütüphanesinden GridSearchCV metodu kullanılarak model parametreleri optimize edilmiştir. Grid SearchCV, belirtilen tüm hiperparametrelerin ve değerlerinin farklı bir kombinasyonunu kullanır ve her bir kombinasyon için performansı hesaplayarak hiperparametreler için en iyi değeri seçer.

C. DEĞERLENDİRME METRİKLERİ

Regresyon problemlerinde yapılan tahminler ile gerçek değerler arasındaki hata oranını belirleyebilmek için temel olarak Mean Squared Error (MSE), Root Mean Squared Error (RMSE), Mean Absolute Error (MAE) ve R Squared (R^2) metrikleri kullanılmaktadır. MSE, gözlenen ve tahmin edilen değerler arasındaki ortalama kare farkını değerlendirir. Bir modelde hata olmadığında, MSE sifıra eşittir. Model hatası arttıkça değeri de artar. MSE, y gerçek değerleri, tahmin edilen değerleri ve n ise örnek sayısını ifade etmek üzere Eş.1 kullanılarak hesaplanır.

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y - \hat{y})^2 \quad (1)$$

RMSE, tahmin hataların standart sapmasını hesaplamaktadır. RMSE, tahmin hatalarının regresyon çizgisi veri noktalarından ne kadar uzakta olduğunu bir ölçüsüdür RMSE, MSE'nin karekökü alınarak Eş.2'de görüldüğü gibi hesaplanır.

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

MAE, gözlenen değerler ile tahmin edilen değerler arasındaki farkların mutlak değerlerinin ortalamasını ifade eder. Tahmin hataların ortalamasını hesaplamaktadır. MAE, Eş.3 kullanılarak hesaplanmaktadır.

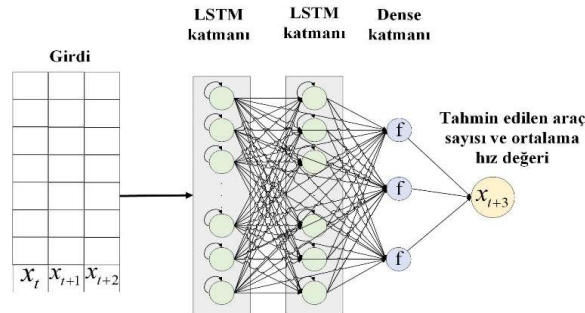
$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y - \hat{y}| \quad (3)$$

R^2 , bir regresyon modelindeki değişkenler tarafından açıklanan bir bağımlı değişken için varyansın oranını temsil eden istatistiksel bir ölçüdür. R^2 , doğrusal regresyon modelleri için bir uyum iyiliği ölçüsüdür. R^2 , tahmin edilen y değerlerini, ise y değerlerinin ortalamasını ifade etmek üzere Eş.4 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$R^2 = \frac{\sum (y - \hat{y})^2}{(y - \bar{y})^2} \quad (4)$$

D. GELİŞTİRİLEN LSTM TABANLI DERİN ÖĞRENME MODELİ

Bu çalışmada geliştirilen LSTM tabanlı derin öğrenme modeli, kavşaktan geçen saatlik araç sayısı ve araçların ortalama hız değerlerini girdi olarak almakta, çıktı olarak araç sayısı ve ortalama hız tahminleri üretmektedir. Geliştirilen LSTM tabanlı modelin mimarisi Şekil 6'da görülmektedir.



Şekil 6. Geliştirilen LSTM tabanlı modelin mimarisi.

Bu çalışmada, geliştirilen modelin parametrelerinin optimize edilmesi amaçlanmıştır. Denetimli öğrenme problemi yapısına dönüştürülen zaman serisi verileri LSTM'e girdi olarak sunulmuştur. Parametre analizi çalışmalarıyla katman sayısı, nöron sayısı, eğitim sayısı ve yığın boyutu gibi parametreler ile en yüksek tahmin doğruluğuna ulaşmak amaçlanmıştır. Optimize edici olarak Adam kullanılmıştır. Geliştirilen çok katmanlı LSTM mimarisinde parametrelerin optimizasyonu için GridSearchCV kütüphanesi kullanılmıştır. Katman sayısının ve gizli katmanlarda bulunan nöron sayılarının belirlenmesi için deneysel çalışmalar yapılmıştır. 2 gizli katman ve 128 nörondan oluşan bir ağ yapısı oluşturulmuştur. En yüksek tahmin doğruluğuna sahip parametreler belirlendikten sonra model oluşturulmuştur.

IV. DENEYSEL SONUÇLAR

Bu çalışmada, İstanbul'daki en yoğun kavşak noktalarından biri olan Başakşehir Mahmutbey kavşağından saatlik olarak geçen araç sayısı ve geçen araçların ortalama hızlarının tahminine yönelik LR, RF, SVM, MLP, CNN ve RNN'in geliştirilen LSTM tabanlı derin öğrenme modeliyle karşılaştırmalı bir analizi sunulmuştur. Uygulanan her bir algoritma ve model için MSE, RMSE, MAE ve R^2 metriklerine göre elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Karşılaştırılan modellerin en iyi sonuçları elde edebilmeleri için GridSearchCV kullanılarak modellerin parametreleri analiz edilmiştir. RF için bootstrap=True, max_depth=70, max_features=auto, min_samples_leaf=4, min_samples_split=10 ve n_estimators=400 olarak seçilmiştir. SVM için C=10, gamma=1e-07, epsilon=0.1 ve kernel=linear olarak seçilmiştir. MLP için input_size=24, nodes=100, epochs=100 ve batch_size=1 olarak seçilmiştir. CNN için input_size=12, filters=64, kernel_size=5, epochs=100, batch_size=1 ve activation=relu olarak seçilmiştir. RNN için input_size=24, nodes=64, epochs=50, batch_size=16 ve optimizer=adam olarak seçilmiştir. LSTM için input_size=24, nodes=128, epochs=100, batch_size=32 ve optimizer=adam olarak seçilmiştir.

Doğrulama verileri kullanılarak parametre optimizasyonu yoluyla en uygun parametreler belirlendikten sonra modeller oluşturulmuştur. Zaman serisi modelleme problemlerinde, tahmin edilen tarih ilerledikçe yapılan tahminler hataya meyilli olma eğilimindedir. Bu nedenle, modeli gelecekteki tahminler için gerçek verilerle yeniden eğitmek ve eşzamanlı olarak doğrulamak gerçekçi bir yaklaşım olacaktır. Bu amaçla ileri yürüyüş doğrulaması (Walk forward validation) tekniği kullanılarak tahmin doğruluğunun artırılması hedeflenmiştir. Zaman serisinin başlangıcından itibaren, bir modeli eğitmek için penceredeki minimum örnek sayısı kullanılır. Model, bir sonraki zaman adımı için bir tahminde bulunur. Tahmin edilen değer, gerçek değere ile karşılaştırılır. İleri yürüyüş doğrulamasında kayan pencere, gerçek değeri içerecek şekilde genişletilir ve bu süreç tekrarlanır.

Tablo 1'de kavşaktan saatlik olarak geçen araç sayısı tahmine yönelik karşılaştırmalı deneysel sonuçlar görülmektedir.

Tablo 1. Araç sayısı tahminine yönelik deneysel sonuçlar.

Modeller	MSE	RMSE	MAE	R^2
LR	18081,293	134,466	94,807	0,824
RF	13009,035	114,057	82,962	0,873
SVM	18795,840	137,097	90,415	0,817
MLP	12697,998	112,685	82,680	0,876
CNN	13093,633	114,427	82,772	0,872
RNN	12554,149	112,045	80,907	0,878
LSTM	10545,670	102,692	71,116	0,897

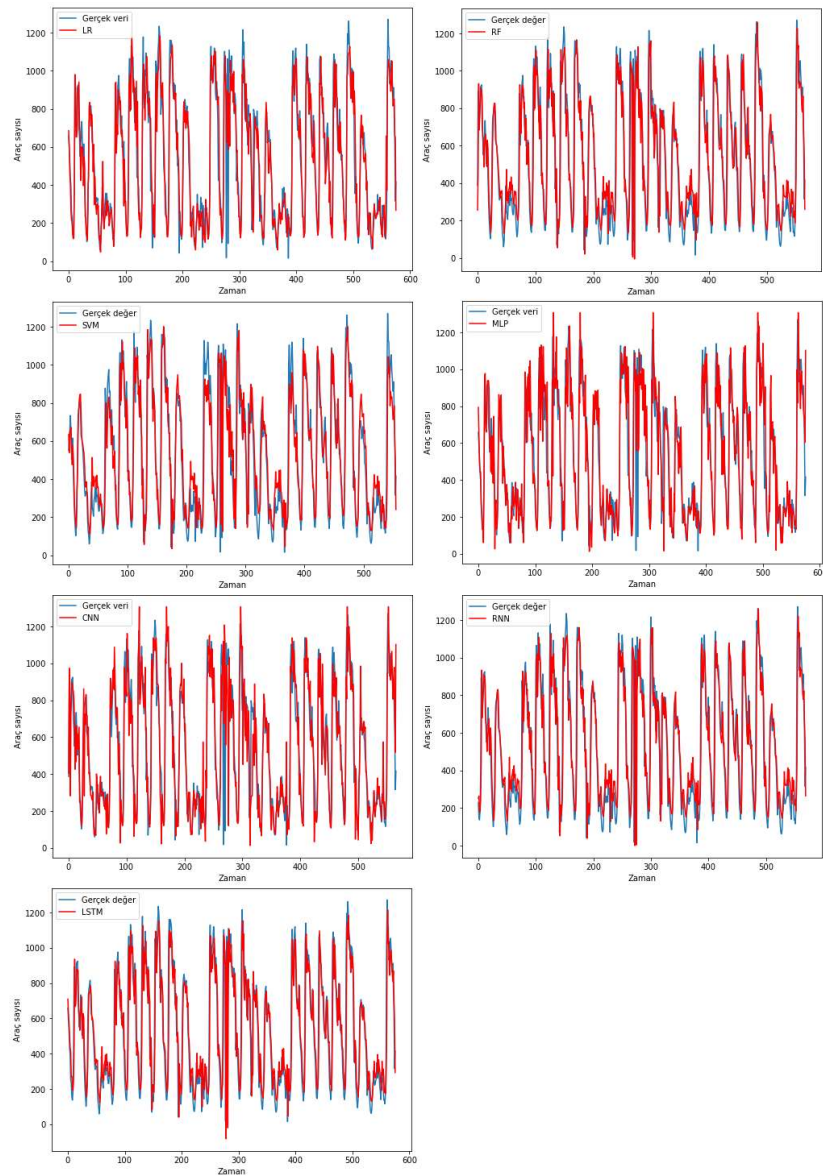
Kavşaktan geçen araç sayısı tahminine yönelik deneysel sonuçlar LSTM'in karşılaştırılan modellerden daha başarılı olduğunu göstermiştir. LSTM'in ardından RNN, MLP, RF, CNN, LR ve SVM sırasıyla başarılı olmuştur. LSTM, kavşaktan geçen araç sayısı tahmininde 71,116 MAE ve 0,897 R^2 değerine sahip olmuştur.

Tablo 2'de kavşaktan geçen araçların ortalama hızlarının tahmine yönelik karşılaştırmalı deneysel sonuçlar görülmektedir.

Tablo 2. Araçların ortalama hızlarının tahminine yönelik deneysel sonuçlar.

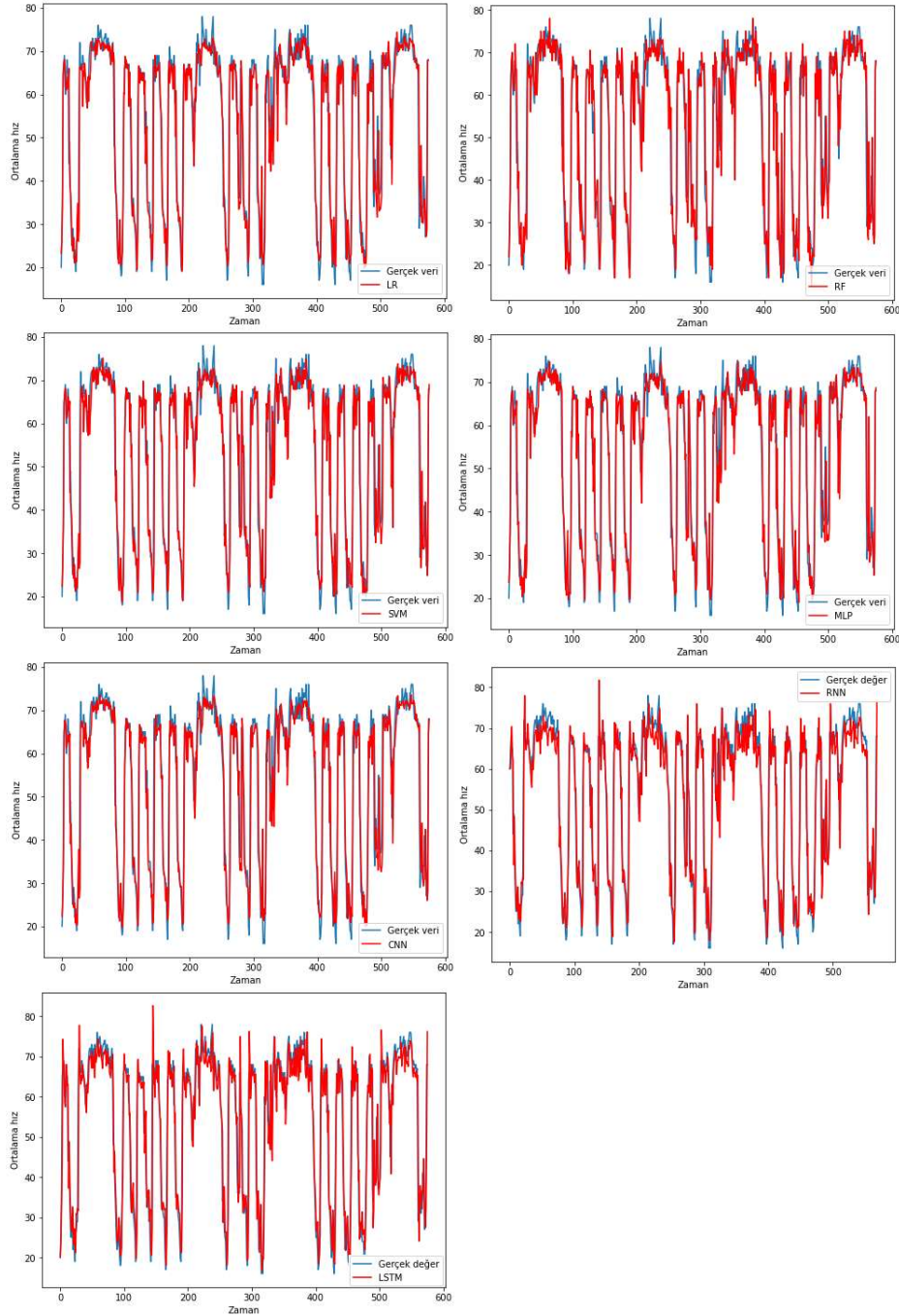
Modeller	MSE	RMSE	MAE	R ²
LR	46,980	6,854	4,743	0,858
RF	44,543	6,674	4,362	0,866
SVM	47,446	6,888	4,501	0,857
MLP	42,469	6,517	4,423	0,872
CNN	44,806	6,694	4,511	0,865
RNN	44,310	6,657	4,321	0,866
LSTM	38,857	6,234	3,989	0,883

Kavşaktan geçen araçların ortalama hızlarının tahminine yönelik deneysel sonuçlar LSTM'in karşılaştırılan modellerden daha başarılı olduğunu göstermiştir. LSTM'in ardından MLP, MLP, RNN, RF, LR ve SVM sırasıyla başarılı olmuştur. Şekil 7'de araç sayısı tahmini için uygulanan modellerin test veriseti üzerindeki tahmin grafikleri görülmektedir.



Şekil 7. Araç sayısı tahmini için modellerin tahmin grafikleri

Şekil 8'de ortalama hız tahmini için uygulanan modellerin test veriseti üzerindeki tahmin grafikleri görülmektedir.



Şekil 8. Ortalama hız tahmini için modellerin tahmin grafikleri.

Şekil 7 ve Şekil 8'de görüldüğü gibi geliştirilen model, araç sayısı ve ortalama hız değerlerinde görülen dalgalanmaları diğer modellere göre daha başarılı bir şekilde tahmin etmiştir.

Tahmin hatalarının ortalamasını ifade eden MAE metriği, araç sayısı tahmininde yaklaşık 71 araçlık hata değeriyle tahminlerin yapıldığını göstermektedir. Araçların ortalama hızlarının tahminine yönelik

deneysel sonuçlar ise LSTM'in yaklaşık 4 MAE değerine sahip olduğunu göstermiştir. Bu değerler, Başakşehir Mahmutbey Kavşağı gibi yoğun bir nokta için oldukça başarılıdır. R^2 değeri ise modelin verisetine sağladığı uyumun ölçüsüdür. R^2 değeri araç sayısı ve ortalama hız tahmininde yaklaşık olarak 0,9 değerine sahip olmuştur. Bu sonuçlar, geliştirilen modelin verisetine oldukça iyi uyum sağladığını göstermektedir.

V. SONUÇLAR

Dünyanın birçok kentinde yaşanan trafik sıkışıklığı problemi, kentsel yaşam kalitesi üzerinde bir tehdit oluşturmaktadır. Trafik sıkışıklığı yolculuk sürelerinde, yakıt tüketiminde, işletme maliyetlerinde ve çevre kirliliğinde artışa neden olmaktadır. Günümüzde giderek artan araç sayılarıyla birlikte, sürdürülebilir mobilite ve trafik durumu tahmini, kentsel alanlardaki trafik sıkışıklığını azaltmada kilit bir rol oynamaktadır. Trafik akışı tahmini, akıllı ulaşım sisteminin önemli bir parçasıdır. Trafik akışı tahmini, gelecekte belirli bir zaman aralığında belirli bir bölgedeki trafik akışının doğru bir şekilde tahmin edilmesini ifade etmektedir.

Gelişen teknolojilerle birlikte, şehirlerdeki çeşitli noktalara yerleştirilen sensörler vasıtasıyla trafik gözlemleri yapılmaktadır. Anlık olarak elde edilen araç verileri kullanılarak araç sayısı ve hız gibi trafik planlamasına yönelik bilgiler elde edilmektedir. Bilgi ve iletişim teknolojilerinin trafik planlaması alanında kullanımı, trafik verilerini akıllı ulaşım sistemi uygulamaları için önemli bir gerçek zamanlı veri kaynağı haline getirmektedir.

Bu çalışmada, İstanbul'daki önemli kavşak noktalarından biri olan Başakşehir Mahmutbey kavşağından saatlik olarak geçen araç sayısı ve geçen araçların ortalama hızlarının tahminine yönelik LR, RF, SVM, MLP, CNN ve RNN'in geliştirilen LSTM tabanlı derin öğrenme modeliyle karşılaştırmalı bir analizi sunulmuştur. Uygulanan her bir algoritma ve model için MSE, RMSE, MAE ve R^2 metriklerine göre elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Deneysel sonuçlar, geliştirilen modelin karşılaştırılan modellerden daha yüksek bir tahmin doğruluğuna sahip olduğunu göstermiştir.

Kavşaktan geçen araç sayısı tahminine yönelik deneysel sonuçlar geliştirilen LSTM tabanlı modelin 10545,670 MSE, 102,692 RMSE, 71,116 MAE ve 0,897 R^2 değerine sahip olduğunu göstermiştir. Kavşaktan geçen araçların ortalama hızlarının tahminine yönelik deneysel sonuçlar geliştirilen LSTM tabanlı modelin 38,857 MSE, 6,234 RMSE, 3,989 MAE ve 0,883 R^2 değerine sahip olduğunu göstermiştir.

LSTM'in karşılaştırılan modellerden daha başarılı olması LSTM'in geri beslemeli yapısı ile açıklanabilir. Bu yapı geçmiş özelliklerin hatırlanmasını ve ağa tekrar girdi olarak sunulmasını sağlayarak daha başarılı bir tahmin performansına sahip olunmasını sağlamıştır. RNN'in MLP ve CNN'den daha başarılı olması RNN'in tekrarlı yapısı ile açıklanabilir. RNN, önceden belirlenmiş herhangi bir boyut sınırı olmaksızın bir dizi girdi alacak şekilde tasarlanmıştır. RNN, dizideki önceki değerini veya durumun belleğini koruyarak dizileri işlemektedir. Bu sayede, RNN'de mevcut adımın çıkışı bir sonraki adımın girişi olmaktadır. Model her aşamada hem mevcut girdiyi hem de önceki tüm çıktıları dikkate almaktadır. RF'in SVM'den daha başarılı olmasının nedeni veri setinin yapısı ile yorumlanabilir. RF, özellikler çeşitli ölçeklerde olduğunda avantajlıdır. Bu durum, RF'nin verileri olduğu gibi kullanmasına izin verir. SVM ise farklı noktalar arasındaki marjı maksimize eder ve noktalar arasındaki mesafeyi hesaplar. SVM'in LR ile benzer sonuçlara sahip olması, verisetindeki öznitelliklerin yapısı ile açıklanabilir. LR, verisetinin boyutu küçük olduğunda ve birçok özelliğe sahip olduğunda SVM'den daha iyi performans gösterebilir. Kategorik veriler için SVM, LR'den daha başarılıdır.

Trafik akışının hacmini ve yoğunluğunu tahmin etmek, araç hareketlerini yönetmek, trafik sıkışıklığını azaltmak ile en az zaman ve yakıt tüketen rotayı oluşturmak amacıyla önemlidir. Trafik tahmini problemi ulusal ve yerel yönetimler ile ulaşım şirketleri açısından da oldukça önemlidir. Bu sebeple anlık olarak üretilen veri miktarlarının artışıyla elde edilen farklı çeşitlilikteki trafik verileri, yapay zekâ yöntemleri kullanılarak analiz edilmektedir. Bu amaç doğrultusunda gerçekleştirilen bu çalışmada elde

edilen sonuçlar, gerçek dünya uygulamalarına adapte edilerek trafik yönetimi konusunda etkili planlamalar yapılabilir. Gelecek çalışmalarda, veriseti genişletilerek İstanbul'daki trafik yoğunluğu yüksek diğer noktalar için de analizler yapılması planlanmaktadır. Hibrit bir derin öğrenme modeli geliştirilerek araç sayısı ve ortalama hız tahmininde daha başarılı sonuçların elde edilmesi amaçlanmaktadır.

V. KAYNAKLAR

- [1] M. Shahidehpour, Z. Li, and M. Ganji, "Smart cities for a sustainable urbanization: Illuminating the need for establishing smart urban infrastructures," *IEEE Electrification Magazine*, vol. 6, no. 2, pp. 16-33, 2018.
- [2] A. Sumalee, and H. W. Ho, "Smarter and more connected: Future intelligent transportation system," *Iatss Research*, vol. 42, no. 2, pp. 67-71, 2018.
- [3] X. Yin, G. Wu, J. Wei, Y. Shen, H. Qi, and B. Yin, "Deep learning on traffic prediction: Methods, analysis and future directions," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 23, no. 6, pp. 4927 – 4943, 2021.
- [4] C. Benevolo, R. P. Dameri, and B. D'auria, "Smart mobility in smart city. In Empowering organizations," *Empowering Organizations*, 2016, pp. 13-28.
- [5] A. Thiagarajan, L. Ravindranath, K. LaCurts, S. Madden, H. Balakrishnan, S. Toledo, and J. Eriksson, "Vtrack: accurate, energy-aware road traffic delay estimation using mobile phones," *In Proceedings of the 7th ACM conference on embedded networked sensor systems*, 2009, pp. 85-98.
- [6] E. Ozus, S. S.Turk, and V. Dokmeci, "Urban restructuring of Istanbul," *European Planning Studies*, vol. 19, no. 2, pp. 331-356, 2011.
- [7] NTV HABER. (2022, 25 Haziran). İstanbul trafiğinde yoğunluk [Çevrimiçi]. Erişim: https://www.ntv.com.tr/turkiye/istanbul-trafiginde-yogunluk,p7VKP_LQsU21SJcUNIOYUA
- [8] R. Fu, Z. Zhang, and L. Li, "Using LSTM and GRU neural network methods for traffic flow prediction," *In 2016 31st Youth Academic Annual Conference of Chinese Association of Automation (YAC)*, 2016, pp. 324-328.
- [9] Y. Liu, H. Zheng, X. Feng, and Z. Chen, "Short-term traffic flow prediction with Conv-LSTM," *In 2017 9th International Conference on Wireless Communications and Signal Processing (WCSP)*, 2017, pp. 1-6.
- [10] Z. Duan, Y. Yang, K. Zhang, Y. Ni, S. Bajgain, "Improved deep hybrid networks for urban traffic flow prediction using trajectory data," *Ieee Access*, vol. 6, pp. 31820-31827, 2018.
- [11] F. Lin, Y. Xu, Y. Yang, and H. Ma, "A spatial-temporal hybrid model for short-term traffic prediction," *Mathematical Problems in Engineering*, vol. 19, 2019.
- [12] O. Mohammed, and J. Kianfar, "A machine learning approach to short-term traffic flow prediction: A case study of interstate 64 in Missouri," *In 2018 IEEE International Smart Cities Conference (ISC2)*, 2018, pp. 1-7.
- [13] W. Zhang, Y. Yu, Y. Qi, F. Shu, and Y. Wang, "Short-term traffic flow prediction based on spatio-temporal analysis and CNN deep learning," *Transportmetrica A: Transport Science*, vol. 15, no. 2, pp. 1688-1711, 2019.

- [14] C. Bratsas, K. Koupidis, J. M. Salanova, K. Giannakopoulos, A. Kaloudis, and G. Aifadopoulou, "A comparison of machine learning methods for the prediction of traffic speed in urban places," *Sustainability*, vol. 12, no. 1, 2019.
- [15] Taş, İ. Ç., and Müngen, A. A. "Yapay Sinir Ağları Ve Destek Vektör Makineleri Yöntemleri İle Bölgesel Trafik Yoğunluk Tahmini," *Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, vol. 8, no. 15, pp. 378-390, 2021.
- [16] R. Zhu, X. Hu, J. Hou, and X. Li, "Application of machine learning techniques for predicting the consequences of construction accidents in China," *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 145, pp. 293-302, 2021.
- [17] N. Fumo, and M. R. Biswas, "Regression analysis for prediction of residential energy consumption," *Renewable and sustainable energy reviews*, vol. 47, pp. 332-343, 2015.
- [18] J. K. Jaiswal, and R. Samikannu, "Application of random forest algorithm on feature subset selection and classification and regression," *In 2017 world congress on computing and communication technologies (WCCCT)*, 2017, pp. 65-68.
- [19] 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, 2018.
- [20] Z. K. Şentürk, and N. Çekiç, "A machine learning based early diagnosis system for mesothelioma disease," *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 8, s. 2, ss. 1604-1611, 2020.
- [21] L. Piyathilaka, and S. Kodagoda, "Affordance-map: Mapping human context in 3d scenes using cost-sensitive svm and virtual human models," *In 2015 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO)*, 2015, pp. 2035-2040.
- [22] D. H. Lee, Y. T. Kim, and S. R. Lee, "Shallow landslide susceptibility models based on artificial neural networks considering the factor selection method and various non-linear activation functions," *Remote Sensing*, vol. 12, no. 7, 2020.
- [23] A. İ. Taş, P. Gülüm, and G. Tulum, "Finansal Piyasalarda Hisse Fiyatlarının Derin Öğrenme ve Yapay Sinir Ağı Yöntemleri ile Tahmin Edilmesi; S&P 500 Endeksi Örneği," *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 9, s. 3, ss. 446-460, 2021.
- [24] X. Wan, H. Song, L. Luo, Z. Li, G. Sheng, and X. Jiang, "Pattern recognition of partial discharge image based on one-dimensional convolutional neural network," *In 2018 Condition Monitoring and Diagnosis (CMD)*, 2018, pp. 1-4.
- [25] M. Volpi, and D. Tuia, "Dense semantic labeling of subdecimeter resolution images with convolutional neural networks," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 55, no. 2, pp. 881-893, 2016.
- [26] Y. Tian, and L. Pan, "Predicting short-term traffic flow by long short-term memory recurrent neural network," *In 2015 IEEE international conference on smart city/SocialCom/SustainCom (SmartCity)*, 2015, pp. 153-158.
- [27] L. Mou, P. Ghamisi, and X. X. Zhu, "Deep recurrent neural networks for hyperspectral image classification," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 55, no. 7, pp. 3639-3655, 2017.




- [28] P. Bahad, P. Saxena, and R. Kamal, "Fake news detection using bi-directional LSTM-recurrent neural network," *Procedia Computer Science*, vol. 165, pp. 74-82, 2019.
- [29] S. Patil, V. M. Mudaliar, P. Kamat, S. Gite, "LSTM based Ensemble Network to enhance the learning of long-term dependencies in chatbot," *International Journal for Simulation and Multidisciplinary Design Optimization*, vol. 11, no. 25, 2020.
- [30] İstanbul Büyükşehir Belediyesi. (2022, 25 Mayıs). Saatlik Trafik Yoğunluk Veri Seti [Çevrimiçi]. Erişim: <https://data.ibb.gov.tr/dataset/hourly-traffic-density-data-set>



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Ülkemizde *Agaricus bisporus* Mantarları Üretimi Yapan İşletmelerin Karşılaştığı Sorunlar ve Çözüm Önerilerinin Belirlenmesi

 Selim GÜVEN^a,  Mesut YALÇIN^{a,*},  Tarık GEDİK^a

^a Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Orman Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: mesutyalcin@düzce.edu.tr

DOI:10.29130/dubited.1166509

ÖZ

Agaricus bisporus, geçmişten günümüze Dünya’da ve Türkiye’de üretimi en fazla yapılan kültür mantarı türlerinden birisidir. Yapılan bu çalışmada, Dünyada ve ülkemizde üretimi en fazla yapılan *Agaricus bisporus* (Beyaz şapkalı mantar) yenilebilir mantar üreticilerinin karşılaştıkları sorunlar ve bu sorunlara karşı benimsedikleri çözüm önerileri araştırılmıştır. Çalışma ülkemiz genelinde 18 ilde faaliyet gösteren toplam 26 işletmede yüz yüze ve telefon yoluyla anket çalışması yapılarak gerçekleştirilmiştir. Anket kapsamında, işletmelerin demografik ve diğer bazı özelliklerinin yanı sıra üreticilerin karşılaştıkları sorunlar ve çözüm önerileri ele alınmıştır. Elde edilen sonuçlara göre üreticilerin belirttiği en önemli sorunlar sırasıyla, mantarın hızlı bozunma riskinin olması, mantar miseli (tohumu) çok pahalı olması, enerji maliyetlerinin yüksek olması, sermaye ve eğitim olmaksızın işletme kurulumu, nakliye masraflarının yüksekliği ve örgütsüzlük sorunu olarak sıralanabilir. Üreticilerinin sorunlara karşı alınabilecek en önemli çözüm önerileri ise sırasıyla, mantar satış noktalarında açıkta satmak yerine soğutuculu reyonlarda satışa sunulması, enerji giderlerinin azaltılmasına yönelik önlemler, “Mantar zehirlidir” yargısının ortadan kaldırılmasına yönelik çalışmalar, müteşebbislerin belli bir sermayeye ve eğitime sahip olmaksızın işletme kurulumuna izin verilmemesidir.

Anahtar Kelimeler: *Agaricus bisporus*, beyaz şapkalı mantar, mantar üreticilerinin sorunları, üreticilerin çözüm önerileri, Türkiye

Determination of the Problems and Suggestions of *Agaricus bisporus* Mushroom Manufacturing Plant in Our Country

ABSTRACT

Agaricus bisporus is one of the most cultivated mushroom species in the world and in Turkey from past to present. The aim of the study was to investigate the problems faced by the producers of the *Agaricus bisporus* (button mushroom) edible mushroom, which is the most produced in the world and in our country, and the solutions they adopt to these problems. The study was carried out by conducting face-to-face and telephone surveys in a total of 26 enterprises operating in 18 provinces throughout our country. Within the scope of the survey, the demographic and some other characteristics of the enterprises, as well as the problems faced by the producers and their solution suggestions were discussed. According to the results obtained, the most important problems stated by the producers can be listed as the risk of rapid decomposition of the mushroom, the mushroom mycelium (seed) being very expensive, the high energy costs, the establishment of a business without capital and training, the high transportation costs, and the problem of disorganization. The most important solution proposals that can be taken by the producers are, respectively, selling mushrooms in refrigerated aisles instead of selling them openly at sales points, measures to reduce energy costs, efforts to eliminate the "mushrooms are poisonous" judgment, and not allowing entrepreneurs to establish a business without having a certain capital and training.

Keywords: *Agaricus bisporus*, button mushroom, manufacturers' problems, manufacturers' solutions, Turkey.

I. GİRİŞ

Her geçen gün giderek artan dünya nüfuzu, küresel ısınmanın etkisi ve yanlış tarım uygulamaları nedeniyle tarımsal ürünlerde arz ve talep dengesi bozulmaktadır. Bu durum ülkelerin besin ihtiyaçlarını karşılamada alternatif ürünlerin aranmasına yol açmıştır. Yemeklik kültür mantarı, besin ihtiyacını karşılamada önemli bir alternatif olarak ortaya çıkmış ve her geçen gün üretim ve tüketimi artış gösteren önemli bir besin kaynağıdır. Yemeklik kültür mantarını önemli bir alternatif yapan sebepler ise; iklimatik koşullardan bağımsız olarak yıl boyu esnek bir üretim tekniğinin olması, büyük boyutlu ve değerli arazilere ihtiyaç duymadan üretim yapılabilmesi, aile işletmesi seviyesinden orta ve büyük ölçekli işletme boyutlarında üretim yapabilme olanakları, ülkelerin iklim şartları ve toprak yapısından bağımsız olarak dünyanın birçok yerinde üretilebilme potansiyelinin olması ve nispeten düşük sermaye yatırımları ile tesis kurulabilme olanağına sahip olmasıdır [1], [2].

A. bisporus, dünya genelinde üretimi yapılan en önemli yenilebilir mantarlardan birisi olup, dünya çapındaki toplam yenilebilir mantar üretiminin %35-45'ine katkıda bulunmaktadır [3]. Kültür mantarı üretimi ülkemizde son yıllarda giderek artan bir büyüme ivmesine sahiptir. Ülkemizde mantar üretiminin 2013 yılında 34,494 ton iken, 2019 yılında 49,364 tona ulaştığı saptanmıştır. Daha önce yapılan çalışmalar göz önüne alındığında, mantar üretiminin en fazla olduğu yerler sıralamasında Antalya ili birinci, Burdur ili ikinci ve Konya ili üçüncü sıradadır [4].

Türkiye'nin ihracat kalemlerinden biri olan mantar ürünleri ile ilgili TÜİK verilerinin yıllara göre dağılımı incelendiğinde, *Agaricus* cinsi mantar üretimi (taze/soğutulmuş) belli yıllarda artış belli yıllarda azalma eğilimi göstermiş fakat 2018 ve 2019 yıllarında tekrar yükselişe geçmiştir. *Agaricus* cinsi mantarlar (dondurulmuş ve kurutulmuş) ise son yıllarda kayda değer bir ihracat rakamı tespit edilmemiştir. *Agaricus* mantar konserve şeklinde ihracat rakamları irdelendiğinde hem döviz getirisi bakımından hem rakamsal açıdan ciddi getirileri olduğu anlaşılmaktadır [4], [5].

Ülkemizde kültür mantarı üretim, tüketim davranışları, üreticilerin sorunlarına yönelik bazı çalışmalar bulunmaktadır [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15]. Bu çalışmaların geneli ele alındığında, geçmişten günümüze doğru gelindiğinde sorunların önem dereceleri değişme göstermektedir. Örneğin geçmişte ülkemizdeki mantar üreticiliğinde en önemli sorunların başında çoğu işletmenin bir aile işletmesi olması gelmektedir. Bu işletmelerde mantarcılık için en önemli hususlardan birisi olan modern iklimlendirme sistemleri olmadığından mantar verimi, kalitesi ve ürün devamlılığında sıkıntılar yaşanmıştır. Ancak bu durum gün geçtikçe teknolojinin ilerlemesiyle daha modern ve büyük ölçekli tesislerin kurulması ve işletmelerin şirketleşmesiyle önemli ölçüde çözüme kavuşturulmuştur. Yapılan bu çalışma önceki yapılan çalışmaların bir devamı niteliğindedir. Çünkü daha önce yapılan çalışmaların çoğunun bölgesel olması ve tüketici davranışlarının ve üretici işletme sorunlarının zamana bağlı olarak değişkenlik göstermesi bu tür çalışmaları belirli dönemler ile tekrarlanarak sorunlara karşı alternatif çözüm önerilerinin sunulması açısından gerekli kılmıştır.

II. MATERYAL VE METOT

Çalışma, ülkemizde en fazla üretimi ve tüketimi yapılan yemeklik mantarından *Agaricus bisporus* (Beyaz şapkali mantar) üretimi yapan 26 işletmede 2019 yılı içerisinde gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda özellikle mantar üretiminin yoğun olduğu yerler başta olmak üzere Adana (1), Afyonkarahisar (1), Ankara (2), Antalya (7), Balıkesir (1), Bitlis (1), Bursa (1), Düzce (1), Erzurum (1), İzmir (1), Kayseri (1), Karabük (1), Kocaeli (1), Kütahya (1), Malatya (1), Samsun (1), Sakarya (2) ve Trabzon (1) illerinde faaliyet gösteren işletmelerde yüz yüze ve telefon yoluyla anket çalışması yapılmıştır. Anket hazırlanırken daha önce konu ile ilgili yapılmış bilimsel çalışmalarda soru kalıplarının yanı sıra üreticiler ile daha önce telefon ve yüz yüze yapılan ön görüşmelerde belirttikleri hususlar dikkate alınmıştır [7], [16].

Anket çalışmasında, birinci bölümde katılımcıların bazı demografik özellikleri irdelenmiştir. Bu bölümde değinilen demografik özellikler arasında katılımcıların yaşı, üretim tecrübesi, eğitim durumu,

mantar üretiminin üreticilerin geçimini karşılama oranı gibi özelliklere yer verilmiştir. Anketin ikinci bölümünde ise işletmelerin diğer bazı özelliklerini ve yıllık verileri soru kalıpları sorularak araştırılmıştır. Bu bölümde, işletmelere mantar üretimi konusunda eğitim alma durumları, mantar üreticiliğini seçme sebepleri, varsa ürettikleri farklı mantar türleri, üretim tesisinin mevcut durumu, yapılanma tipi, kompostu temin şekli, kompostta kullandığı hammadde, üretimin hangi mevsimlerde yapıldığı, üretimde kullanılan ısıtma ve soğutma sistemleri, ürünün nasıl tanıtıldığı, pazara sunma şekilleri, tesislerinde karşılaştıkları hastalıklar irdelenmiştir. Anketin üçüncü ve son bölümünde, katılımcıların *A. bisporus* mantarı üretiminde karşılaştıkları en önemli sorunları 23 adet yargı, 16 çözüm önerisi için beşli likert tarzı sorular ile (1: En az karşılaşılan, 2: Az karşılaşılan, 3: Kararsızım, 4: Karşılaşılan, 5: En çok karşılaşılan) değerlendirilmesi istenmiştir. [17]. Elde edilen anket sonuçları SPSS 23 (Statistical Package for Social Sciences) programında çözümlenmiştir. Çalışmada, frekans dağılımlarının yanı sıra ayrıntılı karşılaştırmalarda ki-kare (χ^2) analizinden yararlanılmıştır.

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Yapılan çalışmada katılımcıların genel profilini çıkarmak amacıyla bazı demografik özellikler irdelenmiştir. Katılımcıların yaş ortalaması 41, eğitim durumu %27 ile ortaokul mezunu, ana gelir kaynağının *A. bisporus* olan katılımcıların oranının yaklaşık %70 olduğu tespit edilmiştir. Özçatalbaşı ve ark. [7] Korkuteli’nde, Erkel [16] Kocaeli ve çevresinde, Demir ve Uzun [18] Doğu ve Orta Karadeniz Bölgesinde yaptıkları çalışmada üreticilerinin sırasıyla %33, %72 ve %61’inin ana geçim kaynağının mantar üretimi olduğu belirtmişlerdir.

A. İŞLETME ÖZELLİKLERİNE AİT BULGULAR

Ankete katılan işletmelerin özelliklerine ilişkin bulgular Şekil 1a’da görülmektedir. Üreticilerin çoğunlukla 2-18 yıllık bir geçmişe sahip olduğu görülmektedir.

Katılımcıların *A. bisporus* mantarı üreticisi olmasının en önemli sebebinin “Kârlı bir iş olarak görme” olduğu ifade edilmiştir (Şekil 1b). Demir ve Sönmez [8], Erkel [16] ve Demir ve Uzun, [18] yaptıkları çalışmalarda %41 ile %90 arasında kültür mantarcılığının kârlı bir iş olduğunu belirtmişlerdir. Üreticilerin işletmelerinde farklı mantar türü üretilmediğine bakıldığında, %53’ü *A. bisporus* mantarı dışında üretim yapmadıklarını bildirmişlerdir (Şekil 1c). Neden farklı bir mantar üretmediklerine ilişkin sorulara ise %27’si pazarlama endişesi, %25’i ise maliyet yüksekliği olarak belirtmişlerdir (Şekil 1d).

Mantar üretim oda sayısı irdelendiğinde, üreticiler arasında 2 ile 9 arası oda sayısı olanların en fazla olduğu, ancak 55 odası olan işletmelerinde bulunduğu ortaya çıkmıştır (Şekil 1e). Üreticilerin büyük bir bölümünün (%34) yıllık mantar üretim miktarlarının 101-500 ton arasında olduğu, yıllık ortalama kompost kullanımının ise 0-1000 ton (üreticilerin %42’si) arasında olduğu tespit edilmiştir (Şekil 1g). İşletmelerin %58’i ise kompostu hazır aldığını beyan etmiştir (Şekil 1h). Yapılan bir çalışmada, işletmelerin kompost temin yolunun işletmelerin büyüklüğü ile ilişkili olduğu belirtilmektedir. Küçük işletmeler hazır almayı tercih ederken büyük işletmeler kompost üretimlerini kendileri yapmayı tercih etmektedir [19].

Üreticilerin işletmelerin de istihdam ettikleri işçi sayıları irdelendiğinde işletmelerin %42’sinin 0-10 arasında işçi istihdam ettikleri belirlenmiştir (Şekil 1ı).

Üreticiler işletmelerinde ısıtma sistemi olarak klima ve merkezi ısıtma sistemlerini eşit oranda kullanılmaktadır (Şekil 1i). Ancak daha önceki çalışmalarda küçük işletmelerin mevcut tesislerinin yapısal özelliklerinden dolayı daha yüksek teknolojiye sahip sistemlere adaptasyon sorunu yaşayabilecekleri ve bununla işletmeye ekstra maliyetler getireceği endişesiyle tercih etmedikleri görülmüştür [20].

Üreticiler yaklaşık %54'ü mantar satışı ile ilgili tanıtım aracı olarak internet/sosyal medya platformlarını kullandıklarını belirtmişlerdir (Tablo 1). Firmalar özellikle sosyal medya platformlarındaki gruplara üye olarak piyasanın önemli bir kısmına hâkim olmakta ve sadece yurt içi değil yurtdışı gelişmeleri de bu platformlardan takip edebilmektedir.

Tablo 1. Mantar satışı ile ilgili kullanılan tanıtım araçları

Tanıtım araçları	%	
	Evet	Hayır
Mantar tanıtımı için internet/sosyal medya kullanma durumu	53,8	46,2
Mantar tanıtımı için gazete ilanı verme durumu	3,8	96,2
Mantar tanıtımı için kişisel satıştan faydalanma durumu	15,4	84,6
Mantar tanıtımı için diğer tanıtım araçlarından faydalanma durumu	3,8	96,2

Üreticilerin mantarı pazara genelde paket olarak sunmakta olup (Tablo 2) satışta bir kısmını kendi bir kısmını ise toptancı vasıtasıyla satılma seçeneği en çok tercih edilen yöntem olduğu tespit edilmiştir (Tablo 3). Daha önceki çalışmalarda elde edilen sonuçlar da dikkate alındığında, üreticilerin katma değeri daha yüksek ürün elde edilmesi, mantarın bozunma riskinin azaltılması ve tüketici grubunun çoğaltılması amacıyla [21], çorba tozu, salamura, cips, ketçap ve makarna gibi çeşitli yan ürünler üretilebilir [22].

Tablo 2. Üreticilerin karşılaştıkları hastalık türleri

Üreticilerin karşılaştıkları hastalık türleri.	%	
	Evet	Hayır
Yeşil küf	88,5	11,5
Yaş kabarcık	61,5	38,5
Örümcek ağı	50	50,0
Kuru kabarcık	46,2	53,8
Beyaz alçı	46,2	53,8
Kahverengi alçı	38,5	61,5
Sarı küf	26,9	73,1
Yalancı dolaman	26,9	73,1
Kahverengi benek	23,1	76,9

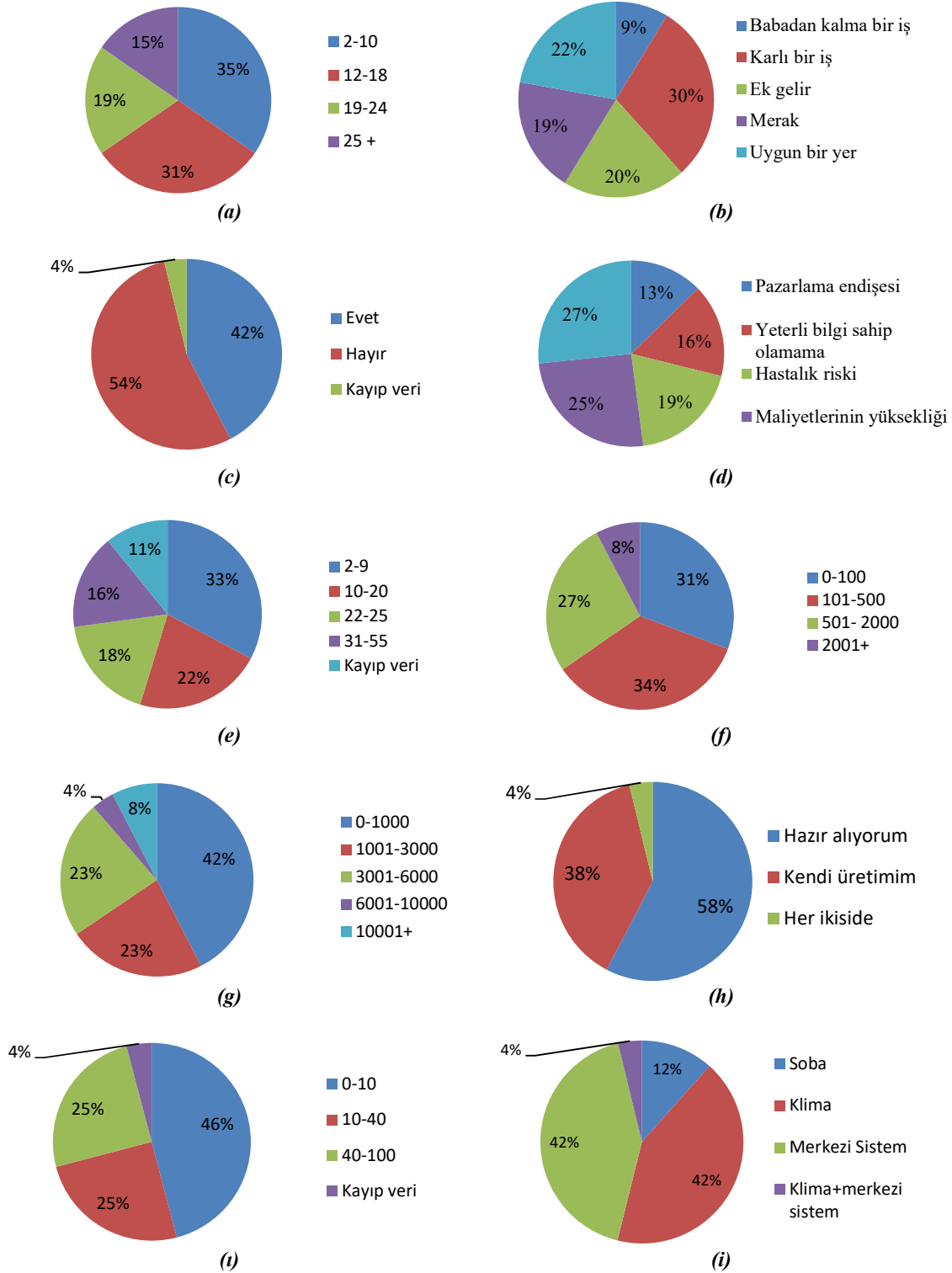
Tablo 3. Üreticilerin mantarı pazara sunuş şekli

Pazara sunuş şekli	%	
	Evet	Hayır
Dökme	61,5	38,5
Paket	84,6	15,4
Salamura, konserve	19,2	80,8

Mantar üreticilerinin karşılaştığı en önemli mantar hastalığının %88,5 ile yeşil küf (*Trichoderma spp.*) olduğu tespit edilmiştir (Tablo 4). Daha önce yapılan bazı çalışmalarda [16, 23] ise yaş kabarcık hastalığının en çok karşılaşılan hastalık olduğu belirtilmiştir.

Tablo 4. Üreticilerin mantarı pazarlama şekli

Pazarlama yöntemi	%
Toptancı	6,3
Kendim satıyorum	31,3
Bir kısmı kendi bir kısmı toptancı	37,4
Yaygın dağıtım	25,0



Şekil 1. (a) Mantarı üreticilerinin tecrübeleri, (b) Mantarı üretimini seçme sebebi, (c) Farklı bir mantar türü üretimi, (d) Farklı tür mantar üretmeme sebepleri, (e) Üretim odası sayısı, (f) Üretim miktarı (ton/yıl), (g) Üretilen kompost miktarı (ton/yıl), (h) Çalışan işçi sayısı, (i) Kompost temin yolu, (i) Tesis ısıtma metodu

B. İŞLETMELERE AİT SORUNLAR VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

Üreticilerin sorunları ve çözüm önerilerine ilişkin yapılan çalışmadan elde edilen sonuçlara göre üreticilerin karşılaştığı en önemli sorunlar sırasıyla mantarın hızlı bozunma riskinin olması, mantar miselinin (tohumu) çok pahalı olması, enerji maliyetlerinin yüksek olması ve sermaye ve eğitim olmaksızın işletme kurulumudur Aynı şekilde üreticilerin en az düzeyde olarak gördüğü sorunlar ise sırasıyla çevreye koku yayma, çevre sağlığını olumsuz etkileme ve pazarlama sorunlarıdır (Tablo 5).

Tablo 5 incelendiğinde üreticilerin benimsediği en önemli çözüm önerileri arasında mantarın satış noktalarında açıkta satmak yerine soğutuculu reyonlarda satışa sunulması ve enerji giderlerinin azaltılmasına yönelik önlemlerdir. Üreticilerin en az benimsediği çözüm önerileri ise pazarlama sorununun çözümü ve su tarifesinin belediyeler tarafından karşılanmasıdır.

Tablo 5. A. bisporus üreticilerinin karşılaştıkları sorunlar ve çözüm önerileri

a) Sorunlar	Ort.	Std.	b) Çözüm önerileri	Ort.	Std.
1 Mantarın hızlı bozunma riskinin olması	4,96	0,19	1 Mantarın satış noktalarında açıkta satmak yerine soğutuculu reyonlarda satışa sunulması	4,88	0,32
2 Mantar miselinin (tohumu) çok pahalı olması	4,88	0,33	2 Enerji giderlerinin azaltılmasına yönelik önlemler	4,69	0,83
3 Enerji maliyetlerinin yüksek olması	4,80	0,80	3 “Mantar zehirlidir” yargısının ortadan kaldırılması için kamu spotu niteliğinde yayın yapılması	4,61	0,63
4 Sermaye ve eğitim olmaksızın işletme kurulumu	4,61	0,69	4 Müteşebbislerin belli bir sermayeye ve eğitime sahip olmaksızın işletme kurulumuna izin verilmemesi	4,53	0,32
5 Nakliye masraflarının yüksekliği	4,53	0,50	5 Ucuz ve yerli tohum çalışmalarının yapılması	4,50	0,83
6 Örgütsüzlük sorunu	4,38	0,98	6 İşletmeler için “iyi tarım uygulamaları sertifikası” zorunluluğunun getirilmesi	4,50	0,63
7 Yeterli miktarda kredi desteği bulamama	4,34	1,09	7 Nakliye masraflarının yüksekliği ile ilgili çözüm önerisi	4,46	0,53
8 Tarım sigortasının yapılamaması	4,26	1,07	8 Bankalar tarafından üreticilere faizsiz kredi desteğinin sağlanması	4,46	0,64
9 Kompostan alınan KDV oranlarının yüksekliği	4,19	1,54	9 Kültür mantarının tanıtımı için kitle iletişim araçları ile tanıtımın yapılması	4,34	1,10
10 İnsanımızın kültür mantarı yeme alışkanlıklarının az olması	4,11	1,14	10 Mantar üreticilerini bir birlik altında toplamak	4,34	0,51
11 Kompost ile ilgili verimsizlik sorunu	4,00	1,44	11 Mantar hastalık zararlılarıyla mücadelenin pahalı olması ile ilgili çözüm önerileri	4,30	1,10
12 Mevsimsel farklılıkların maliyeti	3,96	0,91	12 İl Tarım Müdürlüğüne eğitim ve denetim yapabilecek ekip görevlendirme	4,26	0,89
13 Mantar hastalık zararlılarıyla mücadelenin pahalı olması	3,84	1,08	13 Tarım sigortasının mantar ürünlerine de uygulanması	4,15	0,97
14 Mantar fiyatlarının düşük olması	3,80	1,49	14 Kompostan alınan KDV'nin düşürülmesi	3,65	0,54
15 Nitelikli işçi bulamama	3,73	1,63	15 Su tarifesinin belediyeler tarafından karşılanması	3,34	0,82
16 Kamu eğitim desteği eksikliği	3,50	1,33	16 Pazarlama sorununa yönelik çözümler	2,57	1,04
17 Su maliyetlerinin yüksekliği	3,46	1,17			
18 Satışlardaki istikrarsızlık	3,03	1,18			
19 Teknik bilgi eksikliği	3,00	1,48			
20 Yeterli mantar bulamama	2,92	1,26			
21 Mantar bedelini tahsilatında gecikme	2,88	1,03			
22 Çevreye koku yayma, çevre sağlığını olumsuz etkilemesi	2,42	1,27			
23 Pazarlama sorunları	2,23	1,03			

Mantar üretim miktarı ile kompost verimsizlik sorunu arasında yapılan ki-kare (χ^2) analizine göre anlamlı bir ilişki tespit edilmiştir (H_0 Red B1, $p<0,05$) (Tablo 6). *A. bisporus* mantar üreticilerinden çok düşük yıllık üretim miktarına sahip işletmeler için kompost verimsizliği en çok karşılaşılan sorun durumundayken üretim miktarı en yüksek olan işletmelerin tamamı için bu sorun en az karşılaşılan sorun olarak belirtilmiştir.

Üretici işletmelerin üretim miktarı ile *A. bisporus* mantarı pazara sunuş şekillerinden birisi olan paket halinde sunma pazarlama yöntemi arasında yapılan χ^2 analizine göre anlamlı bir ilişki kurulmuştur (H_0 Red B2, $p<0,05$). Buna göre işletmelerin üretim tecrübesi artıkça paket halinde *A. bisporus* mantarını pazara sunma yöntemini tercih etmektedir.

Tablo 6. Üreticilerin üretim miktarı ile kompost verimsizlik sorunu ve paket halinde satma arasındaki ilişki

Üretim miktarı	Ki-kare (χ^2)	Df	p	Karar
Kompost ile ilgili verimsizlik sorunu	19,377	9	0,022	H_0 Red (B1)
Paket halinde satma	10,636	3	0,014	H_0 Red (B2)

χ^2 : Ki-kare, Df: Serbestlik derecesi, p: Anlamlılık düzeyi ($p<0,05$)

İşletmelerin karşılaştıkları bazı sorunlar ve çözüm önerileri arasında yapılan χ^2 analizi ile tespit edilmiştir (Tablo 7).

“Mantar miselinin pahalı olması” sorunu ile “ucuz ve yerli tohum çalışmalarının yapılması” çözüm önerisi arasında anlamlı bir ilişki tespit edilmiştir (H_0 Red B3, $p<0,05$). Buna göre işletmelerin önemli maliyet kalemlerinden biri olan “mantar miselinin pahalı olması”nı en çok karşılaşılan sorun olarak gören işletmelerin, bu soruna karşı “ucuz ve yerli tohum çalışmalarının yapılması”nı en etkili çözüm yolu olarak benimsemişlerdir.

“Mantar üretim teknikleri ve hastalıklar gibi konularda kamu eğitim eksikliği” sorunu ile “müteşebbislerin belli bir sermayeye ve eğitime sahip olmaksızın işletme kurulumuna izin verilmemesi” çözüm önerisi arasında yapılan χ^2 analizine göre anlamlı bir ilişki tespit edilmiştir (H_0 Red B4, $p<0,05$).

“Fiyat düşüklüğü” ile “birlik kurma” yargıları arasında yapılan χ^2 analizine göre anlamlı bir ilişki tespit edilmiştir (H_0 Red B5, $p<0,05$). Fiyat düşüklüğü ile az karşılaşanlar birlik kurma çözüm yolunu net bir şekilde benimsemezken, en çok karşılaşılan üreticiler bu soruna çözüm yolu olarak birlik kurmayı %80 gibi yüksek oranda benimsemişlerdir.

Üreticiler %88’i karşılaştıkları sorunlar arasında yer alan “mantarın çabuk bozunma riski” yargısını en çok karşılaşılan problem olarak görmekte ve yine üreticilerin %97,5’i “mantar satış noktalarında açıkta satmak yerine soğutuculu reyonlarda satışa sunulması” yargısını en etkili çözüm yolu olarak benimsemektedir.

“Örgütsüzlük” sorunu ile “birlik kurma” çözüm önerisi arasında anlamlı bir ilişki kurulmuştur (H_0 Red B6, $p<0,05$). Bu doğrultuda, örgütsüzlüğü en az sorun olarak görenlerin birlik kurma çözümünü en az düzeyde benimsedikleri tespit edilirken, örgütsüzlüğü en çok sorun olarak görenlerin birlik kurma önerisini çok yüksek düzeyde destekledikleri görülmüştür.

Geçmişte mantar üreticilerinin örgütlenme konusunda başarısızlığın en temel nedenleri olarak örgüt yöneticilerinin yeterli bilgi ve tecrübeye sahip olmamalarının neden olduğu düşünülmekteydi. Ayrıca iyi niyetlerle yola çıkılmakla birlikte ilerleyen süreçlerde çıkar ilişkilerinin ön plana çıkması örgütlenme konusunda soru işaretlerine yol açmaktadır [4].

Tablo 7. A. bisporus mantar üreticilerinin karşılaştığı bazı sorunlar ile çözüm önerileri arasındaki χ^2 analiz bulguları

Sorunlar / çözüm önerileri	Ki-kare (χ^2)	Df	p	Karar
<i>Tohum miselinin pahalı olması</i>				
Ucuz ve yerli tohum çalışmalarının yapılması	14,243	2	0,001	H ₀ Red (B3)
<i>Mantar üretim teknikleri ve hastalıklar gibi konularda eğitim eksikliği</i>				
Ziraat mühendisi veya teknikerin görevlendirilmesi	15,620	8	0,048	H ₀ Red
“İyi tarım uygulamaları sertifikası” zorunluluğunun getirilmesi	3,742	8	0,880	H ₀ Kabul
Müteşebbislerin belli bir sermayeye ve eğitime sahip olmaksızın işletme kurulumuna izin verilmemesi	39,290	9	0,000	H ₀ Red (B4)
<i>Fiyat düşüklüğü</i>				
Kamu spotu niteliğinde yayın yapılması	3,111	6	0,795	H ₀ Kabul
İnternet, televizyon gibi kitle iletişim araçları ile tanıtımın yapılması	10,357	12	0,585	H ₀ Kabul
Kompostan alınan KDV'nin düşürülmesi	16,921	16	0,391	H ₀ Kabul
Mantar üreticilerini bir birlik altında toplamak	19,664	12	0,041	H ₀ Red (B5)
<i>Mantarın hızlı bozunma riskinin olması</i>				
Mantar satış noktalarında açıkta satmak yerine soğutuculu reyonlarda satışa sunulması	0,136	1	0,713	H ₀ Kabul
<i>Teknik bilgi eksikliği</i>				
Ziraat mühendisi veya teknikerin görevlendirilmesi	5,331	8	0,722	H ₀ Kabul
“İyi tarım uygulamaları sertifikası” zorunluluğunun getirilmesi	10,353	8	0,241	H ₀ Kabul
Mantar üreticilerini bir birlik altında toplamak	13,399	12	0,341	H ₀ Kabul
<i>Örgütsüzlük sorunu</i>				
“İyi tarım uygulamaları sertifikası” zorunluluğunun getirilmesi	6,022	6	0,421	H ₀ Kabul
Mantar üreticilerini bir birlik altında toplamak	56,011	9	0,000	H ₀ Red (B6)
<i>Yeterli miktarda Kredi desteği bulamama</i>				
Üreticilere faizsiz kredi desteğinin sağlanması	33,768	4	0,000	H ₀ Red
Mantar üreticilerini bir birlik altında toplamak	15,010	6	0,020	H ₀ Red
<i>Nakliye masraflarının yüksekliği</i>				
Nakliye masraflarının düşürülmesi ile ilgili çözüm önerileri	1,417	1	0,234	H ₀ Kabul
Mantar üreticilerini bir birlik altında toplamak	3,308	3	0,347	H ₀ Kabul
<i>İnsanımızın kültür mantarı yeme alışkanlıklarının az olması</i>				
Kamu spotu niteliğinde yayın yapılması	27,444	6	0,000	H ₀ Red
İnternet, televizyon gibi kitle iletişim araçları ile tanıtımın yapılması	17,697	9	0,039	H ₀ Red
<i>Enerji maliyetlerinin yüksekliği</i>				
Enerji giderlerini azaltılmasına dönük çözüm önerileri	31,688	4	0,000	H ₀ Red
<i>A. bisporus mantar üretim tesisinde hastalık bulunma</i>				
Mantar üretimi konusunda eğitim alıp almama	0,153	1	0,696	H ₀ Kabul

IV. SONUC VE ÖNERİLER

Yapılan bu çalışmada 23 farklı yargı ile mantar üreticilerinin sorunları araştırılmıştır. İşletmelerin belirttiği sorunlar önem sırasına göre mantarın hızlı bozunma riskinin olması, mantar miselinin (tohumu) çok pahalı olması, enerji maliyetlerinin yüksek olması, sermaye ve eğitim olmaksızın işletme kurulumu, nakliye masraflarının yüksekliği ve örgütsüzlük sorunu olduğu tespit edilmiştir.

Belirtilen bu sorunlara işletmelerin çözüm önerileri; mantar satış noktalarında açıkta satmak yerine soğutuculu reyonlarda satışa sunulması, enerji giderlerinin azaltılmasına yönelik önlemler, “Mantar zehirlidir” yargısının ortadan kaldırılmasına yönelik çalışmalar, girişimcilerin yeterli düzeyde sermayeye ve eğitime sahip olmaksızın işletme kurulumuna izin verilmemesi ve ucuz ve yerli tohum çalışmalarının yapılması olarak sıralanabilir.

Çalışma 2019 yılında gerçekleştirilmiştir. Belirtilen tarihten günümüze Dünya’da ve ülkemizde yaşanan olağan üstü durumlardan dolayı mantar üreticilerin sorunları ve çözüm önerilerinde de değişikliklerin olması muhtemeldir. Belirtilen dönemde özellikle hammadde, enerji ve işçilik maliyetleri üreticilerin karşılaştığı sorunlarda etkili olduğu/olacağı düşünülmektedir. Özellikle tüm dünyadaki enerji maliyetlerinin artmış olması nedeniyle mantar üreticilerinde de elektrik enerjisi maliyetlerinin en önemli sorun olabileceği öngörülmektedir.

Kültür mantarı üretiminde en önemli sorunlar kategorisinde birinci sırayı mantar tohum maliyeti oluşturmakta ve üreticiler için en önemli maliyetlerden birisi olarak görülmektedir. Bu soruna karşı son yıllarda ülkemizde bazı bilimsel ve ticari girişimler olmakla birlikte halen ihtiyacı karşılamaktan çok uzaktadır. Bu amaçla tarım bakanlığına bağlı enstitüler ve araştırma kuruluşları konu ile ilgili araştırmalarına hız vermeli ve ithalatı azaltacak girişimlerde bulunulmalıdır.

Mantar çok kolay bozulabilen ürünlerden birisi olmasından dolayı hasattan sonra hızlı bir şekilde satışa sunulmalıdır. Bunun için üreticilerin üretim planlamalarını çok dikkatli yapmaları gerekmektedir. Planlamanın yapılabilmesi için hitap ettikleri bölgedeki üreticilerin bir birlik altında toplanarak planlama, satış ve pazarlama koordinasyonun sağlanması gerekmektedir. Ancak kurulacak bu birliğin şeffaf ve tüm üreticilerin ortak çıkarlarının korunması hedefini benimsemesi gerekmektedir. Aksi takdirde üreticilerin örgütlenmeye karşı güven duymaması ve ilgisiz kalması söz konusu olabilir.

Enerji maliyetleri son yıllarda mantar üreticileri içinde en önemli sorunlardan birisi haline gelmiş durumdadır. Özellikle yaz mevsimlerinde üretim odalarının soğutulması için çok ciddi enerji sarf edilmektedir. Üreticilerin anketlerde olmayan ve anket dışında belirttikleri çözüm önerilerinden birisi güneş enerjisinden faydalanmak üzere üretim hanelere güneş panellerinin kurulmasıdır. Bu doğrultuda devlet destekli projelendirme yapılarak enerji maliyetlerinin azaltılması önemli bir çözüm yolu olacaktır.

TEŞEKKÜR: Bu çalışmada yapılan ankete yüz yüze veya telefon ile katılarak katkıda bulunan işletme yetkililerine teşekkürlerimizi sunarız. Bu çalışma, makale yazarlarından Selim GÜVEN tarafından hazırlanan ve Düzce Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü bünyesinde kabul edilen “Türkiye’de *Agaricus bisporus*, *Pleurotus ostreatus* mantarları üretimi yapan işletmelerin karşılaştığı sorunlar ve çözüm önerileri” isimli Yüksek Lisans Tez Çalışması’nın bir bölümünden yararlanılarak üretilmiştir.

V. KAYNAKLAR

[1] H. Güngör, ve G. Güngör, “Creating value of small family mushroom enterprises in Thrace region, Turkey,” *XV International Symposium on Horticultural Economics and Management*, Berlin, Germany, 2004, pp. 515-521.

- [2] N. C. Esen ve Z. Dernek, "Alternatif besin mantar üretim ve tüketiminde karşılaşılan sorunlar ve çözüm önerileri." *VIII. Türkiye Tarım Ekonomisi Kongresi*, 2008, ss. 164-175.
- [3] S. Rezaeian and H.R. "Pourianfar Antimicrobial properties of the button mushroom, *Agaricus bisporus*: A mini-review" *International Journal of Advanced Research*, c. 4, s. 1, ss. 426-429, 2016.
- [4] TÜİK, (2019, 24 Temmuz). *Bitkisel Üretim İstatistikleri, 2019* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Bitkisel-Uretim-Istatistikleri-2019-30685>.
- [5] S. Güven, "Türkiye'de *Agaricus bisporus*, *Pleurotus ostreatus* mantarları üretimi yapan işletmelerin karşılaştığı sorunlar ve çözüm önerileri," Yüksek Lisans tezi, Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye, 2019.
- [6] S. Şen, ve M. Yalçın, "Dünya ve Türkiye'de kültür mantarcılığı ve geliştirilmesi," *III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi*, Artvin, Türkiye, 2010, ss. 1208-1216.
- [7] O. Özçalbaş, N. Eker, ve S. Özenalp, "Korkuteli'nde mantar üretim sektörü, sorunları ve çözüm önerileri," *Türkiye VII. Yemeklik Mantar Kongresi*, Antalya, Türkiye, 2004, ss. 14-20.
- [8] H. Demir, ve İ. Sönmez, "Antalya'nın Korkuteli ilçesinde kültür mantarı (*Agaricus bisporus*) yetiştiriciliğinin mevcut durumu, sorunları ve bazı çözüm önerileri," *Uluslararası Katılımlı I. Ali Numan Kıraç Tarım Kongresi ve Fuarı*, Eskişehir, Türkiye, 2011, ss. 2431-2439.
- [9] M. Paksoy, ve M. Aksüt, "Mantar tüketimi ve tüketim alışkanlıklarının belirlenmesi: Kahramanmaraş ili örneği." *IX. Türkiye Yemeklik Mantar Kongresi*, Denizli, Türkiye, 2012, ss. 173-180.
- [10] E. Uysal, "Türkiye'de mantar piyasası ve hane halkı mantar tüketim davranışları (Antalya ili kentsel alan örneği)," Yüksek Lisans tezi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Tokat, Türkiye, 2014.
- [11] A. Pekşen, "Türkiye'de kültür mantarı yetiştiriciliği," *Yemeklik Kültür Mantarı Çalıştayı* Antalya, Türkiye, 2014, ss. 19-23.
- [12] B. Kibar, "Iğdır ili mantar tüketim alışkanlıklarının belirlenmesi," *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 5, s. 4, ss. 9-16, 2015.
- [13] E. Eren ve A. Pekşen, "Türkiye'de kültür mantarı sektörünün durumu ve geleceğine bakış," *Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 4, s. 3, ss. 189-196, 2016.
- [14] M. Ulusoy Deniz, Ş. Tütüncü ve E. Eren, "Ankara ili kültür mantarı yetiştiriciliğinde tespit edilen sorunlar," *Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 4, s. 3, ss. 182-188, 2016.
- [15] R. Kurt, A. Can ve H. Sivrikaya, "Bartın ilinde kültür mantarı yetiştiriciliğinin mevcut durumu, sorunları ve bazı çözüm önerileri," *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, c. 20, s. 2, ss. 176-183, 2018.
- [16] İ. Erkel, "Kocaeli ve çevresinde mantar üretim potansiyelinin saptanması," *Türkiye VII. Yemeklik Mantar Kongresi*, Antalya, Türkiye, 2004, ss. 21-29.
- [17] M. Yalçın ve S. Güven, "Türkiye'de *Pleurotus ostreatus* üreticilerinin karşılaştığı sorunlar ve çözüm önerileri," *Mantar Dergisi*, c. 10, s. 3, ss. 214-224, 2019.
- [18] Y. Demir ve A. Uzun, "Karadeniz bölgesi kültür mantarı (*Agaricus bisporus*) yetiştiriciliğinin mevcut durumu, sorunları ve üretim tesislerinin iyileştirilmesine yönelik öneriler," *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, c. 22, s. 1998, ss. 273-279, 1998.

- [19] Ş. Aksu, E. Işık ve S. Erkal, “Türkiye kültür mantarcılığının gelişimi ve mantar işletmelerinin genel özellikleri,” *Türkiye V. Yemeklik Mantar Kongresi*, Yalova, Türkiye, 1996, ss. 1-13.
- [20] E. Eren ve A. Pekşen, “Türkiye’de kültür mantarı sektörünün durumu ve geleceğine bakış,” *Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 4, s. 3, ss. 189-196, 2016.
- [21] B. K. Mehta, S.K. Jain, G. P. Sharma, A. Doshi and H. K. Jain, “Cultivation of button mushroom and its processing: A techno-economic feasibility,” *International Journal Of Advanced Biotechnology Research*, vol. 2, pp. 201–207, 2011.
- [22] S. Zivanovic, “Identification of opportunities for production of ingredients based on further processed fresh mushrooms, off-grade mushrooms, bi-products, and waste material,” *Knoxville, TN: Mushroom Council*, University of Tennessee, Department of Food Science and Technology, 2006.
- [23] E. Basım ve M. İlkuçan, “Antalya ili Korkuteli ilçesinde kültür mantarında (*Agaricus bisporus*) tespit edilen fungal patojen (*Mycogone pernicioso*)’nın tanımı,” *Türkiye VII. Yemeklik Mantar Kongresi*, Antalya, 2004, ss. 148-150.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Lyapunov Tabanlı PI Kontrolör ile DC Motorun Hız Kontrolü

 Hilmi AYGÜN^{a,*}

^a Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Karabük Üniversitesi, Karabük, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: hilmiaygun@karabuk.edu.tr

DOI:10.29130/dubited.1117014

ÖZ

Doğrusal bir denetleyici olan ve nominal çalışma koşullarına göre tasarlanan PI kontrolör, DC motor gibi doğrusal olmayan bir sistemin kontrolünde farklı çalışma koşullarında kararlılık gösteremez. Kararlılığı garanti altına almak için Lyapunov fonksiyonları kullanılabilir. Bu çalışmada DC motorların hız kontrolü için Lyapunov tabanlı PI kontrolör önerilmektedir. Önerilen yöntem ile sistemin asimptotik kararlılığı Barbalat'ın ön kuramı dikkate alınarak ispatlanmıştır. DC motorun kontrolü için referans hızın sabit ve değişken olma durumu, iki yönlü çalışma durumu, değişken yüklerde çalışma durumu Lyapunov tabanlı PI kontrolör ile test edilmiş ve bu kontrolörün performansı klasik PI kontrolör sonuçları ile karşılaştırılarak sunulmuştur. Geçici hal cevabına göre, klasik PI kontrolör ile oluşan % 9,5 oranındaki aşma, Lyapunov tabanlı PI kontrolör ile elimine edilmiştir. Ayrıca önerilen kontrolör ile değişken referans hız testinde, referans hızın değiştiği noktada salınım görülmezken, motor her iki yönde de başarılı bir şekilde çalışabilmekte ve kontrol edilebilmektedir. Değişken yük altında çalışma testi 2 farklı yük altında yapılmıştır. Yüksüz durumdan 5 Nm ve 10 Nm yüke geçişte önerilen denetleyici ile kararlı duruma geçmeden önce sırasıyla % 0,4 ve % 0,75 oranında hız düşümü görülürken, klasik PI kontrolör ile bu oranlar % 4,4 ve % 8,75 olmaktadır. Benzetim sonuçları önerilen Lyapunov tabanlı PI kontrolörün gürbüz bir kontrolör olduğunu ve klasik PI kontrolöre göre dinamik performansının daha iyi olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: DC motor, Lyapunov tabanlı PI kontrolör, Hız kontrolü

Speed Control of DC Motor by Lyapunov based PI Controller

ABSTRACT

The PI controller, which is a linear controller and designed according to the nominal operating conditions, cannot provide stability in the control of a non-linear system such as a DC motor under different operating conditions. Lyapunov functions can be used to guarantee stability. In this study, a Lyapunov based PI controller is proposed for speed control of DC motors. In the proposed method, the asymptotic stability of the system is proved by considering Barbalat's lemma. For the control of the DC motor, operation by the constant and variable reference speed, bidirectional operation and operation by variable loads have been tested with a Lyapunov based PI controller, and the performance of this controller has been compared with the results of a classical PI controller. According to the transient response, the 9.5 % overshoot obtained by the classical PI controller was eliminated by the Lyapunov based PI controller. Also, in the variable reference speed test with the proposed controller, while there is no oscillation at the point where the reference speed changes, the motor can operate and be controlled successfully in both directions. Operating test under variable load was carried out under 2 different loads. During the transition from no-load to 5 Nm and 10 Nm loads, a speed reduction rate of 0.4 % and 0.75 % is observed respectively before reaching the steady state condition with the proposed controller, while these rates are 4.4 % and 8.75 % with the classical PI controller. The simulation results show that the proposed Lyapunov based PI controller is a robust controller and has better dynamic performance than the classical PI controller.

Keywords: DC motor, Lyapunov based PI controller, Speed control

I. GİRİŞ

DC motorlar, insansız hava araçları, mobil robotlar, 3D yazıcılar, asansörler ve tahrik sistemleri gibi çok çeşitli uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Endüstride çoğu uygulamada olduğu gibi DC motorların da hem geçici hem de kararlı durum dinamik yanıtlarını iyileştirmek için genellikle oransal-integral (PI) kontrolör veya oransal-integral-türevsel (PID) kontrolör kullanılır [1]. PI kontrolör, oransal kazanç sabiti (K_p) ve integral kazanç sabiti (K_i) olmak üzere iki parametre içerir. Genel olarak, klasik PI kontrolör parametreleri deneme yanılma yoluyla, Ziegler Nichols yöntemiyle, Bode ve Nyquist teknikleriyle [2], [3] ayarlanır. Literatür incelendiğinde ayrıca DC motor hız kontrolü için bu parametrelerin Henry gaz çözünürlük optimizasyonu [4], atom arama optimizasyonu [5], yarasa algoritması [6], diferansiyel gelişim algoritması [7], genetik algoritma [8], gri kurt algoritması [9], parçacık sürüsü optimizasyonu [10], yapay arı kolonisi [11] gibi meta-sezgisel yöntemlerle optimize edildiği görülmektedir. Bu yöntemlerin performansı belirlenen hedef fonksiyonuna bağlıdır. [11]'de yapay arı kolonisi algoritması tabanlı PID kontrolörün parçacık sürüsü optimizasyonu algoritması tabanlı PID kontrolöre göre DC motorun hız kontrolünde dinamik performansının daha etkili olduğu görülürken, hem de yapay arı kolonisi algoritmasının parçacık sürüsü optimizasyonu algoritmasına göre optimal PID parametrelerine daha hızlı yakınsadığı görülmüştür. Meta-sezgisel tabanlı PI kontrolörler klasik PI kontrolörlerle karşılaştırıldığında, özellikle DC motorun sabit yüklerde çalışma durumları için yerleşme zamanı, aşma ve sürekli durum hatası açısından kontrol performansını iyileştirmektedir. Ancak yük momenti gibi bozucu girişler değiştiğinde her iki tip PI kontrolörler ile denetim performansı düşer. Ayrıca DC motor doğrusal olmayan bir sistem olduğu için, doğrusal bir denetleyici olan PI kontrolör, nominal çalışma koşullarına göre tasarlandığından dolayı farklı çalışma koşullarında kararlılık gösteremezler [12]. Bahsedilen problemin üstesinden gelmek için DC motor kontrol uygulamalarında uyarlamalı ve doğrusal olmayan yöntemler kullanılmaktadır.

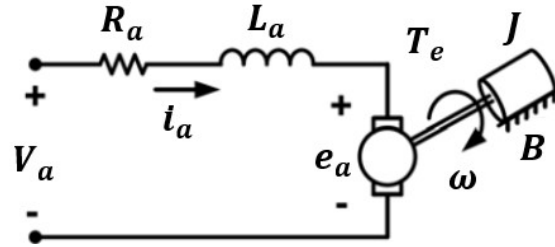
Uyarlamalı kontrol yöntemleri, denetlenen sistemin dinamiğinde bir değişiklik olduğunda kendisini yeniden düzenleyerek denetim performansını istenilen seviyede tutar. [13]'te DC motorun hız kontrolü PI kontrolör, bulanık mantık kontrolör ve bulanık mantık tabanlı PI kontrolör ile gerçekleştirilmiş ve sonuçları karşılaştırılmıştır. Bulanık mantık tabanlı PI kontrolörün üst aşımı elimine ettiği, ancak yükselme zamanını artırdığı gözlemlenmiştir. [14]'te daha etkili bir kontrol gerçekleştirmek amacıyla bulanık mantık kontrolör iki seviyede ayarlanmaktadır. Düşük seviye ayarlama Mamdani bulanık kontrolör kullanılırken, yüksek seviye ayarlama, Takagi-Sugeno yöntemi düşük seviyede kullanılan bulanık kontrolörün parametrelerini ayarlama kullanılmaktadır. Elde edilen sonuçlarla önerilen bulanık mantık kontrolörün klasik bulanık mantık kontrolöre göre, DC motorun hız kontrolünde yüke bağlı bozucularda daha iyi performans sağladığı gösterilmiştir. Bulanık mantık tabanlı kontrolör uyarlamalı yöntemlerden biri olmasına karşın, kontrol işaretini üretmek için kural tablosunun hazırlanması ve üyelik fonksiyonlarının aralıklarının belirlenmesi uzman kişi tecrübesine ihtiyaç duyduğu için oldukça zordur [15]. [16]'da yapay sinir ağları hem deneysel veriler üzerinden DC motoru modellemede hem de motorun hız kontrolü için kullanılmıştır. Ancak, kontrol sisteminin performansı, ciddi bir hesaplama yükü getiren katman ve düğüm sayısına bağlıdır. Dolayısıyla ağ yapısının belirlenmesi bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. [17],[18]'de kayan kipli kontrol yöntemi DC motorun hız kontrolü için kullanılmış, klasik PI ve PID kontrolörle karşılaştırılarak maksimum aşma, yerleşme zamanı ve kalıcı durum hatası kriterleri açısından incelendiğinde daha etkili olduğu gözlemlenmiştir. Ancak kontrolde sistem durumları kayan yüzey üzerinde tutulmaya çalışıldığından çatırtı problemi görülmüştür. Çatırtı, mekanik sistemlerin hızlı hareket eden parçalarına zarar verebilir. [19]'da yüksek dereceli kayan kipli kontrol yöntemi kullanılarak DC motorun hız kontrolünde çatırtının azaltıldığı görülmüştür. Ancak bu çalışmada kontrol performansının dikkate değer olması için, kontrolörün kazanç parametrelerinin deneme yanılma yoluyla ayarlanması gerekmektedir.

DC motor gibi doğrusal olmayan sistemlerin kontrolünde kararlılığı garanti altına almak önemlidir. Bunun için Lyapunov fonksiyonları kullanılabilir. Bu fonksiyonlar sadece uygulandıkları sistemin kararlılığını artırmakla kalmazlar, aynı zamanda sistemin performansını da artırır [20]. [21]'de DC motorun kontrolü, bilinmeyen dinamiklerin kompanzasyonuna dayalı bir sinir ağı tabanlı çıkış

geribeslemeli kontrolör ile gerçekleştirildi ve Lyapunov analiziyle zamanla değişen bilinmeyen dinamiklerle karşı karşıya kalınsa bile asimptotik kararlılığın sağlandığı gösterildi. [22]'de geri adımlamalı kontrolörün DC motorun hız denetimine uygulanmasına yönelik yapılan araştırmanın sonuçları verilmektedir. Bozucu etkiler yokken Lyapunov açısından asimptotik kararlılık başarılı olarak elde edilmektedir. Hatta, ideal bir ortam varsayılarak yapılan tasarım bozucu yük momentlerinin varlığı söz konusu olduğunda da kararlı olarak çalışmakta ancak bozucu etkinin düzeyine göre çok sapma olabilmektedir. [12]'de DC motor gibi doğrusal olmayan bir sistem olan çift katlı DC-DC yükselten dönüştürücü Lyapunov tabanlı PI kontrolör ile kontrol edilmiştir. Bu denetleyici ile sistemin çıkış geriliminin yükselme zamanı, aşma ve yerleşme zamanında dikkate değer azalmalar olmuştur. Bu çalışmada ise, [12]'deki çalışmadan yola çıkılarak Lyapunov tabanlı PI kontrolör, DC motorun hız kontrolü için uyarlanmıştır. Önerilen yöntem ile motorun hızı kontrol edilirken kararlılığının sağlanması amaçlanmaktadır. Önerilen yöntem ile sistemin asimptotik kararlılığı Barbalat'ın ön kuramı dikkate alınarak ispatlanmıştır. Bu denetleyici, klasik PI kontrolör ile elde edilen kontrol sinyalinin kararlı hal durumunda değişmeyeceği düşüncesinden yola çıkılarak, kontrol sinyalinin zamana göre türevinin referans değer (sıfır) olarak alınması ve Lyapunov fonksiyonunun uygulanmasıyla tasarlanmıştır. Böylece yük değişimi ve referans hız değişimi gibi farklı çalışma koşulları altında hızlı dinamik cevap elde edilebilmektedir. Çalışmada DC motorun modellenmesi MATLAB programı ile yapıldı ve önerilen kontrol yöntemi sisteme uygulanarak benzetimi gerçekleştirildi.

II. PI KONTROLÖR İLE DC MOTOR KONTROLÜ

DC motorun transfer fonksiyonunu elde etmek için zaman domenindeki matematiksel modelinin çıkarılması ve daha sonra Laplace dönüşümünün yapılması gereklidir. Matematiksel modelin elde edilmesinde kullanılan DC motorun eşdeğer devresi Şekil 1'de verilmektedir.



Şekil 1. DC motorun eşdeğer devresi

DC motorun dinamik modeli Eş. 1-4'te verilmektedir [23].

$$e_a(t) = K_b \omega(t) \quad (1)$$

$$V_a(t) = R_a i_a(t) + L_a \frac{di_a(t)}{dt} + e_a(t) \quad (2)$$

$$T_e(t) = K_m i_a(t) \quad (3)$$

$$\frac{d\omega(t)}{dt} = \frac{1}{J} (T_e(t) - T_L(t) - B\omega(t)) \quad (4)$$

Eş. 1'den görüleceği üzere, armatür üzerinde indüklenen zıt emk (e_a), motor milinin açısal hızı (ω) ile doğru orantılıdır. K_b zıt emk sabitini ifade etmektedir. Şekil 1'deki elektriksel eşdeğer devreye Kirchhoff'un gerilim yasasının uygulanmasıyla elde edilen Eş. 2'de V_a , armatür devresine uygulanan gerilimi, i_a bu devreden geçen akımı, R_a ve L_a sırasıyla armatür direncini ve armatür endüktansını

ifade etmektedir. Eş. 3'ten görüleceği üzere, motor tarafından üretilen moment (T_e), i_a akımıyla doğru orantılıdır. K_m moment sabitini ifade etmektedir. Yine Şekil 1'de Newton'un 2. yasasının uygulanmasıyla elde edilen Eş. 4'te T_L , yük momentini ifade ederken, J ve B sırasıyla atalet momentini ve viskoz sönümlenme katsayısını ifade etmektedir. Sıfır başlangıç koşulları altında Eş. 1-4 için Laplace dönüşümü yapılırsa Eş. 5-8 elde edilir.

$$E_a(s) = K_b \omega(s) \quad (5)$$

$$V_a(s) = (R_a + L_a s) i_a(s) + E_a(s) \quad (6)$$

$$T_e(s) = K_m i_a(s) \quad (7)$$

$$T_e(s) - T_L(s) = (B + J s) \omega(s) \quad (8)$$

Yük momentinin sıfır olduğu durumda DC motorun açısal hızı ile giriş gerilimi arasındaki transfer fonksiyonu Eş. 9 ile verilmektedir.

$$\frac{\omega(s)}{V_a(s)} = \frac{K_m}{(R_a + L_a s)(B + J s) + K_b K_m} \quad (9)$$

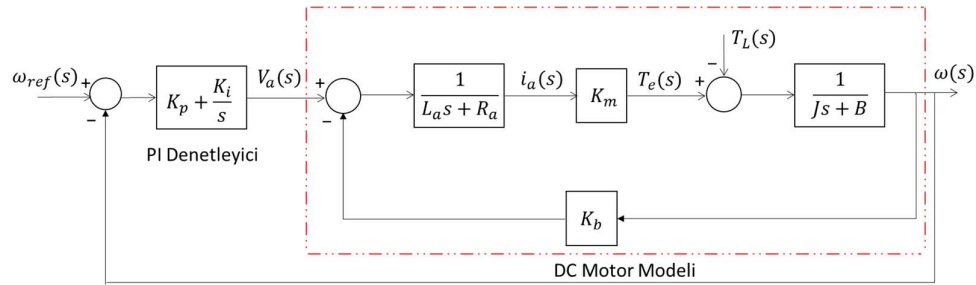
DC motorun hız kontrolünü gerçekleştirmenin yollarından bir tanesi, motorun hızının istenilen hıza ulaşmasını sağlayacak gerekli armatür gerilimini temin etmektir. Şekil 2'de Oransal-İntegral (PI) kontrolör ile kapalı çevrim DC motor kontrolünde gerekli olan armatür geriliminin belirlenmesi işlemi gösterilmektedir. Herhangi bir sistemin kapalı çevrim kontrolünde kullanılan PI kontrolörün çıkışı, yani sisteme uygulanan kontrol işareti $u(t)$ Eş. 10 ile elde edilir.

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt \quad (10)$$

Burada $e(t)$, kontrol edilen değişkenin referans değeri ile ölçülen değeri arasındaki hatayı ifade etmektedir. K_p oransal kazancı ifade ederken, K_i integral kazancı ifade eder. PI kontrolör, hatayla orantılı olan oransal etki ve hatanın integraliyle hesaplanan integral etkinin toplamını sisteme uygulanması gereken kontrol işareti olarak belirler. Eş. 10 ile verilen ifadenin Laplace dönüşümü yapılırsa, PI kontrolörün transfer fonksiyonu Eş. 11'de verildiği gibi elde edilir.

$$G_{PI}(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_p + \frac{K_i}{s} \quad (11)$$

Şekil 2 incelendiğinde DC motorun hız kontrolünün armatür gerilimi V_a ile yapıldığı görülmektedir. Bu sebeple Laplace domeninde PI kontrolörün çıkışı olan kontrol işareti $U(s)$, $V_a(s)$ 'e eşit olmaktadır.



Şekil 2. DC motorun PI kontrolör ile hız kontrolü

III. LYAPUNOV TABANLI PI KONTROLÖR TASARIMI

DC motorun hız kontrolü için önerilen Lyapunov tabanlı PI kontrolörün tasarımına başlamak için, öncelikle Eş. 10'da verilen kontrol işaretini DC motor için elde etmek gerekir. Eş. 12 ile verilen hız hatası Eş. 10'da yerine konulduğunda, DC motor hız kontrolünü sağlayan kontrol işareti Eş. 13'te verildiği gibi elde edilir.

$$e(t) = \omega_{ref}(t) - \omega(t) \quad (12)$$

$$u(t) = K_p(\omega_{ref}(t) - \omega(t)) + K_i \int (\omega_{ref}(t) - \omega(t)) dt \quad (13)$$

PI kontrolör ile kontrol edilen sistemin kararlı hal durumunda kontrol işaretinin değişmeyeceği, yani sabit kalacağı bilinmektedir. Bu düşünceden yola çıkılarak bu denetleyiciye Lyapunov fonksiyonlarının uygulanmasıyla yeni bir denetleyici tasarlanmış ve Lyapunov tabanlı PI kontrolör olarak adlandırılmıştır [12]. Yeni denetleyicinin tasarımı için, kontrol işareti $u(t)$ 'nin zamana göre türevi için referans değer sıfır alınır. Çünkü az önce de belirtildiği gibi sistemin kontrolü başarıyla gerçekleştirildiğinde, kararlı hal durumunda $u(t)$ zamanla değişmez ve zamana göre türevi sıfır olur. Ancak $u(t)$ 'nin zamana göre türevi kararlı hal durumuna geçinceye kadar zamanla değişecektir ve dolayısıyla referans değer ile zamanla değişen bu değer arasında bir hata oluşacaktır. Bu durumda Lyapunov tabanlı PI kontrolör için hata değişkeni (z) Eş. 14 ile tanımlanır.

$$z = \frac{du_{kh}(t)}{dt} - \frac{du_{gh}(t)}{dt} = 0 - \frac{du_{gh}(t)}{dt} = K_p \frac{d\omega(t)}{dt} - K_i(\omega_{ref}(t) - \omega(t)) \quad (14)$$

Burada $u_{kh}(t)$ kararlı hal durumundaki kontrol işaretini ifade ederken, $u_{gh}(t)$ geçici hal durumundaki kontrol işaretini ifade eder. Eş. 4, Eş. 14'te yerine konduğunda, Eş. 15 elde edilir.

$$z = K_p \frac{1}{J} (T_e(t) - T_L(t) - B\omega(t)) - K_i(\omega_{ref}(t) - \omega(t)) \quad (15)$$

Hata değişkeninin dinamiği Eş. 3-4'ten faydalanılarak Eş. 16'da verildiği gibi elde edilir.

$$\dot{z} = \frac{K_p K_m}{J} \frac{di_a(t)}{dt} + \left(K_i - \frac{B}{J} * K_p \right) \frac{d\omega(t)}{dt} \quad (16)$$

Hem Eş. 4'te verilen $\frac{d\omega(t)}{dt}$ ifadesi, hem de Eş. 2'den elde edilen $\frac{di_a(t)}{dt}$ ifadesi Eş. 16'da yerine konduğunda Eş. 17 elde edilir.

$$\dot{z} = \frac{K_p K_m}{J} \left(\frac{V_a(t) - R_a i_a(t) - K_b \omega(t)}{L_a} \right) + \left(K_i - \frac{B}{J} * K_p \right) \frac{1}{J} (T_e(t) - T_L(t) - B\omega(t)) \quad (17)$$

Denetleyici tasarımı için Lyapunov fonksiyonu Eş. 18'de verildiği gibi tanımlanabilir.

$$V = \frac{1}{2} z^2 \quad (18)$$

Lyapunov fonksiyonunun zamana göre türevi alınır Eş. 19 elde edilir.

$$\dot{V} = z\dot{z} \quad (19)$$

Barbalat'ın ön kuramına göre aşağıdaki 3 şart sağlanırsa, hata (z) sifira yakınsar [24].

- 1) V alttan sınırlı bir fonksiyon olmalıdır.
- 2) \dot{V} negatif yarı tanımlı bir fonksiyon olmalıdır.
- 3) \dot{V} düzgün sürekli bir fonksiyon olmalıdır.

z sınırlı bir değişken olduğundan, Eş. 18'den anlaşılacağı üzere V alttan sınırlı bir fonksiyon olmaktadır ve 1. şart sağlanmaktadır. Eş. 19'da $\dot{z} = -\lambda z$ olduğu varsayımıyla, Lyapunov fonksiyonunun zamana göre türevi $\dot{V} = -\lambda z^2$ olur. λ 'nin pozitif tasarım sabiti olduğu varsayımıyla, Lyapunov fonksiyonunun zamana göre türevi \dot{V} negatif yarı tanımlı bir fonksiyon olur ve böylece 2. şart da sağlanmaktadır.

$\dot{V} = -\lambda z^2$ fonksiyonunun türevi alındığında Eş. 20 elde edilir.

$$\dot{V} = -2\lambda z \dot{z} \quad (20)$$

z ve \dot{z} sınırlı değişkenler olduğundan, Eş. 20'den \dot{V} 'nin sınırlı olduğu sonucuna varılır. Bu da \dot{V} 'nin düzgün sürekli bir fonksiyon olduğu anlamına gelir ve böylece 3. şart da sağlanmış olur. Bu durum, hatanın sifira yakınsayacağını gösterir ve sistemin asimptotik olarak kararlı davranışını kanıtlar.

$\dot{z} = -\lambda z$ varsayımı, $\dot{z} + \lambda z = 0$ olduğu anlamına gelir ve bu yeni denklemden Eş. 15'te ve Eş. 17'de sırasıyla verilen z ve \dot{z} ifadeleri yerine konduğunda Eş. 21 elde edilir.

$$\begin{aligned} \dot{z} + \lambda z &= \frac{K_p K_m}{J} \left(\frac{V_a(t) - R_a i_a(t) - K_b \omega(t)}{L_a} \right) + \left(\lambda K_p + K_i - \frac{B}{J} * K_p \right) \frac{1}{J} (T_e(t) - T_L(t) - B\omega(t)) \\ -\lambda K_i (\omega_{ref}(t) - \omega(t)) &= 0 \end{aligned} \quad (21)$$

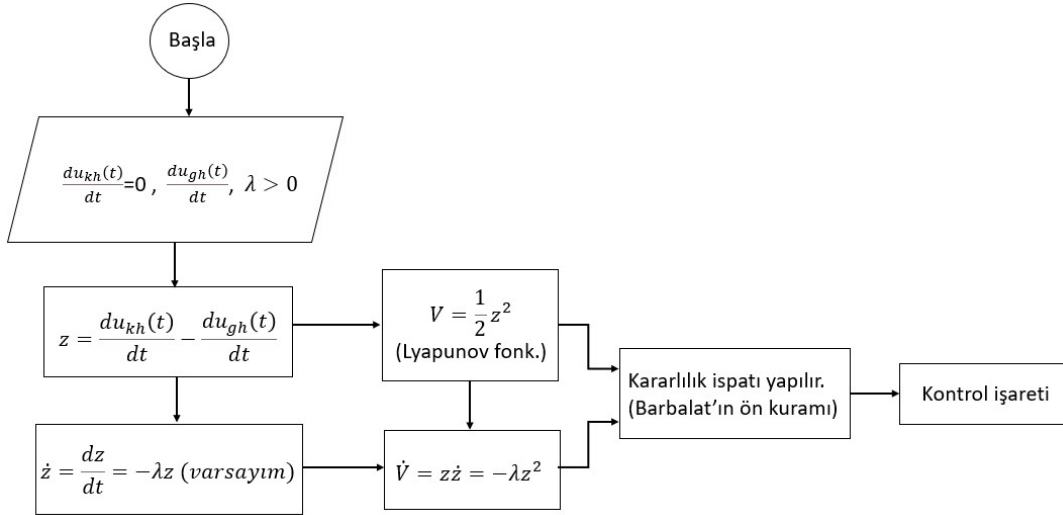
DC motorun hız kontrolü için önerilen Lyapunov tabanlı PI kontrolör ile elde edilen kontrol işareti olan gerilim $V_a(t)$, Eş. 21'den faydalanılarak Eş. 22'de verildiği gibi elde edilir.

$$V_a(t) = \left(\frac{\left(-\lambda K_p - K_i + \frac{B}{J} * K_p \right) \frac{1}{J} (T_e(t) - T_L(t) - B\omega(t)) + \lambda K_i (\omega_{ref}(t) - \omega(t)) + \frac{K_p K_m}{J} \left(\frac{R_a i_a(t) + K_b \omega(t)}{L_a} \right)}{\frac{K_p K_m}{J L_a}} \right) \quad (22)$$

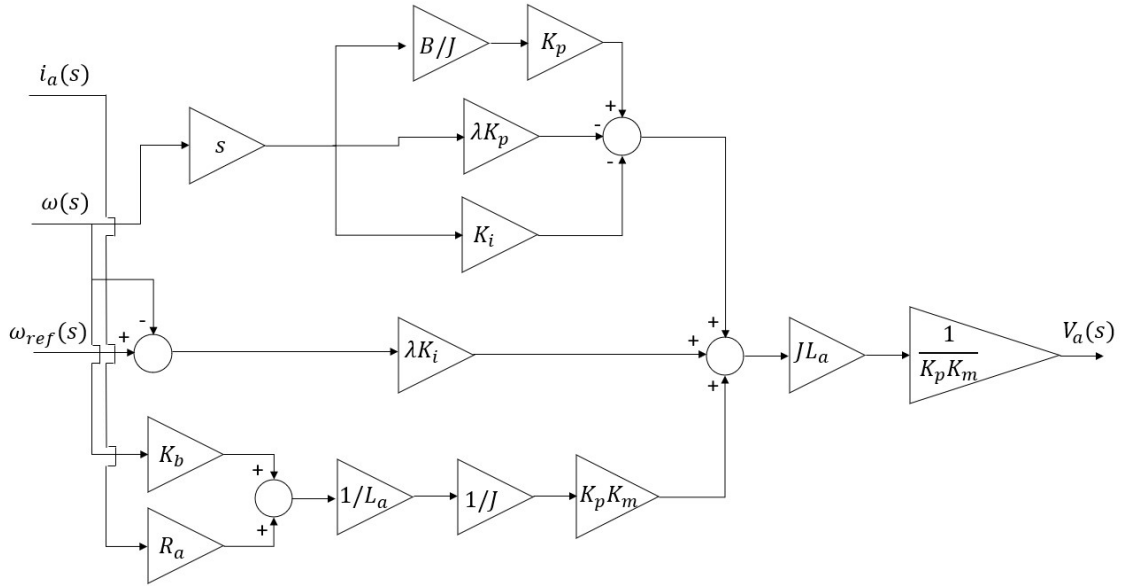
Eş. 22 ile verilen ifadenin Laplace dönüşümü yapılırsa, önerilen denetleyici ile elde edilen kontrol işareti Eş. 23'te verildiği gibi elde edilir.

$$V_a(s) = \left(\frac{\left(-\lambda K_p - K_i + \frac{B}{J} * K_p \right) \omega(s) s + \lambda K_i (\omega_{ref}(s) - \omega(s)) + \frac{K_p K_m}{J} \left(\frac{R_a i_a(s) + K_b \omega(s)}{L_a} \right)}{\frac{K_p K_m}{J L_a}} \right) \quad (23)$$

Önerilen yöntemin anlaşılabilirliğini kolay kılmak için Şekil 3'te işlem basamakları akış şeması ile verilmiştir. DC motorun hız kontrolü için önerilen Lyapunov tabanlı PI kontrolörün blok diyagramı ise Şekil 4'te verilmektedir.



Şekil 3. Önerilen yönteme ait akış şeması



Şekil 4. DC motor hız kontrolü için önerilen Lyapunov tabanlı PI kontrolör

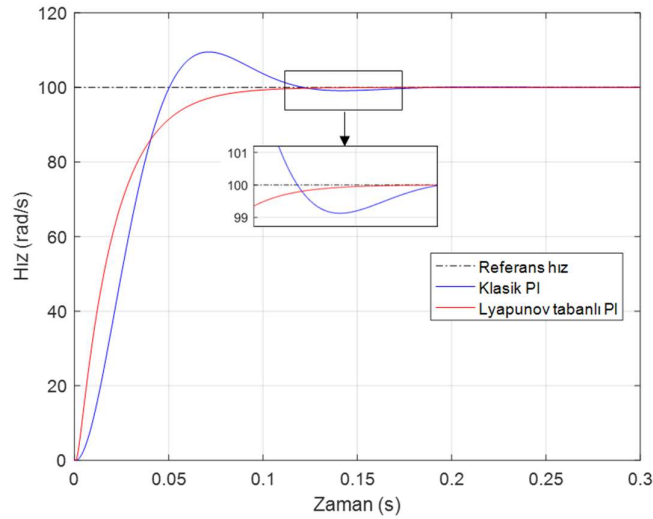
IV. BENZETİM SONUÇLARI

Tablo 1’de verilen DC motorun hız kontrolü için önerilen Lyapunov tabanlı PI kontrolöre ait benzetim çalışması MATLAB programı ile gerçekleştirildi. Önerilen kontrolör, klasik PI kontrolör ile karşılaştırıldı. Klasik PI kontrolör parametreleri Matlab tune ile optimize edildi ve kontrol parametreleri olarak $K_p=1,79$ ve $K_i=45,19$ kullanıldı. Önerilen Lyapunov tabanlı PI kontrolörde kullanılan λ parametresi deneme yanılma yoluyla, K_p ve K_i parametreleri Matlab tune ile ayarlanan parametreler üzerinden deneme yanılma yoluyla belirlendi. Kullanılan parametreler $K_p=0,1$ ve $K_i=50$ ve $\lambda=50$ ’dir.

Tablo 1. DC motor parametreleri

Parametre	Değer
Anma gücü	3,68 kW
Armatür direnci (R_a)	2,581 Ω
Armatür endüktansı (L_a)	0,028 H
Zıt emk sabiti (K_b)	1,0113 V s/rad
Moment sabiti (K_m)	1,0113 Nm/A
Atalet momenti (J)	0,02215 Kg m ²
Viskoz sönümlenme katsayısı (B)	0,002953 Nms/rad

Önerilen yöntemin geçici hal yanıtındaki başarımını test etmek için DC motor sabit 100 rad/s referans hız altında çalıştırıldı ve motorun hız cevabı Şekil 4'te verildiği gibi gözlemlendi. Şekil 3'ten faydalanarak Lyapunov tabanlı PI ve klasik PI kontrolörlerin geçici hal yanıtına ilişkin parametreleri ölçülmüş ve Tablo 2'de verilmiştir. Tablo 2 incelendiğinde Lyapunov tabanlı PI kontrolör ile hiç aşma olmadığı görülmekte olup, klasik PI kontrolör ile yaklaşık % 9,5 aşma görülmektedir. Aynı zamanda geçici hal davranışına ilişkin diğer önemli parametrelerden biri olan yerleşme zamanı incelendiğinde, DC motorun Lyapunov tabanlı PI kontrolör ile klasik PI kontrolöre kıyasla 0,03 sn daha kısa sürede istenen hız değerine ulaştığı görülmektedir. Yükselme zamanı her iki kontrolör için birbirine çok yakındır.

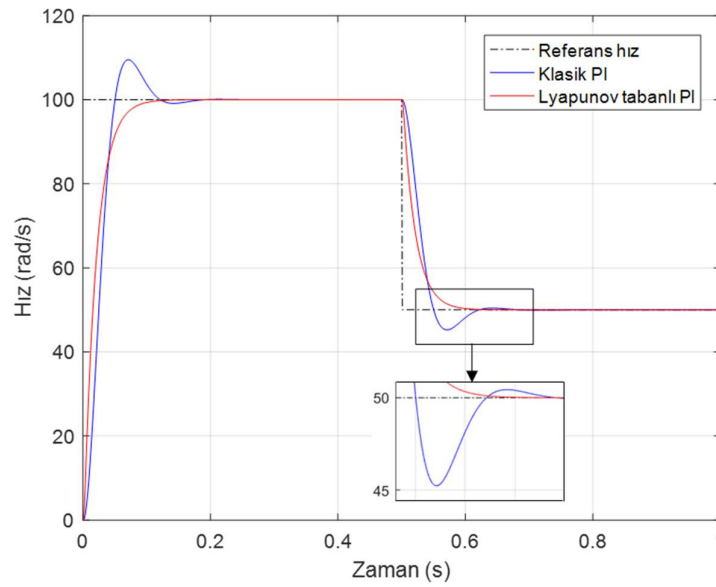


Şekil 4. DC motorun sabit referans hız altında hız cevabı

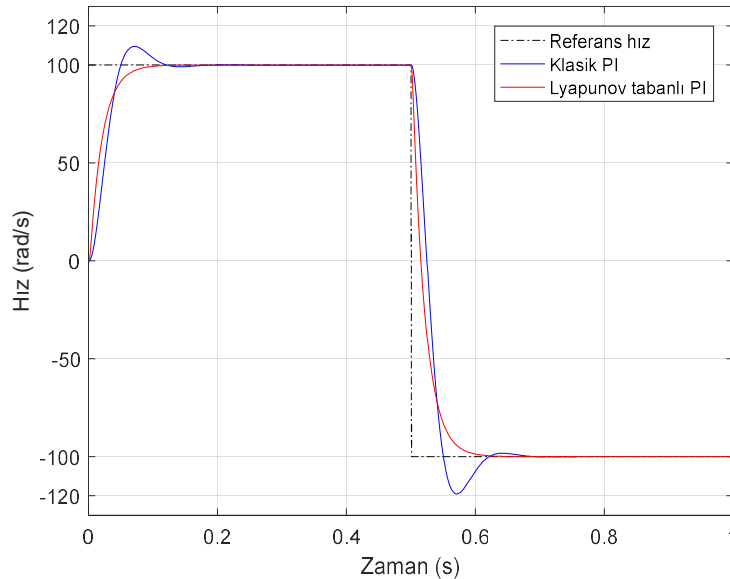
Tablo 2. DC motorun geçici hal davranışına ilişkin parametreler

Kontrolör tipi	Aşma	Yerleşme zamanı	Yükselme zamanı
Lyapunov tabanlı PI kontrolör	% 0	0,078 s	0,047 s
Klasik PI kontrolör	% 9,5	0,108 s	0,043 s

DC motorun değişken referans hız altındaki tepkisi Şekil 5'te verilmektedir. Her iki kontrolörle de kalıcı durum hatası görülmezken, referans hızın değiştii noktada klasik PI kontrolörle istenmeyen salınımların ortaya çıktığı görülmektedir. Lyapunov tabanlı PI kontrolör ile salınım görülmemektedir. DC motorun iki yönlü çalışmasını test etmek için referans hız olarak ilk 0,5 saniye 100 rad/s, sonraki 0,5 saniye -100 rad/s değeri girilmiştir ve Şekil 6'da görüldüğü gibi motor her iki yönde de başarılı bir şekilde çalışabilmekte ve kontrol edilebilmektedir.

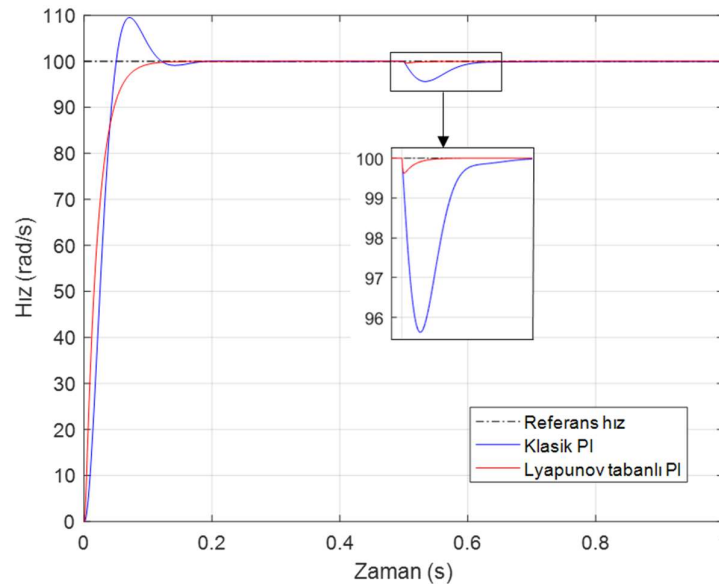


Şekil 5. DC motorun değişken referans hız altında hız cevabı

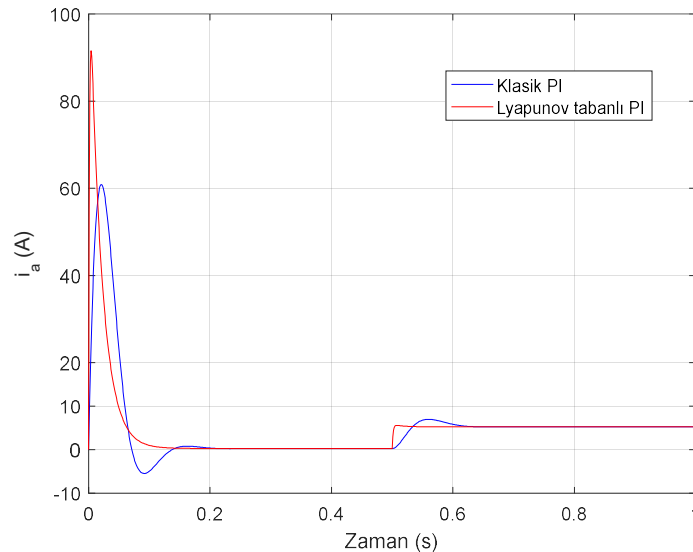


Şekil 6. DC motorun iki yönlü çalışması

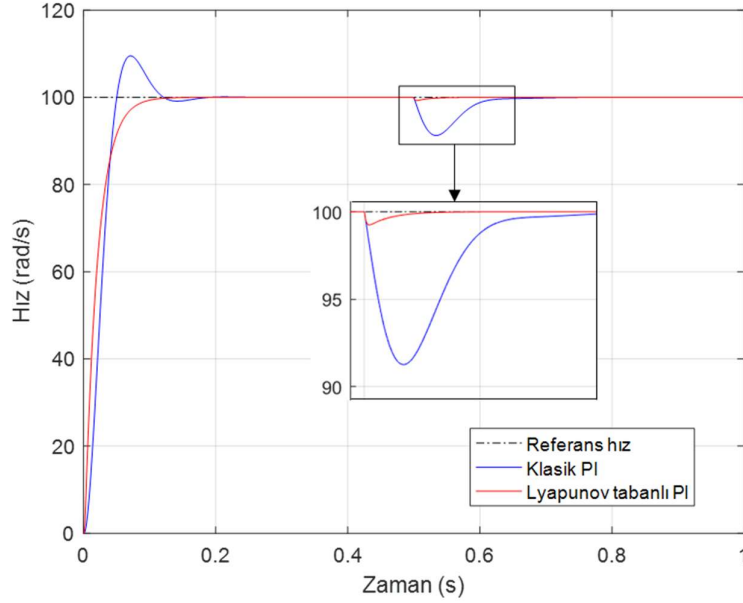
DC motorun bozucu giriş olan değişken yük altındaki başarımını test etmek için başlangıçta boşta çalışan motora 0,5'inci saniyede 5 Nm yük uygulanmıştır. Motorun tepkisi Şekil 7'de görülmektedir. Yük değişiminin olduğu noktada, Lyapunov tabanlı PI kontrolör ile motorun hızında % 0,4 oranında çok küçük bir azalma olduğu ve daha sonra kısa sürede yeniden istenen değere ulaştığı görülürken, klasik PI kontrolör ile motorun hızında % 4,4 oranında daha büyük bir azalma olduğu ve daha uzun sürede istenen değere tekrar ulaştığı görülmektedir. Şekil 8'de ise yüksüz çalışmada DC motorun kararlı halde armatür akımının 0,3 A olduğu, yüklü çalışmada 5,24 A olduğu görülmektedir. Akım değişiminden de görüleceği üzere yük değişiminin olması sonucu Lyapunov tabanlı PI kontrolör ile motorun kararlı duruma hızlı geçiş yaptığı görülmektedir. Bozucu girişin artması durumunu test etmek için motordaki yük değişimi artırılarak, yüksüz çalışmadan 10 Nm yük altında çalışmaya geçilmiş ve Şekil 9'da görüldüğü gibi 5 Nm yük altında çalışmaya nispeten, klasik PI ile yeniden kararlı duruma geçmeden önce motorun hızındaki düşüş % 4,35 oranında artarak % 8,75 olurken, Lyapunov tabanlı PI ile kararlı duruma geçmeden önce motorun hızındaki düşüş % 0,35 oranında artarak % 0,75 olmuştur. Bu sonuçlar, önerilen Lyapunov tabanlı PI kontrolörün DC motor kontrolünde bozucu girişlere karşı gürbüz bir kontrol yöntemi olduğunu göstermektedir.



Şekil 7. DC motorun 5 Nm yük momenti değişimi altında hız cevabı



Şekil 8. DC motorun 5 Nm yük momenti değişimi altında armatür akımı



Şekil 9. DC motorun 10 Nm yük momenti değişimi altında hız cevabı

V. SONUC

Bu çalışmada DC motorun hız kontrolü için önerilen Lyapunov tabanlı PI kontrolörün performansı, klasik PI kontrolör ile karşılaştırılarak gösterilmektedir. Önerilen kontrolör ile DC motor kontrol sisteminin asimptotik kararlılığı Barbalat'ın ön kuramına göre ispatlanmıştır. Dinamik performans üzerindeki etkisi, değişken referans hız koşulu altında ve değişken bozucu giriş altında çalışmasıyla test edilmektedir. Değişken referans hız koşulu altında klasik PI kontrolör ile istenmeyen salınımlar ortaya çıkarken, önerilen kontrolör ile salınımların elimine edildiği görülmektedir. Ayrıca önerilen kontrolör DC motorun her iki yönde çalışmasını ve kontrol edilebilmesini sağlamaktadır. İki farklı yükte test edilen değişken yük koşulu altında da önerilen kontrolör ile klasik PI kontrolöre kıyasla DC motor hızının bozucu girişten çok daha az etkilendiği görülmüştür. Benzetim sonuçları önerilen Lyapunov tabanlı PI kontrolörün gürbüz bir kontrolör olduğunu ve klasik PI kontrolöre göre dinamik performansının daha iyi olduğunu göstermektedir. Gelecekte yapılacak çalışmalarda Lyapunov tabanlı PI kontrolör parametreleri sezgisel yöntemlerle optimize edilerek daha iyi sonuçlar elde edilebilir. Aynı zamanda Lyapunov tabanlı bu yaklaşım, bulanık mantık kontrolör gibi zeki denetleyicilere de uyarlanabilir.

VI. KAYNAKLAR

- [1] F. Blaabjerg, G-D. Andreescu, C. I. Pitic, and I. Boldea, "Combined flux observer with signal injection enhancement for wide speed range sensorless direct torque control of IPMSM drives," *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 23, no. 2, pp. 393–402, 2008.
- [2] L. Tang, L. Zhong, M. Rahman, and Y. Hu, "A novel direct torque control for interior permanent-magnet synchronous machine drive with low ripple in torque and flux - a speed-sensorless approach," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 39, no. 6, pp. 1748–1756, 2003.
- [3] S. Ekinçi, B. Hekimoğlu, and D. Izci, "Opposition based Henry gas solubility optimization as a novel algorithm for PID control of DC motor," *Engineering Science and Technology, an International Journal*, vol. 24, no. 2, pp. 331-342, 2021.
- [4] B. Hekimoğlu, "Optimal tuning of fractional order PID controller for DC motor speed control via

chaotic atom search optimization algorithm,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 38100–38114, 2019.

[5] A. Rodríguez-Molina, M.G. Villarreal-Cervantes, and M. Aldape-Pérez, “An adaptive control study for a DC motor using meta-heuristic algorithms,” *IFAC Papers-OnLine*, vol. 50, pp. 13114–13120, 2017.

[6] A. Rodríguez-Molina, M.G. Villarreal-Cervantes, J. Álvarez-Gallegos, and M. AldapePérez, “Bio-inspired adaptive control strategy for the highly efficient speed regulation of the DC motor under parametric uncertainty,” *Appl. Soft Comput. J.*, vol. 75, pp. 29–45, 2019.

[7] A.T. El-Deen, A.A. Hakim Mahmoud, and A.R. El-Sawi, “Optimal PID tuning for DC motor speed controller based on genetic algorithm,” *Int. Rev. Autom. Control.*, vol. 8, pp. 80–85, 2015.

[8] A. Madadi, and M.M. Motlagh, “Optimal control of DC motor using grey wolf optimizer algorithm,” *Tech. J. Eng. Appl. Sci.*, vol. 4, pp. 373–379, 2014.

[9] R. Jain, M.V. Aware, and A.S. Junghare, “Tuning of fractional order PID controller using particle swarm optimization technique for DC motor speed control,” *IEEE 1st International Conference on Power Electronics, Intelligent Control and Energy Systems (ICPEICES)*, 2016, pp. 1–4.

[10] F. Cibo, “Doğru akım motorunun bulanık mantık-PI kontrolör ile hız kontrol performansının iyileştirilmesi,” Yüksek lisans tezi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Zonguldak, Türkiye, 2020.

[11] Z. Ben mabrouk, A. Aicha, B.H. Mouna, and S. Lassaad, “Speed control of DC machine using adaptive neural IMC controller based on recurrent neural network,” *5th International Conference on Systems and Control (ICSC)*, 2016, pp. 198-203.

[12] U. Maheswararao.Ch, Y.S. Kishore Babu, and K. Amaresh, “Sliding mode speed control of a DC motor,” *International Conference on Communication Systems and Network Technologies*, 2011, pp. 387–391.

[13] S.V. Ambesange, S.Y. Gadgune, and D.S. More, “Application of sliding mode control for the speed control of DC motor drives,” *IEEE International Conference on Control Applications*, 2013, pp. 832–836.

[14] O.A. Morfín, C.E. Castañeda, A. Valderrabano-Gonzalez, M. Hernandez-Gonzalez, and F.A. Valenzuela, “A real-time SOSM supertwisting technique for a compound DC motor velocity controller,” *Energies*, vol. 10, no. 9, pp. 1–18, 2017.

[15] T.P. Cabré, A.S. Vela, M.T. Ribes, J.M. Blanc, J. R. Pablo, and F.C. Sancho, “Didactic platform for DC motor speed and position control in Z-plane,” *ISA Transactions*, vol. 118, pp. 116–132, 2021.

[16] S. Kart, “Yakıt hücre sistemleri için çift katlı yükseltilen DA-DA dönüştürücünün kontrolü,” Doktora tezi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2021.

[17] J. J. E. Slotine, and W. Li, *Applied Nonlinear Control*, New Jersey, USA: Prentice-Hall, 1991, pp. 100-126.

[18] O. O. Martins, A. A. Adekunle, M. O. Arowolo, D. C. Uguru-Okorie, and B. O. Bolaji, “The effect of an evolutionary algorithm’s rapid convergence on improving DC motor response using a PID controller,” *Scientific African*, vol. 17, pp. 1-13, 2022.



- [19] M. Salimi, "Practical implementation of the Lyapunov based nonlinear controller in DC-DC boost converter for MPPT of the PV systems," *Solar Energy*, vol. 173, pp. 246-255, 2018.
- [20] X. Yang, W. Deng, and J. Yao, "Neural network based output feedback control for DC motors with asymptotic stability," *Mechanical Systems and Signal Processing*, vol. 164, pp. 1-15, 2022.
- [21] R. Ö. Doruk ve A. Zuglem, "Geri adımlama tekniği ile bir DC motorun konum ve hız kontrolü," *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 22, ss. 65 – 82, 2018.
- [22] A. Tepljakov, E. A. Gonzalez, E. Petlenkov, J. Belikov, C. A. Monje, and I. Petráš, "Incorporation of fractional-order dynamics into an existing PI/PID DC motor control loop," *ISA Transactions*, vol. 60, pp. 262-273, 2016.
- [23] A. M. Zaki, M. El-Bardini, F. A. S. Soliman, and M. M. Sharaf, "Embedded two level direct adaptive fuzzy controller for DC motor speed control," *Ain Shams Engineering Journal*, vol. 9, no. 1, pp. 65-75, 2018.
- [24] M. Nikolić, M. Šelmić, D. Macura, and J. Čalić, "Bee Colony Optimization metaheuristic for fuzzy membership functions tuning," *Expert Systems with Applications*, vol. 158, pp. 1-10, 2020.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Biyolojik Yöntem ile GO Katkılı Al/(Biyo-ZnO)/pSi Schottky Diyotların Üretimi ve Elektriksel Karakterizasyonu

 Mine KIRKBINAR ^{a,*},  Fatih ÇALIŞKAN ^a

^a Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi,
Sakarya, TÜRKİYE

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

DOI:10.29130/dubited.1171313

ÖZ

Biyolojik sentez yöntemi, kimyasal ve fiziksel yöntemlerin aksine toksik kimyasallar ve yüksek enerji gerektirmediği için zararsız, düşük maliyetli ve kolay uygulanabilir bir yöntemdir. Biyolojik sentez yöntemiyle nano boyutlu metaloksitler ve metaloksit olmayan tozlar üretilebilmektedir. Metaloksitler içerisinde yer alan çinkooksit (ZnO) elektriksel ve kimyasal özellikleri nedeniyle sağlık, elektronik ve yarıiletken cihazlar gibi geniş bir kullanım alanına sahiptir. ZnO birçok yöntemle üretilebileceği gibi biyolojik yöntemle de üretilebilmektedir. ZnO geniş bant aralığı, yüksek bağlanma enerjisi ve UV ışığa duyarlılığı nedeniyle elektronik ve optik sektörü için araştırmacıların ilgisini çekmektedir. ZnO film kaplamalarda hızlı elektron-deşik rekombinasyonu nedeniyle yapıya farklı malzemelerin katılmasına ile yük taşıyıcı konsantrasyonu artırılarak elektriksel özellikler geliştirilebilmektedir. Bu çalışmada biyolojik sentez yöntemi ile ZnO tozu ve Hummers metodu ile grafenoksit (GO) sentezlenmiştir. Elde edilen nihai tozlar sol jel yöntemiyle solüsyon haline getirilmiş ve silisyum altlıkların yüzeyine döndürme kaplama yöntemi ile kaplanmıştır. Kaplama işlemi 3000 dv/dk 30 saniyede gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan ince film kaplamalar için alüminyum (Al) omik ve doğrultucu kontaklar fiziksel buhar biriktirme (PVD) yöntemiyle kaplanmıştır. Kaplamalar morfolojik ve kimyasal olarak alan emisyonlu taramalı elektron mikroskobu (FESEM) ve X-ışını kırınım (XRD) ile karakterize edilmiştir. Kesitten alınan FESEM görüntüleri, kaplama kalınlığının ortalama 200 nm olarak elde edildiğini ve yüzey görüntüsü, homojen kaplama yapıldığını göstermektedir. EDS analizi ile yüzeyde GO'dan kaynaklanan C, O atomları ve ZnO'dan kaynaklanan Zn, O atomları tespit edilmiştir. Elektriksel karakterizasyon için karanlık ortamda Keithley 2400 cihazında ± 4 V aralığında akım-voltaj (I-V) analizi yapılmıştır. Elde edilen verilerden ideal parametrelere sahip Schottky diyotun GO katkı biyolojik sentezle üretilmiş ZnO kullanılan Al/(Biyo-ZnO:GO)/pSi diyot olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Grafenoksit, Çinkooksit, Schottky Diyotlar

Fabrication and Electrical Characterization of GO Doped Al/(Bio-ZnO)/pSi Schottky Diodes by Green Synthesis

ABSTRACT

The green synthesis is a harmless, low-cost and easy-to-apply method since it does not require toxic chemicals and high energy, unlike chemical and physical methods. Nano-sized metaloxides and non-metaloxide powders can be easily synthesized by green method. Zinc oxide (ZnO), which is included in metal oxides, has a wide range of uses such as biological applications, electronic and semiconductor devices due to its electrical and chemical properties. ZnO can be produced by many methods as well as by green synthesis. ZnO attracts researchers for the electronics and optics industry due to its wide band gap, high binding energy and sensitivity to UV light., Electrical properties of ZnO thin film coatings can be improved by increasing the charge carrier concentration with doping different materials to the structure because of the rapid electron-hole recombination.

In this study, The ZnO nanoparticles were synthesized by green synthesis method and the graphenoxide (GO) was synthesized by Hummers method. The final powders obtained were dissolved by the sol gel method and coated on the surface of the silicon substrates by the spin coating. The coating process was carried out at 3000 rpm in 30 seconds and then aluminum (Al) ohmic and rectifier contacts were coated by physical vapor deposition (PVD) method. The coated thin films were characterized morphologically and chemically by scanning electron microscopy (FESEM) and X-ray diffraction (XRD). The FESEM images taken from the section show that the coating thickness was obtained as an average of 200 nm and the surface image shows that homogeneous coating was made. C, O atoms originating from GO and Zn, O atoms originating from ZnO were detected on the surface by EDS analysis. For electrical characterization, the current-voltage (I-V) analysis in the range of ± 4 V was performed on a Keithley 2400 device in the dark. From the data obtained, it was determined that the Schottky diode with ideal parameters is a GO-doped (Al/(Bio-ZnO:GO)/pSi) diode by using ZnO synthesized by green method.

Keywords: Grapheneoxide, Zincoxide, Schottky Diodes

I. GİRİŞ

Elektronik malzemeler arasında titanyum dioksit (TiO_2) ve çinkooksit (ZnO) gibi metal oksitler oldukça yaygın kullanıma sahiptir. ZnO metal oksitler arasında yüksek elektron taşıyıcısına sahip olması, daha düşük oranda yük taşıyıcı rekombinasyonuna uğraması [1] ve farklı morfolojilerde (nanotel, nanarod vb.) sentezlenebilme gibi avantajlara sahiptir [2,3]. ZnO nano partiküllerinin farklı şekillerde üretilmesi materyalin elektronik performansını (güneş panellerinde ışık Emilimi, elektronik malzemelerde yük taşıyıcısının hızlı olması vb.) oldukça etkilemektedir [4,5]. ZnO oda sıcaklığında geniş bant aralığı (3,37eV), yüksek bağlanma enerjisi (60 meV), yüksek fotoelektrik aktivite gibi özellikler sergilediği için opto-elektronik cihazlarda oldukça gözde bir malzeme haline almıştır[6,7].

ZnO nano partikülleri fiziksel, kimyasal ve biyolojik gibi farklı yöntemler ile üretilmektedir. Ancak fiziksel yöntemler yüksek sıcaklık girdisi gerektirdiği için enerji tüketimi fazladır. Buna ek olarak fiziksel ve kimyasal sentez yöntemlerinde toksik ve tehlikeli kimyasallar, indirgeyici ve stabilizör ajan olarak kullanıldığı için çevre kirliliğine neden olmaktadır [8,9]. Bu nedenle uzun yıllardır kullanılan fiziksel ve kimyasal metotlarda kullanılan zehirleyici materyaller yerine çevre dostu ve zararsız malzemelerin kullanımı son dönemlerde ilgi odağı haline gelmiştir. Gelişen teknoloji ile ucuz, tek adımlı, güvenli, toksik olmayan ve kolay kontrol edilebilir üretim arayışı sayesinde biyolojik sentez yöntemi gözde bir metot olmuştur. Biyolojik sentez yönteminde zararlı kimyasallar yerine tamamen çevre dostu olan bitki ekstraktları ve bakteriler kullanılmaktadır [10]. Ancak bakteri kullanıldığında ekstra bir hücre kültürüne ihtiyaç duyulmaktadır [11]. Literatürde ZnO altın yağmur sinamekisi, tesbih ağacı, papatya, zeytin yaprağı, domates gibi farklı bitki ekstraktları ile sentezlenmiştir [12,13].

ZnO geniş bant aralığı, bağlanma enerjisi ve UV ışık duyarlılığı nedeniyle elektronik malzemelerde kullanılmaktadır. Ancak ZnO'nun elektron-deşik rekombinasyonunun hızlı oluşmasına bağlı olarak sınırlı fotokatalitik özellik göstermektedir ve katkı malzemesi ile bu özelliğin geliştirilebildiği literatürde raporlanmıştır. Bu katkılardan ZnO içerisine indirgenmiş grafen oksit (rGO) katkılanarak optik özelliklerin arttığı belirtilmiştir [12]. Grafen oksit mekanik soyma, kimyasal buhar biriktirme, Hummers metodu gibi farklı yöntemler ile üretilebilmektedir. GO'nun elektronik bant aralığının olmaması ve yüksek taşıyıcı mobilitesi gibi özellikleri sayesinde, yüksek elektriksel ve optik özelliklerinden yararlanarak diyotun fotokatalitik özellikleri gelişmektedir. GO, ZnO matrisi içerisinde arayer olarak yerleşir ve GO elektron konsantrasyonunu artırarak yük taşınmasına katkıda bulunur [14,15]. GO, yüksek spesifik yüzey alanı sayesinde elektron-deşik rekombinasyonunu ve ZnO'nun aglomerasyonu (ince partiküllü tanelerin birleşerek büyük partiküller oluşturması) engellemektedir [16]. ZnO içerisine GO katkısı sol jel yöntemiyle kolaylıkla hazırlanmaktadır ve oluşturulan ZnO:GO kompoziti döndürme kaplama ile ince film olarak kolayca kaplanabilmektedir [17]. GO yapısında karboksil, epoksi ve hidroksil fonksiyonel grupları olduğu için farklı çözücülerde kolay çözülebilmektedir[18].

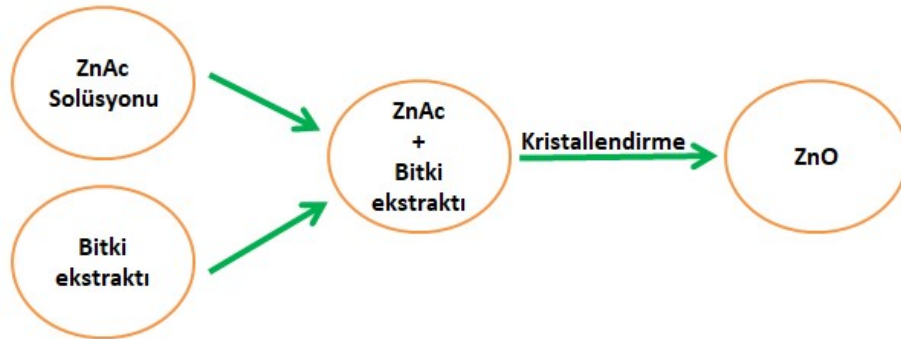
Bu çalışmada nano boyutlu ZnO partikülleri, toksik kimyasalların kullanılmadığı biyolojik yöntemle sentezlenmiştir. Katkı olarak kullanılan GO ise Hummers metodu ile sentezlenmiştir. Çalışma kapsamında GO katkılı ZnO ince filmlerin üretilmiş ve p tipi Silisyum (pSi) üzerine sol-jel döndürme ile kaplama yöntemiyle 3000 dv/dk kaplama hızında 30 s boyunca kaplanmıştır. GO katkısının etkisinin karşılaştırılabilmesi için sadece biyolojik olarak sentezlenen ZnO partiküllerinin kaplandığı bir numune daha (Al/(Biyo-ZnO)/pSi) üretilmiştir. Her iki numunedeki diyet oluşumu ve elektriksel ölçümlerin gerçekleştirilmesi için Al omik ve doğrultucu kontaklar PVD yöntemiyle kaplanmıştır. Kaplanan ince filmler; morfolojik, kimyasal ve elektriksel olarak karakterize edilmiştir.

II. MATERYAL VE METOT

Çalışmalarda ZnO üretimi için öncül malzeme olarak %99 saflıkta çinko asetat dihidrat (ZnAc) ($Zn(CH_3CO_2)_2 \cdot 2H_2O$), çözücü olarak etanol (C_2H_6O) biyolojik sentezde indirgeyici ajan olarak ise ıhlamur bitkisi tercih edilmiş ve GO üretimi için ise nitrik asit (HNO_3), sülfürik asit (H_2SO_4), potasyum permanganat ($KMnO_4$), hidrojen peroksit (H_2O_2) kullanılmıştır. Gerçekleştirilen tüm aşamalarda temizlik işlemleri için saf su ve etil alkol kullanılmıştır. Kaplamalarda kullanılan Silisyum altlık; 100 oryantasyonunda, 1-10 Ω öz dirence sahip, 380 μm kalınlığındadır.

A. BİYOLOJİK SENTEZ YÖNTEMİYLE ZnO NPs SENTEZLENMESİ

ZnO nano partiküllerin biyolojik sentezi için; 0,3 M ZnAc, 60 ml etanol içerisine eklenmiş ve oda sıcaklığında 1 saat manyetik karıştırıcıda karıştırılmıştır. Farklı bir beherde 40 ml etanol ve 4 gr kurutulmuş ve temizlenmiş ıhlamur oda sıcaklığında yarım saat karıştırılmıştır. Elde edilen bitki özütü ilk önce filtrelenmiş ve santrifüj edilerek 3 kez saf su ile yıkanmıştır. Hazırlanan bitki özütü ZnAc solüsyonuna damla damla olarak eklenmiştir. Stabilizer olarak eklenen bitki özütü sayesinde ZnO partiküllerinin solüsyonda çökmesi engellenmiş ve karboksil grubu bağlanmıştır. Nihai solüsyon 40 °C'de 1 saat karıştırılmıştır. Hazırlanan solüsyon kayıkçıklara aktararak 500 °C'de 2 saat ısıtılma tabii tutulmuş ve yapıda bulunan organik uçucular uzaklaştırılmış ve $Zn(OH)_2$ yapısı kalsine edilerek yapıdaki su uzaklaştırıldıktan sonra ZnO tozları kristallenmiştir.



Şekil 1. Biyolojik sentez yöntemiyle ZnO tozunun üretimine ait şematik gösterimi.

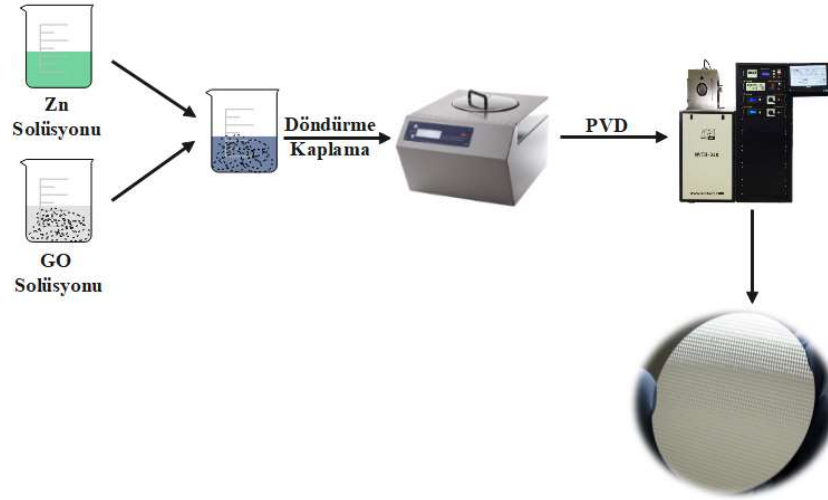
B. HUMMERS METODU İLE GRAFENOKSİT (GO) SENTEZLENMESİ

Ön işlem için 1 gr pulcuklu grafit 1:3 (hacimce) oranında sülfürik asit (H_2SO_4) ve nitrik asit (HNO_3) çözeltisinde 2 saat oda sıcaklığında karıştırılmıştır. Daha sonra saf su ile yıkanmış ve pH'ı düşürülerek 800 °C'de 2 dakika ön işleme tabii tutulmuştur. Hazırlanan ön işlem görmüş grafit 0,5 gram $NaNO_3$ eklenerek sülfürik asit içerisinde 1 saat karıştırılmıştır. Hazırlanan karışım buz banyosuna alınarak 0

°C’de 3 gr potasyum permanganat (KMnO₄) eklenerek karıştırılmış ve hazırlanan bu karışım buz banyosundan çıkarılarak 35 °C’de 1 saat jel (macun) kıvamına getirilmiştir. Daha sonra saf su eklenerek seyreltme işlemi yapılmıştır. Oluşan ekzotermik reaksiyonun devam etmesi için sıcaklık 98 °C’ye getirilmiştir. Devamında ise 140 ml saf su ve %2 hidrojen peroksit (H₂O₂) eklenerek oda sıcaklığında 2.5 saat karıştırılmıştır. Çözelti filtrelenip 90 ml HCl (%30) çözeltisi ile yıkanmıştır. Daha sonra pH’ın nötr olması için saf su ile yıkanmış ve etüv fırında kurutulmuştur.

C. Al/Biyo-ZnO:GO/p-Si SCHOTTKY DİYOTLARIN ÜRETİMİ

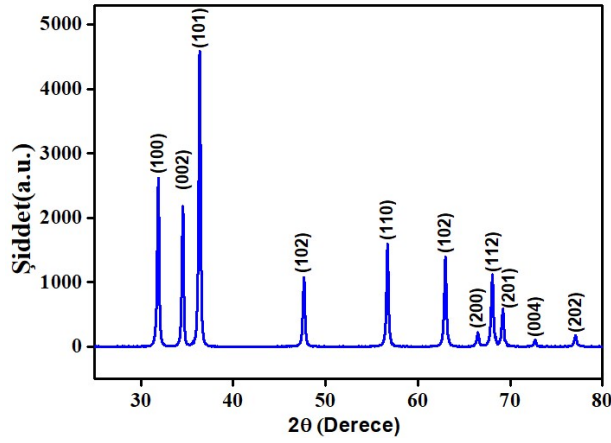
ZnO:GO kaplama solüsyonunun hazırlanması için; ilk olarak biyolojik olarak sentezlenen ZnO tozundan 0,4 molar alınarak 30 ml etanol içerisine eklenmiş ve 50 °C’de 1 saat karıştırılmıştır. Daha sonra Hummers metoyla üretilen 0,2 gram grafit oksit yapısının Van der Waals bağlarının kopararak GO eldesi için etanol içerisinde 1 saat ultrasonik işlem yapılmıştır ve ayrı ayrı ZnO ve GO solüsyonları elde edilmiştir. Hazırlanan iki nihai solüsyon birleştirilerek oda sıcaklığında 1 saat karıştırılmıştır ve kaplanacak olan ZnO:GO çözeltisi elde edilmiştir. Kaplamadan önce p tipi silisyum altlığın yüzeyinde bulunan oksit tabakası alkol ve asit bazlı çözücülerle kaldırılmış ve standart temizleme işlemine tabi tutulmuştur. Nihai solüsyon (ZnO:GO) döndürme kaplama yöntemiyle 3000 devir/dk kaplama hızında 30 s boyunca silisyum altlık yüzeyine kaplanmıştır. Bu kaplama işlemi 5 kez tekrar edilmiştir. Hazırlanan diyot 500 °C’de 1 saat tavlannmıştır. Elde edilen diyotların elektriksel olarak karakterize edilebilmesi amacıyla Al nokta omik ve doğrultucu kontaklar(, 150 nm kalınlıkta PVD yöntemiyle kaplanmıştır. Tüm bu üretim prosesinin şematik görünümü Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. Al/Biyo-ZnO:GO/pSi Schottky diyotlarının üretimine ait şematik gösterim.

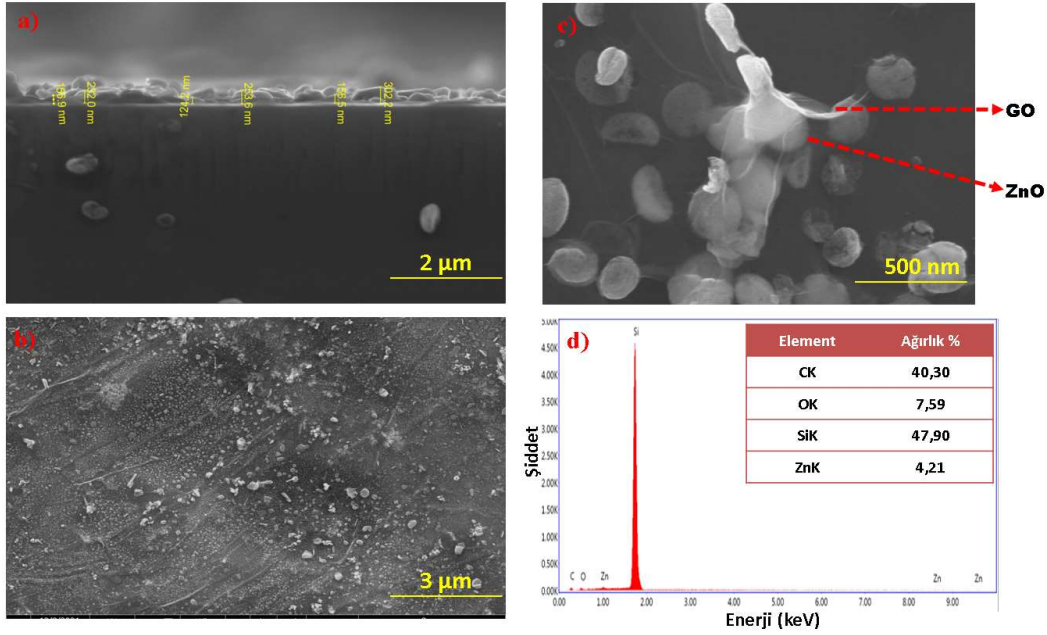
3.BULGULAR VE TARTIŞMA

Biyolojik yöntemle sentezlenen GO katkılı ZnO ince filmler Rigaku marka XRD cihazında $2\theta = 20-80^\circ$ aralığında çekilmiş ve Şekil 3’te elde edilen analiz sonucu paylaşılmıştır. XRD analizindeki pikler; 31.70° , 34.38° , 36.19° , 47.62° , 56.49° , 62.88° , 66.18° , 67.92° , 68.99° , 73.64° ve düzlemler 100, 002, 101, 102, 110, 102, 200, 112, 201, 004, 202 şeklindedir. Verilen XRD pikleri incelendiğinde yapının ZnO’nun üç formundan birisi olan hegzagonal wurtize formuna ait olduğu gözlemlenmektedir. GO pikleri ise belirgin bir şekilde gözlemlenmemiştir. ZnO nano yapısının yüksek dereede kristalin olduğu ve katılan GO’in kristallliği bozmadığı gözlemlenmektedir[14]. Ayrıca yapıda empürite varlığı gözlemlenmemektedir.



Şekil 3. Biyolojik sentez yöntemiyle üretilen ZnO:GO ince filmlere ait XRD sonucu.

ZnO:GO kaplanan atıkların kesit ve yüzey görüntüleri ile elementel analizi (EDS) Şekil 4'te paylaşılmıştır. Elde edilen FESEM görüntüleri incelendiğinde silisyum yüzeyine GO katkılı ZnO ince film kaplamalar başarıyla gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4. ZnO:GO diyotlarının FESEM görüntüleri (a)Kesit (b)Yüzey (c)500 nm yüzey görüntüsü (d)EDS.

Şekil 4 a'da verilen kesit görüntüsü incelendiğinde ortalama kaplama kalınlığının 200 nm olduğu belirlenmiştir. Yüzeyde kaplamanın değişen kalınlığı ince film kaplamaların döndürme kaplama yöntemiyle yapılmasından kaynaklanmaktadır. Yöntemde oluşan merkezkaç kuvveti nedeniyle solüsyon altlıkların kenar bölgelerinde daha kolay kaplanarak büyümektedir. Şekil 4b'de verilen yüzey görüntüleri incelendiğinde silisyum altlıkların yüzeyine kaplamanın gerçekleştiği gözlemlenmektedir. Şekil 4 c'de verilen FESEM görüntüsü incelendiğinde yüzeyde beyaz olarak gözlemlenen küresel benzeri yapılar çinkooksittir. GO'nun ZnO tozlarının yüzeyinde büyüdüğü gözlemlenmektedir.

Küresel forma benzeyen ZnO nano tozlarının yüzeyi incecik bir GO tabakası ile kaplanmıştır. Bir küre formun farklı bir malzeme tarafından çevrelenmesi ile oluşan yumurta kabuk modeli vardır. ZnO partiküllerinin GO yapısı tarafından sarmalanması ile oluşan bu yapı, yumurta kabuk modeli olarak adlandırılabilir. Verilen EDS analizine ait tablodaki değerler grafen tabakasının bulunduğu yumurtanın kabuk olarak adlandırılan bölgelerinden alınmıştır. EDS analizi incelendiğinde ise altlıktan gelen Si piki, GO nedeniyle C piki ve ZnO'ya ait Zn piki tespit edilmiştir. Ayrıca hem ZnO hem de GO'dan kaynaklanan O piki de göze çarpmaktadır. Kaplama kalınlığının nano boyutta olması nedeniyle Si pikinin şiddeti yüksek çıktığı düşünülmüştür.

Elektriksel ölçümler için Al omik ve doğrultucu kontaklar PVD yöntemiyle 22 Å/s kaplama hızında yaklaşık 150 nm kalınlık olacak şekilde kaplanmış ve sonrasında Al kontaklar azot ortamında 200 °C'de yaklaşık 5 dakika boyunca tavlansmıştır.

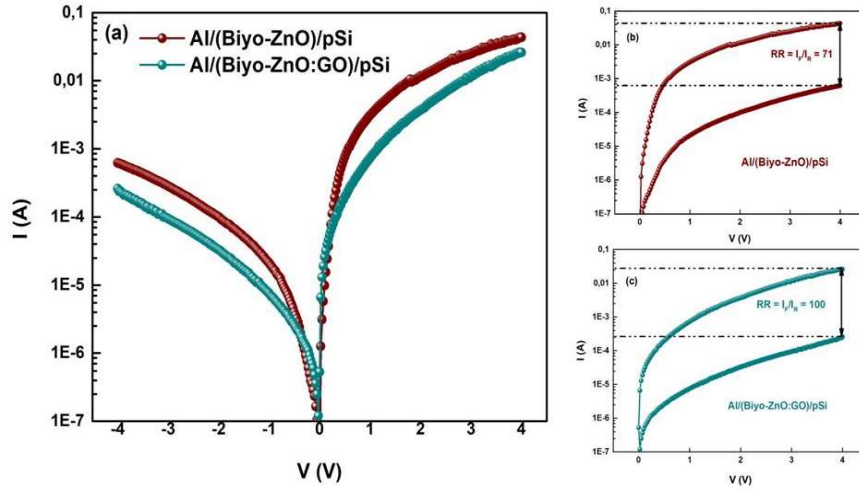
Hazırlanan foto-diyotların elektriksel karakterizasyonu için akım-voltaj (I-V) ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ters doyum akımı ile pozitif bölge akımı arasındaki farkın daha iyi anlaşılması için standart diyot akım eğrisinin yerine mutlak değerde ve yarı-logaritmik ölçekte Şekil 5a'da gösterilmiştir. Termiyonik emisyon (TE) teorisine göre hesaplamalar yapılmıştır ve diyot denklemi denklem 1'de verilmiştir.

$$I = I_0 \cdot \left[\exp\left(\frac{q \cdot V}{n \cdot k \cdot T}\right) - 1 \right] \quad (1)$$

Burada; I_0 ters doyum akımı, q taşıyıcı elektron yükü, n idealite faktörü, V diyot üzerine düşen gerilim, k Boltzmann sabiti T mutlak sıcaklıktır [19]. İdeal bir Shottky diyotta yarıiletken kaplanan kontakın omik davranması beklenmektedir. Yani bu kısımda ters doyum akımının sıfıra yakın olması gerekmektedir [20]. Pozitif bölge akımı ile ters doyum akımı arasındaki farkın artması da diyotun doğrultma oranının artması ve ideale yaklaşması anlamına gelmektedir. Denklemden yer alan n değeri ise idealite faktörünü ifade etmektedir. İdealite faktörünün 1'e yakın olması ideal bir diyot için beklenen durumdur. İdealite faktörü (n), diyodun ideal özelliklerden sapmasını gösteren boyutsuz bir parametredir [21]. TE teorisine göre aşağıda yer alan denklem 2'den idealite faktörü hesaplanabilir.

$$\frac{dV}{d \ln I} \cdot \frac{q}{k \cdot T} = n \quad (2)$$

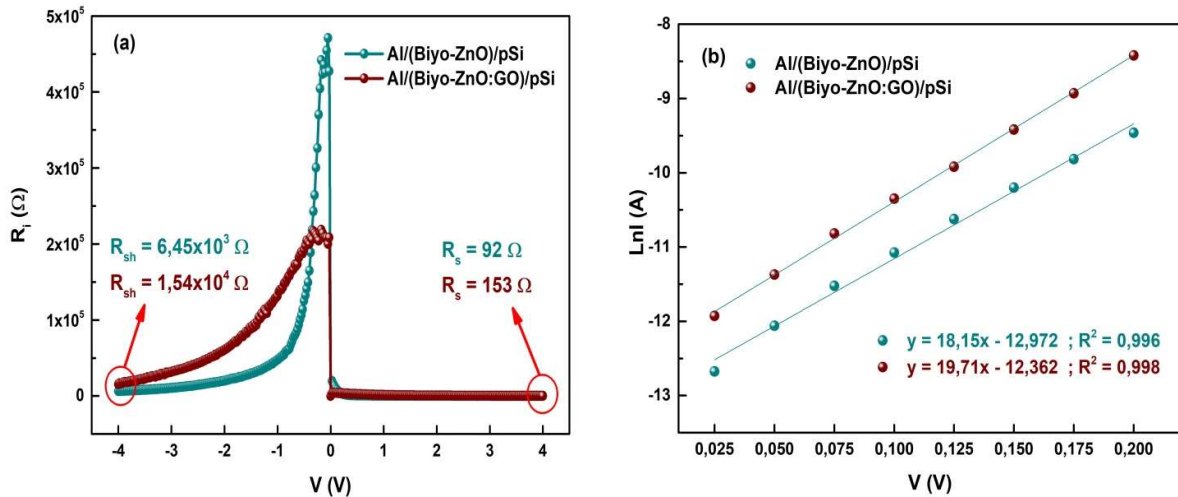
Şekil 5b ve 5c'de ise her iki numune için doğrultma oranları ($RR = I_F / I_R$) daha yakından gösterilmiştir. Parantez içerisinde yer alan RR doğrultma oranı, I_F pozitif bölge akımı, I_R ters bölge akımını ifade etmektedir. Al/(Biyo-ZnO)/pSi numunesi için bu değer 71 olarak hesaplanırken, GO katkılı Al/(Biyo-ZnO:GO)/pSi numunesi için 100 olarak hesaplanmıştır. Buradan da görüleceği üzere GO katkısı ile doğrultma oranı olumlu etkilenmiştir.



Şekil 5. Numunelerin elektriksel performansı a) I-V eğrileri, b) Al/(Biyo-ZnO)/pSi doğrultma oranı, c) Al/(Biyo-ZnO:GO)/pSi doğrultma oranı.

Seri direnç ve şönt direncindeki değişim, I-V eğrilerinin ± 4 V gerilimdeki akım değerlerinden faydalanılarak Ohm Kanunu'na ($V=I.R$) göre hesaplanmış ve Şekil 6'da R_i -V grafiği ile gösterilmiştir. Grafikten de görüleceği üzere Al/(Biyo-ZnO)/pSi numunesi için R_s değeri $0,092$ k Ω ve R_{sh} değeri ise $6,45$ k Ω olarak hesaplanırken, GO katkılı Al/(Biyo-ZnO:GO)/pSi numunesi için R_s değeri $0,153$ k Ω ve R_{sh} değeri $15,4$ k Ω olarak hesaplanmıştır. GO katkısıyla numunede şönt direncinin artışına bağlı olarak kaçak akımın azaldığı görülmektedir.

Şekil 6b'de ise I-V grafiğinin pozitif bölgesinin lineer kısmından yararlanılarak oluşturulan $\ln I$ -V grafiği verilmiştir. Grafiğin eğimi denklem 2'den görüleceği üzere " nkT/q " değerini vermektedir. Buradan hesaplanan idealite faktörleri Al/(Biyo-ZnO)/pSi numunesi için $2,13$ ve GO katkılı Al/(Biyo-ZnO:GO)/pSi numunesi için $1,96$ olarak hesaplanmıştır. GO katkısıyla numunelere ideal duruma daha fazla yaklaşmıştır. Tükenme bölgesindeki taşıyıcı rekombinasyonu ve tünelleme etkisi nedeniyle artan akım, idealite faktörünün yüksek olmasının diğer sebepleridir [22-25].



Şekil 6. a) R_s ve R_{sh} 'nin değişimi, b) $\ln I$ -V grafiği

Diyotların I-V karakteristiği kaplamanın homojenliği, arayüzey kalitesi, arayüzeyin dielektrik geçirgenliği vb. durumlarından oldukça etkilenmektedir [26]. Bu kısma kadar elde edilen sonuçlardan

Al/(Biyo-ZnO:GO)/pSi diyotun elektriksel olarak daha iyi bir performans gösterdiği söylenebilir. Numunelere ait elde edilen temel diyot parametreleri ile sonuçlar Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. GO katkılı ve katkısız numunelere ait elde edilen bazı diyot parametrelerine ait sonuçlar.

Numune	İdealite Faktörü, n	Bariyer Yüksekliği, Φ_b (eV)	Seri Direnç, R_s (k Ω)	Şönt Direnci, R_{sh} (k Ω)
Al/(Biyo-ZnO)/pSi	2,13	0,61	0,092	6,45
Al/(Biyo-ZnO:GO)/pSi	1,96	0,58	0,153	15,4

Hem Φ_b hem de R_s değerini belirlemek için uygulanan bir diğer yöntem ise Norde yöntemidir. Norde'a göre, I-V grafiği ara ön gerilim için belirgin bir doğrusal davranışa sahip olmadığında, bunların TE teorisinden elde edilen değerleri sorgulanabilir hale gelir. Bu nedenle ideal olmayan durumlar için değiştirilmiş Norde fonksiyonu (Denklem 3) aşağıdaki gibi tanımlanır [27];

$$F(V; \alpha) = \frac{V}{\alpha} - \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{I(V)}{AA^*T^2}\right) \quad (3)$$

Denklem 3'te yer alan A kontak alanı, A^* Richardson sabiti, α idealite faktöründen büyük bir tamsayıdır. Norde'a göre, $F(V; \alpha)$ - V çizimi, I-V grafiği, R_s ve arayüzey katmanının etkileri nedeniyle doğrusallıktan sapmaya başladığında minimum verir. Bu durumda hem Φ_b hem de R_s değeri, sırasıyla aşağıda verildiği gibi F_{min} minimum değeri ve bu minimum noktaya karşılık gelen voltaj ve akım kullanılarak hesaplanabilir:

$$\Phi_b = F_{min}(V; \alpha) + \left(\frac{\alpha-n}{n}\right)\left(\frac{V_{min}}{\alpha} - \frac{kT}{q}\right) \quad (4)$$

$$R_s = \frac{kT(\alpha-n)}{qI_{min}} \quad (5)$$

Şekil 7a'da açıkça görülebileceği gibi, $F(V)$ -V eğrisinin minimum noktası karanlıkta iki tip Shottky diyot için farklı bir minimum noktaya sahiptir. Böylece, Φ_b ve R_s değeri Denklem 4 ve 5 kullanılarak sırasıyla Al/(Biyo-ZnO)/pSi numunesi için 0,59 eV ve 0,560 k Ω , Al/(Biyo-ZnO:GO)/pSi numunesi için ise 0,62 eV ve 0,840 k Ω olarak hesaplanmıştır. Bu Φ_b ve R_s değerleri de Tablo 1'de verilmiştir. Hesaplanan bu parametrelerde gözlenen bazı farklılıklar, TE teorisi ve Norde fonksiyonuna bağlı gerilimin ve yöntemin doğasının sonucudur.

Arayüzey durum yoğunluğu (N_{ss}), iletim mekanizması hakkında bilgiler veren çok önemli bir diğer göstergedir. Arayüzeyde yer alan elektronların iletimini engelleyecek tuzakların yoğunluğu anlamına gelmektedir. Bu tuzaklar aracılığıyla daha yüksek n değerine ve tünellemeye yol açmaktadır. Çünkü bir rekombinasyon merkezi görevi görürler ve bu nedenle elektrik alan, ışık şiddeti ve sıcaklık etkileri altında herhangi bir elektronu yakalayıp serbest bırakabilirler [28-30]. N_{ss} değerleri yeniden düzenlenmiş Denklem 6'dan hesaplanabilir [29]:

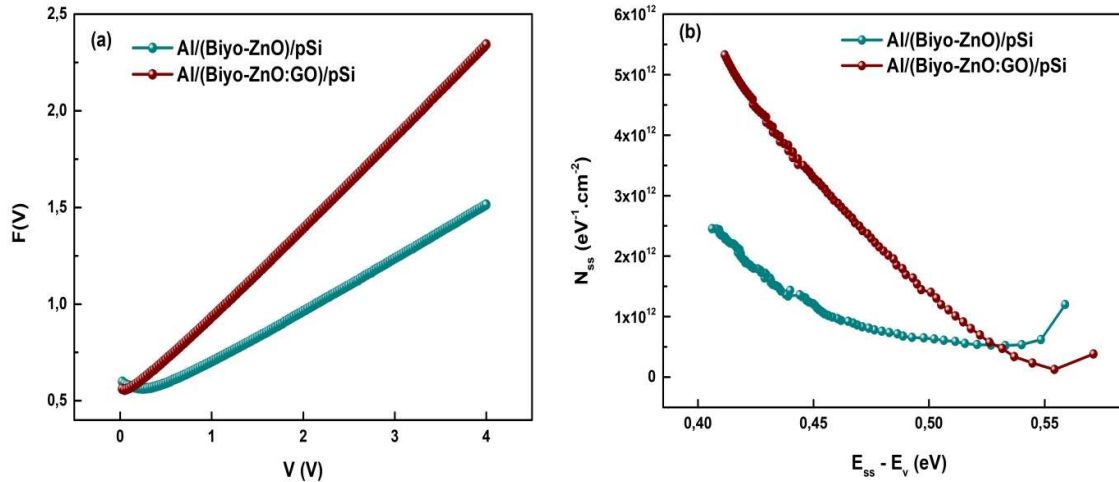
$$N_{ss} = \frac{1}{q} \left[\frac{\epsilon_i}{\delta} (n(V) - 1) - \frac{\epsilon_s}{W_D} \right] \quad (6)$$

Denklemde; ϵ_s iletkenin dielektrik geçirgenliği, ϵ_i arayüzeyin dielektrik geçirgenliği, W_D depleyasyon bölgesinin derinliğini ve δ ise arayüzey tabakasının kalınlığını ifade etmektedir.

P-tipi yarıiletkenlerde arayüzey durumlarının enerjisi (E_{ss}) ve valans bant kenarının enerjisi (E_v) arasındaki fark ise Card ve Rhoderick tarafından geliştirilen, Denklem 7 ile hesaplanmaktadır [29, 31]:

$$E_{ss} - E_v = q(\Phi_e - V) \quad (7)$$

Şekil 7b’de arayüzey durum yoğunluklarına ait ($N_{ss} - (E_{ss}-E_v)$) grafik verilmiştir. Arayüzey durumları, Si'nin yasaklı bant aralığında arayüz tabakası ve yarı iletken arasında özel bir dağılımına bağlı olarak neredeyse U şekli davranışı göstermiştir. Genellikle Si'nin ortasından değerlik bandının altına doğru üstel olarak artmaktadır. GO katkısıyla grafiğin minimum noktasına kadar N_{ss} değerleri artarken minimum noktayı geçtikten sonra düşüş gözlemlenmektedir. Diğer bir deyişle, FESEM görüntülerinde gösterilen GO katkısıyla etkilenen tane dağılımı ve morfolojisi nedeniyle numuneler daha yüksek arayüz durumlarına sahipken arayüzey durum enerjisi ile valans bandı enerji seviyesi arasındaki fark GO katkısıyla düşmüştür [31, 32].



Şekil 7. a) Norde eğrileri, b) $N_{ss} - (E_{ss}-E_v)$ grafiği.

Arayüzey durum yoğunluklarına ait maksimum ve minimum N_{ss} değerleri ile $E_{ss}-E_v$ değerleri Tablo 2’de paylaşılmıştır.

Tablo 2. Üretilen Schottky diyotların arayüzey durum yoğunluklarının karşılaştırılması.

Numune	N_{ss} (eV ⁻¹ .cm ⁻²) Card-Roderick		$E_{ss} - E_v$ (eV)	
	Minimum	Maksimum	Minimum	Maksimum
Al/(Biyo-ZnO)/pSi	5,22x10 ¹¹	2,45x10 ¹²	0,40	0,56
Al/(Biyo-ZnO:GO)/pSi	1,25x10 ¹¹	5,32x10 ¹²	0,42	0,57

IV. SONUÇ

Çalışmada, Al/ZnO/pSi (MOS) tipi Schottky diyotların üretiminde yeni bir yaklaşım olarak biyolojik yöntemle üretilen ZnO tozlarının bu tip yarıiletken cihazlarda kullanımı ve GO’nun elektriksel özelliklere etkisi incelenmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Üretilen diyotlar kimyasal,

morfolojik ve elektriksel olarak ele alınmıştır. XRD analizi ile faz karakterizasyonu yapılmış baskın piklerin ZnO'ya ait hegzagonal wurtzite fazına ait pikler olduğu anlaşılmıştır. GO varlığı ise EDS analizinde C atomunun varlığıyla kanıtlanmıştır. FESEM analizinde hem yüzey hem kesit görüntüleri alınmıştır. Yan kesit görüntüleri incelendiğinde ortalama 200 nm kalınlığında bir kaplama elde edildiği gözlemlenmiştir. Döndürme kaplama yönteminde oluşan merkez-kaç kuvveti nedeniyle, kaplamaların homojenliğinin sağlanmasının zor olduğu görülmektedir. Yüzey kesit görüntüsü incelendiğinde GO tabakalarının ZnO tanelerinin yüzeyinde büyüdüğü gözlemlenmektedir. Numunelerin elektriksel karakterizasyonu için I-V analizleri yapılmış ve buna bağlı temel diyot parametreleri hesaplanmıştır. Al/(Biyo-ZnO)/pSi numunesinde R_R , n , Φ_b , R_s ve R_{sh} değerleri sırasıyla 71, 2,13, 0,61 eV, 0,092 k Ω ve 6,45 k Ω , GO katkılı Al/(Biyo-ZnO:GO)/pSi numunesinde ise 100, 1,96, 0,58 eV, 0,153 k Ω ve 15,4 k Ω olarak hesaplanmıştır. Sonuçlar biyolojik sentez ile üretilen tozların yarıiletken cihazlarda kullanılabilirliğini ve GO'nun da elektriksel performansı olumlu etkilediğini göstermektedir. Ara yüzey durum yoğunlukları incelendiğinde ise Al/(Biyo-ZnO)/pSi numunesinde $(0,52-2,45) \times 10^{12} \text{ eV}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$ iken, Al/(Biyo-ZnO:GO)/pSi numunesinde $(0,125-5,32) \times 10^{12} \text{ eV}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$ olarak hesaplanmıştır. Grafiğin minimum noktası ve sonrasında GO katkısıyla arayüzey durum yoğunluğu azalmış ve arayüzey durumlarının enerji seviyesi ile valans bandındaki enerji seviyesi (minimum noktada) farkı daha azdır. Bu da iletimi olumlu etkilemekte ve Φ_b 'i düşürmektedir. Sonuçlar, Al/ZnO/pSi (MOS) tipi Schottky diyotların üretiminde yeni bir yaklaşım olarak biyolojik yönteminin olumlu olduğunu ve GO katkısının performansı iyileştirdiğini göstermektedir. Elde edilen arayüzeyler ve uygulanan yöntem opto-elektronik cihazlarda kullanım için umut vadedicidir.

TEŞEKKÜR: Bu çalışma Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından desteklenmiştir (Proje no: 048-2021).

V. KAYNAKLAR

- [1] T. Ling, J-G. Song, X-Y Chen, J. Yang, S-Z. Qiao, X-W. Du, " Comparison of ZnO and TiO 2 nanowires for photoanode of dye-sensitized solar cells" *J Alloy Comp*, vol. 546, pp. 307-313, 2013.
- [2] S. Akir, A. Barras, Y. Coffinier, M. Bououdina, R. Boukherroub, AD. Omrani, "Eco-friendly synthesis of ZnO nanoparticles with different morphologies and their visible light photocatalytic performance for the degradation of Rhodamine B." *Ceram International*, vol. 42, pp. 10259-10265, 2016.
- [3] L. Yan, W. Zhao, Z. Liu, "1D ZnO/BiVO4 heterojunction photoanode for efficient photoelectrochemical water splitting" *Dalton Transactions*, vol. 45, pp. 11346-11352, 2016.
- [4] C. Yang, Q. Li, L. Tang, A. Bai, H. Song, Y. Yu, "Monodispersed colloidal zinc oxide nanospheres with various size scales: synthesis, formation mechanism, and enhanced photocatalytic activity" *J Mater Sci*, vol. 51, pp. 5445-5559, 2016.
- [5] X. Zhan, F. Chen, Z. Salcic, CC. Wong, W. Gao, "Synthesis of ZnO submicron spheres by a two-stage solution method" *Appl Nanosci*, vol. 2, pp. 63-70, 2012.
- [6] A. Yousef, N.A. Barakat, T. Amna, A.R. Unnithan, S. S. Al- Deyab, & Kim, H. Y., "Influence of CdO-doping on the photoluminescence properties of ZnO nanofibers: Effective visible light photocatalyst for waste water treatment", *Journal of Luminescence*, vol.132, pp. 1668-1677, 2012.
- [7] Ni M, Leung MKH, Leung DYC, Sumathy K., "A review and recent developments in photocatalytic water-splitting using TiO2 for hydrogen production", *Renew Sustain Energy Rev*, vol. 11, pp. 401-425, 2007.

- [8] B. Ajitha, Y.A.K. Reddy, P.S. Reddy, "Biosynthesis of silver nanoparticles using *Momordica charantia* leaf broth: Evaluation of their innate antimicrobial and catalytic activities" *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, vol. 146, pp. 1-9, 2014.
- [9] M. Harshiny, C.N. Iswarya, M. Matheswaran, "Biogenic synthesis of iron nanoparticles using *Amaranthus dubius* leaf extract as a reducing agent" *Powder Technology*, vol. 286, pp. 744-749, 2015.
- [10] S. Nagarajan, K.A. Kuppasamy, "Extracellular synthesis of zinc oxide nanoparticle using seaweeds of gulf of Mannar, India" *Journal of Nanobiotechnology*, vol. 11, pp. 39-49, 2013.
- [11] S.M. Pourmortazavi, M. Taghdiri, V. Makari, M. Rahimi-Nasrabadi, "Procedure optimization for green synthesis of silver nanoparticles by aqueous extract of *Eucalyptus oleosa*" *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, vol. 136, pp. 1249-1254, 2015.
- [12] M. Naseer, U. Aslam, B. Khalid, B. Chen, "Green route to synthesize Zinc Oxide Nanoparticles using leaf extracts of *Cassia fistula* and *Melia azadarach* and their antibacterial potential" *Nature*, 2020.
- [13] S. O.Ogunyemi, Y. Abdallaha, M. Zhanga, H. Fouad, X. Honga, E. Ibrahima, Md. M. I. Masuma, A. Hossaina, J. Moc and B. Lia "Green synthesis of zinc oxide nanoparticles using different plant extracts and their antibacterial activity against *Xanthomonas oryzae* pv. *Oryza*" *Cells, Nanomedicine, And Biotechnology*, vol. 47, pp. 341-352, 2019.
- [14] R. Paul, R.N. Gayen, S. Biswas, S.V. Bhat, R. Bhunia, "Enhanced UV detection by transparent graphene oxide/ZnO composite thin films" *RSC Adv.* vol. 6, pp. 61661-61672, 2016.
- [15] R.N. Gayen, R. Paul, "Nanocrystalline Zn_{1-x}Mn_xO thin film based transparent Schottky diodes" *Thin Solid*, vol. 605, pp. 248-256, 2016.
- [16] A.A. Dubale, W-N. Su, A.G. Tamirat, C-J. Pan, B.A. Aragaw, H-M. Chen, et al., "The synergetic effect of graphene on Cu₂O nanowire arrays as a highly efficient hydrogen evolution hotocathode in water splitting" *J Mater Chem A*, vol. 2, pp. 18383-18397, 2014.
- [17] A. Hendi, "Electrical and photoresponse properties of graphene oxide:ZnO/Si photodiodes" *J Alloys and Compounds*, vol. 647, pp. 259-264, 2015.
- [18] V.S. Kindalkar, K.M. Sandeep, K. Kumara, S.M. Dharmaparakash, "Sol-gel synthesized spin coated GO: ZnO composite thin films: optical, structural and electrical studies" *Materials Research Express*, vol. 6, pp. 096435, 2019.
- [19] M. Ghorbani, H. Abdizadeh, M. Taheri, M.R. Golobostanfard, "Enhanced photoelectrochemical water splitting in hierarchical porous ZnO/Reduced graphene oxide nanocomposite synthesized by sol-gel method", *Hydrogen Energy*, vol:43, pp. 7754-7763.
- [20] Demir Ersöz, G., "Investigation on UV Photoresponsivity of main electrical properties of Au/CuO-PVA/n-Si MPS type Schottky Barrier Diodes (SBDs)", *Physica B: Physics of Condensed Matter*, vol. 604, pp. 157-168, 2021.
- [21] N. Yıldırım, E. Durumlu, "Ag/Azure A /n-Si Schottky diyotun elektriksel ve fotovoltaiik özelliklerinin araştırılması" *Tr. J. Nature Sci.*, vol. 6, s.1, 2017.




- [22] S. Mridha, M. Dutta, Durga Basak, “Photoresponse of n-ZnO/p-Si heterojunction towards ultraviolet/visible lights: thickness dependent behavior” *Mater Sci: Mater Electron*, vol. 20, pp. 376–379, 2009.
- [23] H. Sun, Qi-F. Zhang, Jin-Lei Wu, “Electroluminescence from ZnO nanorods with an n-ZnO/p-Si heterojunction structure” *Nanotechnology*, vol. 17, pp. 2271–2274, 2006.
- [24] N. Zebbar, Y. Kheireddine, K. Mokeddem, A. Hafdallah, M. Kechouane, M. S.Aida, “Structural, optical and electrical properties of n-ZnO/p-Si heterojunction prepared by ultrasonic spray” *Materials Science in Semiconductor Processing*, vol. 14, pp. 229–234, 2011.
- [25] S. Sharma, C. Periasamy, “A study on the electrical characteristic of n-ZnO/p-Si heterojunction diode prepared by vacuum coating technique” *Superlattices and Microstructures*, vol. 73, pp.12-21, 2014.
- [26] G. Demir Ersöz, “Au/pSi, Au/PVA/pSi, Au/PVA:Gr/pSi Schottky bariyer diyotların üretimi ve temel elektriksel özelliklerinin incelenmesi”, *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, vol 11, pp. 157-168, 2021.
- [27] W. Chebil, A. Gokarna, A. Fouzri, N. Hamdaoui, K. Nomenyo, G. Lerondel, “Study of the growth time effect on the structural, morphological and electrical characteristics of ZnO/p-Si heterojunction diodes grown by sol-gel assisted chemical bath deposition method” *J Alloys and Compounds*, vol. 771, pp. 448-455, 2019.
- [28] H.C. Card, E.H. Rhoderick, “Studies of tunnel MOS diodes I. Interface effects in silicon Schottky diodes” *J. Phys. D: Appl. Phys.*, vol. 4, pp. 1589–1601, 1971.
- [29] N. Soylu Koc, S.P. Altintas, M. Gokcen, M. Dogruer, C. Altug, A. Varilci, “Current-Voltage Characteristics of Nano Whisker ZnO/Si Heterojunction Under UV Exposition” *Sensors and Actuators A: Physical*, vol. 342, pp. 113618, 2022.
- [30] D. Konios, M. Stylianakis, E. Stratakis, E. Kymakis, “Dispersion behaviour of graphene oxide and reduced graphene oxide” *Journal of Colloid and Interface Science*, vol. 430, pp. 108-112, 2014.
- [31] J. Farazin, M. S. Asi, G. Pirgholi-Givi, S.A. Delbari, A.S. Namini, Ş. Altındal, Y. Azizi-Kalandaragh, “Effect of (Co-TeO₂ – doped polyvinylpyrrolidone) organic interlayer on the electrophysical characteristic of Al/p-Si (MS) structures” *Journal of Material Science: Material in Electronics*, vol. 32, pp. 21909-21922, 2021.
- [32] Ş. Altındal, A. Barkhordari, G. Pirgholi-Givi, M. Ulusoy, H. Mashayekhi, S. Ozcelik, Y. Azizi-Kalandaragh, “Comparison of the electrical and impedance properties of Au/(ZnOMn:PVP)/n-Si (MPS) type Schottky-diodes (SDs) before and after gamma-irradiation” *Physica Scripta*, vol. 96, pp. 125881,2021.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Derleme Makalesi

Renk Tutarsızlığı Problemleri ve Çözümleri: Bir Araştırma

 Melike BEKTAŞ KÖSESOY ^{a,*},  Seçkin YILMAZ ^b,  Turgay Tugay BİLGİN ^b

^a Bilgi İşlem Daire Başkanlığı, Bursa Teknik Üniversitesi, Bursa, TÜRKİYE

^b Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Bursa Teknik Üniversitesi, Bursa, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: melike.bektas@btu.edu.tr

DOI:10.29130/dubited.1125321

ÖZ

Renk tutarsızlığı problemi görüntü sahteciliği, görüntü iç boyama, kare jigsaw puzzle, görüntü birleştirme gibi birçok farklı alanı yakından ilgilendiren güncel bir disiplinlerarası problemdir. Ancak literatürde renk tutarsızlığı problemini genel bir çerçevede ele alıp inceleyen herhangi bir araştırma çalışması bulunmamaktadır. Bu çalışma ile renk tutarsızlığı problemi ele alınarak genel bir sınıflandırma yöntemi ilk defa önerilmiştir. Bu çalışma sonucunda renk tabanlı yöntemler kullanılarak ilgili problemlerin çözülebileceği ve bu problemlerin çözümünde ağırlıklı olarak RGB, CIE Lab ve YCbCr renk uzaylarının tercih edildiği belirlenmiştir. İncelenen çalışmalarda görüntü iç boyama ve görüntü sahteciliği probleminde derin öğrenme algoritmalarının daha fazla kullanıldığı belirlenmiştir. Çalışmalarda PSNR, SSIM gibi değerlendirme metriklerinin kullanıldığı görülmüştür. Sonuç olarak bu çalışma ile renk tutarsızlığı ile uğraşacak araştırmacılara önemli bir yol haritası sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Görüntü sahteciliği, Renk tutarsızlığı, Görüntü iç boyama, Kare Jigsaw Puzzle, Görüntü birleştirme, Renk uzayları.

Color Inconsistency Problems and Solutions: A Survey

ABSTRACT

Color inconsistency problem is an actual interdisciplinary problem that closely concerns many different fields such as image forgery, image inpainting, square jigsaw puzzle, and image stitching. However, no research study in the literature analyzes the color inconsistency problem in a general framework. A general classification method was proposed for the first time by addressing the color inconsistency problem in this study. Consequently, it has been determined that related problems can be solved by using color-based methods, and RGB, CIE Lab, and YCbCr color spaces are mostly preferred in solving these problems. In the studies examined, it was determined that deep learning algorithms were used more in image inpainting and image forgery problem. It has been observed that evaluation metrics such as PSNR and SSIM are used in studies. Eventually, an important guideline was presented to researchers who will deal with color inconsistency in this study.

Keywords: Image forgery, Color inconsistency, Image Inpainting, Square Jigsaw Puzzle, Image Stitching, Color Spaces.

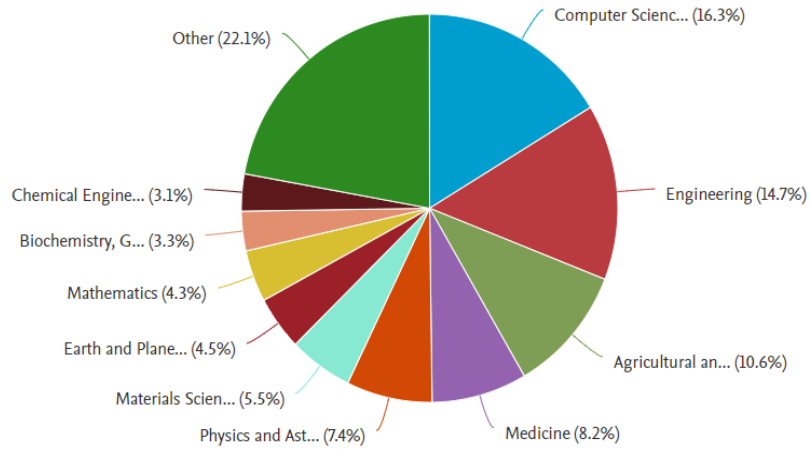
Geliş: 02/06/2022, Düzeltme: 27/10/2022, Kabul: 14/11/2022

I. GİRİŞ

Tutarlılık ayrı ayrı parçaların bütünde birbiriyle çelişmemesi ve uyumlu olmasıdır. Renk tutarlılığı ise bir görüntüde yer alan renklerin birbirleri ile bütünde çelişmemesi, renk bütünlüğü ve renk birliğinin sağlanması olarak tanımlanabilir [1]. Aynı görüntü içerisinde yer alan bir bölümün görüntünün diğer bölümleri ile renk, doku ve yapısal olarak benzerlik göstermesi ve bütünde bu parçaların birbirleriyle uyumlu olması gerekmektedir [2][3].

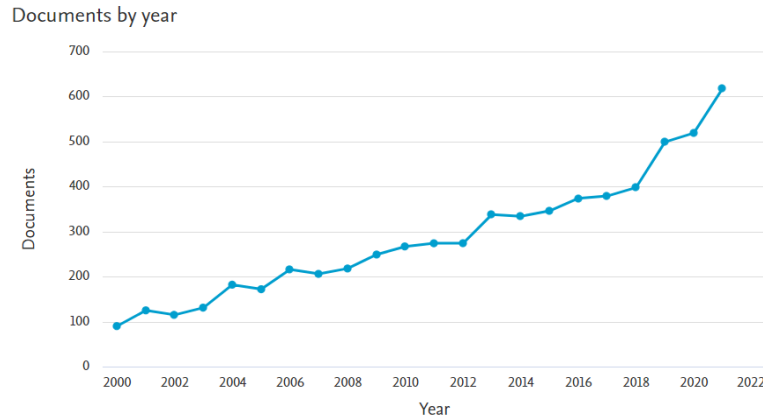
Günümüzde renk tutarlılığının dikkate alınması gereken birçok problem bulunmaktadır. Örneğin bir görüntüde sahtecilik olup olmadığına, görüntüde yer alan renklerin ve bölgelerin birbiriyle tutarlı olup olmadığı kontrol edilerek karar verilebilir [4]. Aynı şekilde bilgisayar destekli restorasyon işleminde de bir eserde yer alan eksik ya da hasarlı bölgelerin tamamlanması için onarılan bölgenin diğer bölgeler ile renk bakımından tutarlı olması gerekmektedir [5]. Bir başka durum ise tahribata uğramış görüntülerin onarılmasıdır. Orijinal hali bilinmeyen görüntülerin onarılması işleminde genel olarak iç boyama yönteminden faydalanılmaktadır. Bu yöntemde dijital görüntü içerisinde yer alan bir bölümün görüntünün diğer bölümleri ile renk, doku ve yapısal olarak benzerlik göstermesine bakılmaktadır [6].

Renk tutarlılığının sağlanması problemi oldukça kapsamlı ve güncel bir konu olup literatürde bu konu ile ilgili birçok çalışma yer almaktadır. Şekil 1’de Scopus veritabanından “color inconsistency” ve “color consistency” anahtar kelimeleri ile yapılan araştırma sonucunda hangi alanlarda çalışmalar yapıldığı verilmiştir.



Şekil 1. Alanlara göre renk tutarsızlığı probleminin dağılımı [7]

Şekil 1’de görüldüğü gibi bu konu birçok farklı alanda uğraşılan bir problemdir. Literatürde 2000 ile 2022 yılları arasında yapılan, Şekil 1’de bulunan alanları kapsayan yayın sayısı ise Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. 2000 ve 2022 yılları arasında yapılan yayın sayısı [7]

Şekil 2’de yer alan yıllara göre doküman sayısı grafiği incelendiğinde renk tutarlılığı ve renk tutarsızlığı ile ilgili çalışmalarda son yıllarda bir artış olduğu görülmektedir.

Renk tutarsızlığının ağırlıklı olarak bilgisayar bilimleri ve mühendislik alanlarında çalışmaların yapıldığı multidisipliner bir problem olduğu tespit edilmiştir. Kapsamı oldukça geniş olan bu problem çalışmamızda; görüntü sahteciliği, görüntü iç boyama, kare jigsaw puzzle ve görüntü birleştirme konuları ile sınırlandırılmıştır. Bu çalışma ile renk tutarsızlığı konusu literatürde ilk defa genel çerçevede detaylı bir şekilde ele alınmıştır.

Çalışma kapsamında literatüre yapılan katkılar şu şekildedir:

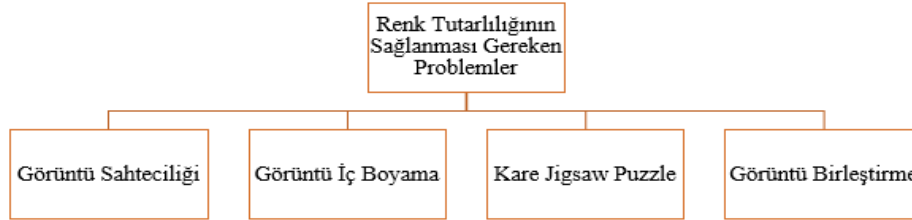
- Renk tutarlılığının sağlanmasında kullanılan yöntem ve ölçütlerin incelenmesi
- Renk tutarlılığının ortaya konulması için kullanılan renk uzaylarının incelenmesi
- Renk tutarlılığı ve tutarsızlığı temel alınarak çözülen başlıca problemlerin incelenmesi

Bu çalışma ile renk tutarlılığı konusunu ele alacak araştırmacılara önemli bir yol haritası sunulması amaçlanmıştır.

Çalışmanın geri kalan kısmı şu şekilde organize edilmiştir. İkinci bölümde renk tutarlılığının sağlanması gereken problemler, üçüncü bölümde renk tutarlılığının sağlanmasındaki ana kriterlerin belirlenmesi, dördüncü bölümde literatürde yer alan çalışmalar ve son bölümde ise bu çalışma neticesinde elde edilen sonuçlar paylaşılmaktadır.

II. RENK TUTARLILIĞININ SAĞLANMASI GEREKEN PROBLEMLER

Çalışmada renk tutarlılığının sağlanması gereken problemler aşağıdaki gibi sınıflandırılmıştır.



Şekil 3. Renk tutarlılığının sağlanması gereken problemlerinin sınıflandırılması

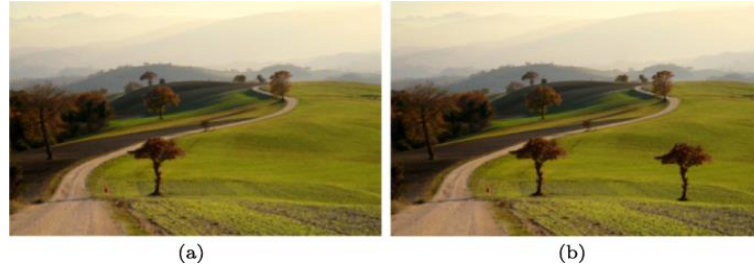
Şekil 3’te yer alan problemlerden görüntü sahteciliği renk tutarsızlıkları belirlenerek tespit edilebilir. Görüntü iç boyama, kare jigsaw puzzle ve görüntü birleştirme problemlerinde ise eksik bölgelerin tamamlanması ve birleştirilmesi için renk tutarlılığının gözetilmesi gerekmektedir. Şekil 3’te verilen sınıflama literatürde farklı konular ile daha fazla genişletilebilir. Örneğin görüntü sahteciliğinde alt dal olarak Deepfake eklenebilir [8].

A. GÖRÜNTÜ SAHTECİLİĞİ

Günümüzde ücretsiz ve kolay ulaşılabilen photoshop programlarının kullanımının artması ile dijital görüntüler manipüle edilebilir, değiştirilebilir bir hale gelmiştir [9]. Çoğu zaman devletlerin askeri gücünün olduğundan daha büyük gösterilmesi, toplantı veya miting gibi organizasyonlarda kişi sayısının arttırılması, görüntüde yer alan bir nesnenin gizlenmesi ya da görüntü içerisinden çıkarılması gibi işlemlerle dijital görüntüler olduğundan farklı gösterilmektedir.

Görüntü sahteciliği temelde aktif ve pasif yaklaşımlar olarak iki alt başlıkta incelenmektedir. Aktif yaklaşımlarda dijital görüntünün doğrulanabilmesi için dijital damgalama (watermarking) veya dijital imza (signature) gibi bilgilere ihtiyaç duyulmaktadır [10]. Pasif yöntemlerde ise görüntü hakkında bir ön bilgiye gerek duyulmamaktadır [11][12]. Aktif yöntemde renk tutarsızlığını ele alan bir çalışmaya rastlanmamıştır. Dolayısıyla bu çalışmada pasif yaklaşımlar kullanılarak yapılan yayınlara odaklanılmıştır.

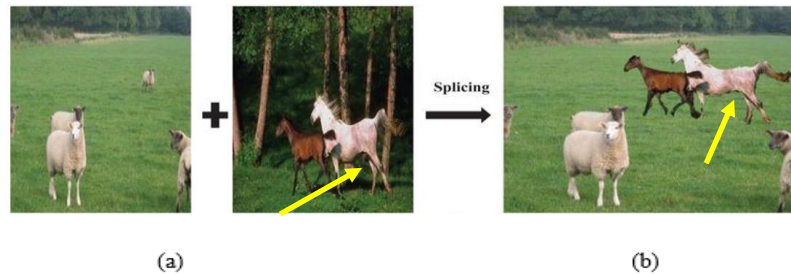
Kopyala taşı sahteciliği görüntünün bir parçasının kopyalanarak, kopyalanan parçanın aynı görüntüde farklı bir bölüme yapıştırılması işlemi olarak tanımlanmaktadır. Aynı görüntü içerisinde kopyalanan yapıştırılan bölüm görüntünün diğer bölümleri ile renk, doku ve yapısal olarak büyük oranda benzerlik göstermektedir. Bu sebeple bu sahtecilik yöntemi çıplak gözle tespit edilememektedir [3]. Şekil 4'te kopyala taşı sahteciliği ile ilgili görüntülere yer verilmiştir.



Şekil 4. Kopyala taşı sahteciliği ile ilgili görüntüler [13]

Şekil 4'te bulunan (a) orijinal görüntüyü, (b) ise kopyala taşı işlemi sonucunda elde edilen sahte görüntüyü göstermektedir. Görüntüde herhangi bir kurcalama (kopyala taşı vb.) olduğunda renkte tutarsızlıklar oluşmaktadır.

Görüntü birleştirme sahteciliği ise iki ya da daha fazla görüntünün dijital olarak birleştirilerek tek bir görüntünün oluşturulduğu sahtecilik yöntemidir [14]. Bir görüntü üzerine başka bir görüntü veya görüntülerin eklenmesi ile birçok tutarsızlık ve uyumsuzluklar meydana gelmektedir. Bu sebeple bu sahtecilik yöntemi görüntü içerisinde yer alan renk ve aydınlatma bilgileri göz önüne alınarak çözülebilir. Şekil 5'te görüntü birleştirme sahteciliği ile ilgili oluşturulmuş görüntülere yer verilmiştir.



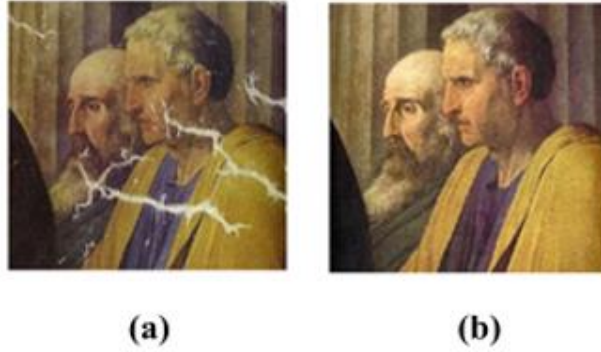
Şekil 5. Görüntü birleştirme sahteciliği ile ilgili örnek görüntüler [15]

Şekil 5'te (a) orijinal görüntüyü, (b) ise görüntü birleştirme sahteciliği işlemi sonucunda elde edilen sahte görüntüyü göstermektedir. Şekil 5.a'da renk geçişinde herhangi bir yapaylık bulunmazken Şekil 5.b'de sarı ok ile gösterilen kısımda at görüntülerinin kenarlarında yapay bir geçiş oluşmuştur.

B. GÖRÜNTÜ İÇ BOYAMA

Dijital görüntülerin tutarlı bir şekilde tamamlanabilmesi için eksik olan bölgeye ait pikseller komşu pikseller ile ele alınmaktadır [6][16]. Görüntü iç boyama işlemi temelde şu şekilde gerçekleşmektedir: İlk olarak iç boyama ile tamamlanacak bölümler yani eksik hedef bölümler seçilir. Hedef bölgenin dışında kalan kısımlara kaynak bölge adı verilir. Ardından yama olarak kullanılacak blok ve boyutu belirlenir. Yama olarak seçilecek bölge diğer yama bölgelerin öncelik değerlerine bakılarak maksimum

öncelik değerine sahip olmasına göre belirlenir daha sonra iç boyama işlemi gerçekleştirilir [6]. Şekil 6'da iç boyama ile ilgili örnek bir görüntü verilmiştir.



Şekil 6. Görüntü iç boyama ile tamamlanmış sanat eseri görüntüleri [17]

Şekil 6'da bulunan (a) görüntüsü tahribata uğramış bir sanat eserine, (b) görüntüsü ise aynı sanat eserinin iç boyama ile tamamlanmış haline aittir. Şekil 6'da görüldüğü gibi renk tutarlılığı gözetilerek bir sanat eseri başarılı bir şekilde onarılmıştır.

C. KARE JIGSAW PUZZLE

Jigsaw puzzle problemi kare/dikdörtgen şeklinde parçalardan oluşmaktadır. Her bir parça, şekilsel/yapısal olarak aynı olduğu için bu problem ancak parçaların içerik yönünden birbirleriyle eşleştirilmesi ile çözülebilmektedir. Burada içerik ile kastedilen parçadaki renk, doku bilgileridir. Bu problem NP-complete bir problemdir [18]. Şekil 7'de bir kare jigsaw puzzle problemi gösterilmiştir.



Şekil 7. Kare olarak parçalara ayrılmış jigsaw puzzle problemi ve çözümü [19]

Şekil 7'de (a) görüntünün parçalara ayrılmış halini, (b) ise puzzle'nin tamamlanmış halini göstermektedir. Şekil 7.a'daki puzzle problemi renk tutarlılığı gözetilerek Şekil 7.b'deki gibi başarılı bir şekilde bir araya getirilmiştir. Herhangi bir parça yanlış konumlandırıldığı takdirde renk tutarlılığı sağlanamayacaktır.

D. GÖRÜNTÜ BİRLEŞTİRME (IMAGE STITCHING)

Görüntü birleştirme üst üste binen alanlara sahip iki ya da daha fazla görüntünün hizalanarak tek bir görüntüde hem geometrik hem de renk tonu olarak kusursuz bir şekilde birleştirilmesi işlemidir [20]. Bazı uzaktan algılama problemlerinde ve panoramik görüntülerin elde edilmesinde kullanılmaktadır. Bu işlem gerçekleştirilirken renk farklılıkları ya da tutarsızlıkları meydana gelebilmektedir [21]. Şekil 8'de görüntü birleştirme işlemi örneklenmiştir.



Şekil 8. Görüntü birleştirme işlemi [22]

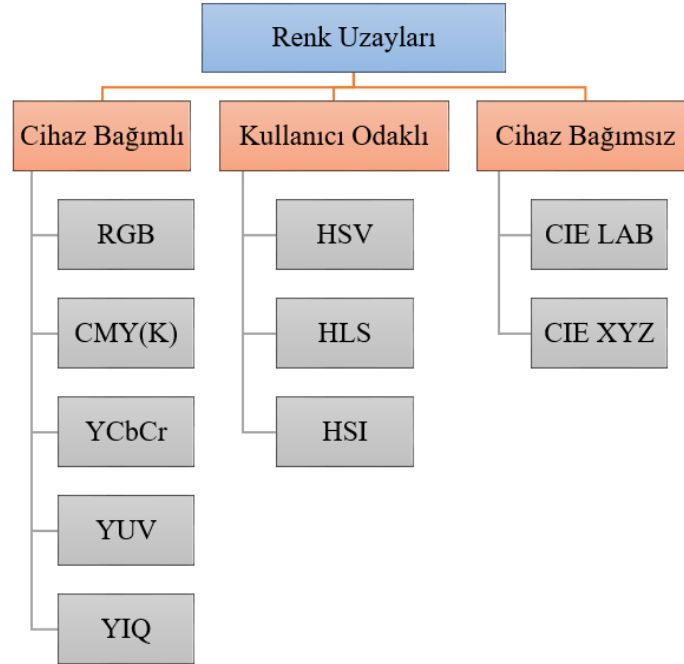
Şekil 8’deki görüntüler renk ve parlaklık tutarlılığı gözetilerek başarılı bir şekilde birleştirilmiş ve panoramik bir görüntü elde edilmiştir.

III. RENK TUTARLILIĞININ SAĞLANMASINDAKİ ANA KRİTERLERİN BELİRLENMESİ

Bu bölümde renk tutarlılığının sağlanmasındaki ana kriterlerin belirlenmesi için kullanılan renk uzayları, kullanılan ölçüt ve yöntemler anlatılmıştır.

A. RENK UZAYLARI

Renkler dijital ortamda renk uzayları ile matematiksel olarak 3 veya 4 renk kanalı ile ifade edilmektedir [23]. Farklı amaçlar için kullanılan birçok renk uzayı bulunmaktadır. Bu renk uzaylarından bazıları RGB, CMYK, HSV, HSI, YCbCr, YUV, CIE LAB gibidir. Şekil 9’da renk uzaylarının sınıflandırılması yer almaktadır.



Şekil 9. Renk uzaylarının sınıflandırılması [23]

RGB renk uzayı; Kırmızı, Yeşil ve Mavi olmak üzere üç renk kanalından oluşmaktadır. En yaygın kullanılan renk uzaylarından biridir.

CMY(K) renk uzayı; Cyan, Magenta ve Sarı renk kanallarından oluşmaktadır. Ağırlıklı olarak yazıcılarda ve baskı işlemlerinde kullanılan renk uzayıdır.

HSV renk uzayı; Hue (renk özü), Saturation (doygunluk) ve Value (değer) bileşenlerinden oluşmaktadır. Hue değeri rengin tonunu ifade etmektedir ve 0 ile 360 derece arasında değer almaktadır. Saturation değeri rengin yoğunluğunu value ise rengin parlaklığını temsil etmektedir. Saturation ve value bileşenleri 0 ile 100 arasında değer almaktadır.

HSI renk uzayı; Hue, Saturation ve Intensity (yoğunluk) bileşenlerinden oluşmaktadır. Intensity yani I değeri ışığın miktarını göstermektedir.

YCbCr renk uzayı; Y, Cb ve Cr bileşenlerinden oluşmaktadır. Y bileşeni luma yani parlaklık bilgisi, Cb (mavi minus luma) ve Cr (kırmızı minus luma) renk bileşenleri olarak adlandırılmaktadır. Dijital videolarda en yaygın kullanılan renk uzayıdır.

L*a*b* (CIE Lab) renk uzayı; cihaz bağımsız renk uzayıdır. Bu renk uzayında L* bileşeni parlaklık (lightness), a* bileşeni kırmızı/yeşil ve b* ise mavi/sarı olarak tanımlanmaktadır.

B. RENK TUTARLILIĞININ SAĞLANMASINDA KULLANILAN ÖLÇÜTLER

Bu bölümde görüntü sahteciliği, görüntü iç boyama, kare jigsaw puzzle ve görüntü birleştirme çalışmalarında renk tutarlılığının sağlanması için sıklıkla kullanıldığını gördüğümüz ölçüt ve yöntemler anlatılmıştır.

Scale-invariant feature transform (SIFT)/Speeded up robust features (SURF): Görüntülerdeki anahtar noktaların bulunması, özelliklerin çıkarılması için kullanılan yöntemlerdir. SURF yöntemi SIFT'e göre daha hızlıdır [24].

Sum of Squared Distance (SSD): İki görüntü ya da görüntü içerisinde yer alan iki parça arasındaki farkları hesaplamak için kullanılan bir ölçüttür. Bu ölçüt sınırlara bitişik kısımlar boyunca piksellerin renk farklılıklarının kareleri toplanarak hesaplanır. Ayrıca kullanılan renk uzayına bağlı olarak ilgili problemlerin çözülebilmesi için renk tabanlı olarak da (RGB SSD gibi) tanımlanabilir [25].

Mahalanobis Gradient Compatibility (MGC): Bu ölçüt iki görüntü ya da iki parça arasındaki farkı hesaplamak için kullanılmaktadır. Sadece piksel bilgisini dikkate almakla kalmayıp buna ek olarak kenar gradyan bilgisini de bu bilgiler ile birlikte kullanır [25].

Histogram Eşleştirme: Histogram dijital görüntülerde piksel dağılımını göstermektedir. Histogram eşleştirme işlemi ise dijital bir görüntünün, histogramının belirli bir histogramla eşleşmesi için dönüştürülmesidir ve bu işlem sayesinde görüntüler arasındaki renk ve parlaklık tutarlılığı sağlanmaktadır [26].

Peak signal-to-noise ratio (PSNR): Orijinal ve yeniden oluşturulmuş görüntü arasındaki kalite ölçümü için kullanılmaktadır. PSNR bir sinyalin maksimum gücünün, gürültü sinyalinin maksimum gücüne oranı olarak tanımlanmaktadır. Bu değer desibel cinsindedir ve ne kadar yüksek çıkar ise görüntünün kalitesi de o kadar iyidir [27].

Structural Similarity Index (SSIM): Wang ve arkadaşları tarafından geliştirilmiş iki görüntü arasındaki benzerliği ölçen ve birçok uygulama alanı bulunan bir görüntü kalite ölçüm metriğidir [27].

IV. RENK TUTARLILIĞINI ELE ALAN ÇALIŞMALARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

A. GÖRÜNTÜ SAHTECİLİĞİ

Bu bölümde görüntü birleştirme sahteciliği, kopyala taşı sahteciliği ile ilgili literatürde bulunan çalışmalara yer verilmiştir. Tablo 1’de görüntü sahteciliği ile ilgili incelenen çalışmalar, bu çalışmaların literatüre katkıları ve kısıtları bulunmaktadır.

Tablo 1. Görüntü sahteciliği konusu ile ilgili incelenen çalışmalar

Problem	Çalışma	Kullanılan Teknik	Renk Uzayı	Literatüre Katkılar	Kısıtlar
	Dhivya vd. (2020) [28]	SURF, Support Vector Machine (SVM), PSNR	Gri tonlamalı	-%95,86 accuracy başarısı elde edilmiştir.	-SURF gibi anahtar tabanlı geleneksel yöntemler renk geçişlerinin az olduğu görüntülerde başarılı değildir. -Önerilen yöntemin test edilmesi için sadece gri tonlamalı görüntüler kullanılmıştır.
Kopyala Taşı Sahteciliği	Malviya ve Ladhake (2016) [29]	Auto Color Correlogram (ACC), Manhattan uzaklığı	RGB	-Önerilen yöntem PCA, DCT, SURF ile karşılaştırılmıştır. -%95,65 precision başarısı elde edilmiştir.	-Önerilen yöntem 400 görüntüden oluşan bir veri seti üzerinde test edilmiştir. Daha büyük boyutlu bir veri seti üzerinde denenmemiştir.
	Zheng ve Zhang (2022)[30]	SIFT, Özellik Noktası Kümeleme	HSV	-%95.83 accuracy başarısı elde edilmiştir.	Önerilen yöntemin küçük boyutlu kopyala taşı sahteciliği algılamaya yönelik etkisinin iyileştirilebileceği belirtilmiştir.

Tablo 1. Görüntü sahteciliği konusu ile ilgili incelenen çalışmalar

Görüntü Birleştirme Sahteciliği	Abraham vd. (2019) [31]	Artificial Neural Network (ANN), Görüntü Doku Özellikleri	RGB, HSV, YCbCr	-Görüntü doku ve renk özellikleri dikkate alınmıştır. - Çalışma sonucunda %98.06 accuracy başarısı elde edilmiştir.	-Çalışmada 461, 1483 ve 180 görüntüden oluşan veri setleri kullanılmıştır.
	Fang vd. (2010) [32]	Color Edge Detection (Renk Kenarı Algılama)	HSV	-Yerel hue bileşeninin görüntü ekleme sahteciliğini ortaya çıkarmak için önemli bir iz olduğu belirtilmiştir.	-Önerilen yöntem 363 görüntüden oluşan bir veri seti üzerinde test edilmiştir.
	Habibi ve Hassanpour (2021) [33]	Contourlet Dönüşümü	YCbCr	-%97.08 accuracy başarısı elde edilmiştir. -Renk kenar tutarsızlıkları temel alınmıştır.	-Önerilen yöntem 363 görüntüden oluşan bir veri seti üzerinde test edilmiştir.
	Zhe ve Peng (2020) [34]	OSTU Algoritması	YCbCr	-%73 precision, %100 recall başarı değerine ulaşılmıştır.	%73 precision başarısı elde edilmiştir. Başarı arttırılabilir.
	Stanton vd. (2019) [35]	White Point-Illuminant Consistency Algoritması, Convolutional Neural Network (CNN)	RGB, XYZ	-%76 AUC başarısı elde edilmiştir.	%76 AUC başarısı elde edilmiştir. Başarı arttırılabilir. -Önerilen yöntem 200 görüntüden oluşan bir veri seti üzerinde test edilmiştir.

Tablo 1'deki çalışmalar haricinde Pourkashani ve arkadaşları çalışmalarında CNN ve *k*-means algoritmasını kullanarak kopyala taşı sahteciliğini tespit etmişlerdir. Önerilen yöntemin MICC-F2000, MIC-F600 ve MICC-F8 veri setleri üzerinde test edildiği belirtilmiştir. Çalışma sonucunda %94.13 precision ve %96.98 F1 Score başarısı elde edilmiş ancak bu sonuçlara hangi veri seti kullanılarak ulaşıldığı belirtilmemiştir [36]. Nikalje ve Mane çalışmalarında CNN algoritmasını kullanarak hem kopyala taşı hem de görüntü birleştirme sahteciliğini tespit etmişlerdir. Çalışmada YCbCr renk uzayı

tercih edilmiştir. Önerilen yöntem CASIA v1.0 ve CASIA v2.0 veri setleri üzerinde test edilmiştir. Çalışma sonucunda CASIA v1.0 veri setinde %99.1 CASIA v2.0 veri setinde ise %99.4 accuracy başarısı elde ettiklerini bildirmişlerdir [37].

Prasanna ve arkadaşları çalışmalarında görüntü birleştirme sahteciliğini tespit etmek için Viola-Jones ve SVM algoritmalarını kullanmışlardır. Bu çalışma ile %88.55 accuracy elde etmişlerdir [38]. Wei ve arkadaşları görüntü birleştirme sahteciliğini tespit etmek için Synthetic Adversarial Networks ve Hibrit Dense U-Net tabanlı bir yöntem önermişlerdir. Çalışmalarında YUV ve CIE LAB renk uzaylarını kullanmışlardır. Önerilen yöntem altı farklı veri seti üzerinde test etmişlerdir ve çalışma sonucunda %73 F1 Score başarısı elde etmişlerdir [39]. He ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada sahte resimleri Random Forest algoritması kullanarak tespit etmişlerdir. HSV, CIE LAB ve YCbCr renk uzaylarını kullanmışlardır. Çalışma sonucunda çoğu durumda %99'un üzerinde accuracy elde ettiklerini belirtmişlerdir [40].

İncelenen kopyala taşı sahteciliği çalışmalarında RGB, HSV, YCbCr renk uzayları ve gri tonlamalı görüntüler kullanılmıştır. Yine bu problemin çözümü için YCbCr renk uzayında yüksek başarılar elde edilmiştir. SIFT ve SURF gibi anahtar nokta tabanlı yöntemler renk geçişlerinin az olduğu görüntülerde başarılı değildir [41]. Dolayısıyla bu çalışmalarda anahtar nokta tabanlı yöntemlerin kullanılması ve küçük boyutlu veri setlerinin önerilen yöntemlerin test edilmesi için tercih edilmesi çalışmaların kısıtı olarak değerlendirilmiştir.

Görüntü birleştirme sahteciliği çalışmalarında ise RGB, YCbCr, XYZ, HSV, YUV, CIE Lab renk uzayları kullanılmıştır. Bu çalışmalarda YCbCr en çok, YUV ve XYZ renk uzayları ise en az kullanılan renk uzaylarıdır. Çalışmalar incelendiğinde YCbCr renk uzayını kullanan çalışmaların daha başarılı olduğu görülmüştür. Bu sonuçlardan YCbCr renk uzayının parlaklık dolayısıyla kullanıldığı ve problemin çözümünde daha başarılı olduğu çıkarımında bulunulabilir. Ancak incelenen çalışmalarda aynı veri seti ve aynı yöntemlerin kullanılması ile renk uzayları arasında bir kıyaslama yapılmadığı için bu alanda belirli bir renk uzayı ile daha başarılı sonuçlar alınacağına yönelik bir yorum yapmak doğru olmayabilir.

Görüntü birleştirme sahteciliği ve kopyala taşı sahteciliği ile ilgili çalışmalarda kullanılan veri setlerinin boyutları da küçük olduğundan çalışmalarda önerilen yöntemler daha büyük veri setlerinde ya da farklı bakış açıları ve yöntemler kullanılarak tekrar çözülebilir. Bu çalışmalar ile birlikte literatürde renk tabanlı tespit yöntemlerinin yanında ayrıca ışık ve aydınlatma tutarsızlıkları da göz önünde bulundurularak görüntü sahtecilikleri tespit edilebilmektedir. Örneğin; Tuba ve arkadaşları, HSV renk uzayı bileşenlerine göre dijital görüntülerdeki gölgelerden görüntü sahteciliğini bulmaya çalışmışlardır [42].

B. GÖRÜNTÜ İÇ BOYAMA

Bu bölümde görüntü iç boyama konusu ile ilgili incelenen çalışmalar ve bu çalışmaların değerlendirmeleri bulunmaktadır. Tablo 2'de incelenen çalışmalar ve bu çalışmalarda kullanılan yöntemler, renk uzayları, çalışmaların literatüre katkıları ve çalışmaların kısıtları bulunmaktadır.

Tablo 2. Görüntü iç boyama konusu ile ilgili incelenen çalışmalar

Çalışma	Kullanılan Teknik	Renk Uzayı	Literatüre Katkıları	Kısıtlar
Zhou vd. (2021) [43]	Referans rehberli iç boyama, SIFT, PSNR, SSIM, LPIPS	RGB	- Önerilen yöntem RealEstate10K isimli büyük boyutlu veri seti kullanılarak test edilmiştir.	-Az SIFT özellik noktası içeren, düşük ışık veya doku girdilerinde iyi çalışmayabileceği belirtilmiştir.
Zhou vd. (2021) [44]	Convolutional Long Short Term Memory (Convolutional LSTM)	RGB	-%88.4 AUC başarısı elde etmişlerdir.	-Genelleme ve sağlamlık açısından literatürde boşluklar olduğu belirtilmiştir.
Akbari vd. (2018) [45]	SVM	HSV, RGB	-Kolonoskopi görüntülerindeki yansımalar tespit edilmiş ve ardından iç boyama gerçekleştirilmiştir. -Çalışma sonucunda %99.68 accuracy başarısı elde edilmiştir.	-Gelecek çalışmalarda görüntü iç boyama yönteminin daha fazla geliştirilmesi gerektiği belirtilmiştir.
Alilou ve Yaghmae (2015) [46]	General Regression Neural Network (GRNN), PSNR	YCbCr	- Önerilen yaklaşımın performansı üç uygulama bağlamında değerlendirilmiş ve bu üç uygulamada da başarılı olmuştur: metin kaldırma, çizik giderme ve gürültü giderme	- Önerilen yaklaşımın, boyama tabanlı görüntü sıkıştırma, hata gizleme ve görüntü iyileştirme gibi diğer görüntü işleme uygulamalarında etkinliği değerlendirilmemiştir.
Ciortan vd. (2021) [47]	Generative Adversarial Network (GAN), PSNR, SSIM	CIE LAB	-Önerilen algoritma, kenar ve renk içeriğini ortaklaşa öğrenerek, bu iki özelliğin orijinalle uyumlu olduğu sonuçlar üretebilmektedir.	-Modelin sınırlamalarının, kısmen düşük eğitim ve (daha yüksek) test verisi çözünürlüğü arasındaki farklılıktan kaynaklandığı belirtilmiştir.

Tablo 2’de yer alan çalışmalara ek olarak Li ve arkadaşları çalışmalarında iki blok arasındaki benzerliğin SSD ile hesaplandığı gelişmiş Criminisi metodunu kullanarak iç boyama işlemini gerçekleştirmiş ve elde ettikleri sonuçları diğer çalışmalar ile karşılaştırmışlardır. Çalışma sonucunda 46.81 PSNR değerine ulaştıklarını bildirmişlerdir [48]. Abin ve Thepade geliştirilmiş örnek tabanlı görüntü iç boyama gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada aynı zamanda YCbCr renk uzayı ve k -means algoritması kullanılmıştır.

Önerilen yöntem için ortalama 28.2869 PSNR ve 0.9759 SSIM değerlerine ulaştıklarını belirtmişlerdir [49]. İncelenen diğer çalışmalardan farklı olarak Yaghmaee ve Peyvandi SVD tabanlı yapı ve doku bilgilerinin kullanıldığı bir görüntü iç boyama yöntemi önermişlerdir. Çalışmalarında YCbCr renk uzayını, çalışmanın değerlendirilmesi için de PSNR ve SSIM metriklerini kullandıklarını belirtmişlerdir. Çalışma sonucunda 48.4966 PSNR değerine ulaşmışlardır [50].

Görüntü iç boyama çalışmaları incelendiğinde bu çalışmalarda sıklıkla makine öğrenmesi ve derin öğrenme algoritmalarının kullanıldığı görülmüştür. Bu çalışmalarda renk tutarlılığının sağlanması için ağırlıklı olarak RGB ve YCbCr renk uzayı kullanılmıştır. RGB ve YCbCr renk uzayının yanında CIE Lab ve HSV renk uzaylarının da kullanıldığı çalışmalar incelenmiştir. Görüntü iç boyama çalışmalarında, incelenen diğer renk tutarsızlığı problemlerine göre daha fazla derin öğrenme algoritmaları kullanılmıştır. Görüntü iç boyama problemlerinde derin öğrenme algoritmalarının kullanıldığı çalışmalarda yüksek başarılar elde edilmiştir. Yine bu çalışmalar ağırlıklı olarak PSNR, SSIM gibi değerlendirme metrikleri kullanılarak değerlendirildiği görülmüştür.

C. KARE JIGSAW PUZZLE

Bu bölümde kare jigsaw puzzle problemi ile ilgili çalışmalar ele alınmış ve değerlendirilmiştir. Tablo 3’de kare jigsaw puzzle problemi ile ilgili incelenen çalışmalara yer verilmiştir.

Tablo 3. Kare jigsaw puzzle konusu ile ilgili incelenen çalışmalar

Çalışma	Kullanılan Teknik	Renk Uzayı	Literatüre Katkıları	Kısıtlar
Cao vd. (2016) [51]	SSD, Açgözlü yaklaşım	RGB	- Eksik parçaları olan puzzle problemlerinde kullanılabilir. - 432 parçalı kare puzzle probleminde %96,69 accuracy başarısı elde edilmiştir.	- Önerilen yöntem 432, 540 ve 805 parçalı puzzle problemleri üzerinde test edilmiştir.
Paikin ve Tal (2015) [52]	Açgözlü yaklaşım, MGC	CIE Lab	- Eksik parçaları olan puzzle problemlerinde kullanılabilir. - %97,7 başarı oranı ile puzzle parçalarını birleştirdiği belirtilmiştir.	- Önerilen yöntem 432, 540, 805, 2360 ve 3300 parçalı puzzle problemleri için test edilmiştir.
Shih vd. (2019) [53]	Hausdorff tabanlı sınır uyumluluğu	CIE Lab	-Ortalama %87,1 başarı elde edildiği belirtilmiştir. -35 parçalı puzzlelerin 17'si 70 parçalı puzzlelerin ise 13'ü %100 doğrulukla çözülmüştür.	- Önerilen yöntem 35 ve 70 parçalı puzzle problemlerinde test edilmiştir. Puzzle sayısı artırılabilir. - Önerilen yöntemin eksik parça içeren puzzle problemlerini çözüp çözemeyeceği belirtilmemiştir.

Tablo 3. Kare jigsaw puzzle konusu ile ilgili incelenen çalışmalar

Guerroui ve Seridi (2020) [54]	SSD, Gist descriptor	RGB	- Önerilen yaklaşımın en son yöntemlerden daha iyi performans gösterdiği belirtilmiştir. - 540 parçalı kare puzzle probleminde 97.3% accuracy başarısı elde edilmiştir.	- Önerilen yöntemin puzzle eksik parçaları ve bilinmeyen boyutları dahil olmak üzere puzzle problemlerine genelleştirilebilir olduğu vurgulanmış fakat konu ile ilgili deneysel çalışmalara yer verilmemiştir. - Önerilen yöntem 540, 805, 2360 ve 3300 parçalı puzzle problemleri için test edilmiştir.
Kim vd. (2018) [55]	CNN, ImageNet, AlexNet, Öklid Uzaklığı	CIE Lab	-Önerilen yöntemin bir parçası eksik ve parçaları renksiz olan puzzle problemlerini de çözdüğü belirtilmiştir.	-Derin öğrenme modellerinin Lab renk uzayı L kanalından öğrenmektedir, diğer yöntemlere kıyasla biraz daha düşük puana neden olduğu belirtilmiştir.

Khoroshiltseva ve arkadaşları çalışmalarında aşınmış ve eksik kenarlı puzzle problemini çözmek için GAN tabanlı JiGAN'ı önermişlerdir. JiGAN'ın puzzle problemini iki aşamalı olarak çözdüğü belirtilmiştir. İlk aşamada eksik veya aşınmış kenarlar GAN tabanlı olarak onarılmış ve parçalar arasındaki yakınlık MGC ile ölçülmüştür. İkinci aşamada ise puzzle problemi çözülmüştür. Önerilen yöntem 9, 70, 88 ve 150 parçadan oluşan 4 farklı veri seti üzerinde test edilmiştir [56].

Tablo 3'de yer alan çalışmalar puzzle sayısı, çalışmalardaki önerilen yöntemlerin eksik parçalar içeren puzzle problemlerini çözüp çözmemesi ve kullanılan renk uzayları bakımından değerlendirilmiştir. Kare jigsaw puzzle problemlerinde en önemli konulardan birisi iki kare parça arasındaki uyumluluğun hesaplanmasıdır. Bu uyumluluk renk farklılıkları tabanlı benzerlik ölçüsüdür. Tablo 3'de yer alan çalışmalarda puzzle parçaları arasındaki bu uyumluluğun hesaplanması için ağırlıklı olarak SSD ve MGC metrikleri kullanılmıştır. Yine bu çalışmalarda ağırlıklı olarak CIE Lab ve RGB renk uzaylarına bakılmıştır. Kullanılan her iki renk uzayında da kayda değer yüksek accuracy başarıları elde edilmiştir. YCbCr ve HSV, HSI, YUV gibi renk uzaylarının kullanıldığı çalışmalara rastlanmamıştır. CIE Lab renk uzayının çalışmalarda ağırlıklı olarak ön plana çıkmasından dolayı bu çalışmalarda parlaklığın önemli bir ölçüt olduğu yorumu yapılabilir. Ayrıca az sayıda oluşan puzzle problemleri üzerinde test edilen çalışmalarda kullanılan yöntemler daha fazla parçadan oluşan puzzle problemleri ve eksik parçalı puzzle problemlerinin çözümü için de uygulanabilir.

D. GÖRÜNTÜ BİRLEŞTİRME

Bu bölümde görüntü birleştirme problemi ile ilgili çalışmalar ele alınmış ve bu çalışmalar değerlendirilmiştir. Tablo 4'de görüntü birleştirme problemi ile ilgili incelenen çalışmalara yer verilmiştir.

Tablo 4. Görüntü birleştirme konusu ile ilgili incelenen çalışmalar

Çalışma	Kullanılan Teknik	Renk Uzayı	Literatüre Katkıları	Kısıtlar
Xie vd. (2018) [21]	Histogram uç nokta eşleştirme, PSNR	CIE Lab	- Deneysel sonuçlardan önerilen yöntemin nitel analiz ve nicel tahmin yoluyla en gelişmiş algoritmadan daha başarılı olduğu belirtilmiştir.	- Görüntüler arasındaki renk farkı çok büyük olduğunda renk aktarımı için histogram eşleştirme algoritmasının zayıflığının piksel doygunluğu sorununa neden olabileceği belirtilmiştir.
Xia vd. (2017) [22]	Reweighted Multivariate Alteration Detection (IR-MAD), color Discrepancy (CD)	YCbCr	- Önerilen yöntem renk tutarlılığı konusunda iyi bir performansa sahiptir. - Piksel doygunluğuna sebep olmaz.	- Tek kanallı optimizasyon stratejisinin, beyaz dengesi sorununu çözemediği bildirilmiştir.
Tian ve Cohen (2017) [57]	Histogram eşleştirme, PSNR, SSIM, CS (Color Similarity Index)	RGB	- Referans görüntü ve test görüntüsü arasındaki renk farklılıklarını etkin bir şekilde en aza indirebilmektedir.	- Önerilen yöntem global bilgiyi kullanmaktadır, yerel komşu bilgisini kullanmamaktadır.
Niu ve Wang (2018) [26]	Histogram eşleştirme ve polinomsal regresyon	HSI	- Oklüzyon veya paralaksın neden olduğu görüntü kaydının iyi veya kötü sonucundan çok az etkilendiği vurgulanmıştır. - Deneysel sonuçlar, paralaks olsun veya olmasın yöntemin iyi etkilere sahip olduğunu göstermiştir	- Seamless stitching sonucunun ön koşul olduğu belirtilmiştir.
Wang vd. (2020) [58]	Vector Field Consensus (VFC) algoritması, SSIM, SCIELAB, FSIMC, CID	CIE Lab	- Önerilen yöntem görüntü birleştirme işleminde paralaksı başarılı bir şekilde düzeltmiştir.	- Tüm görüntü değerlendirme metriklerinde iyi sonuçlar alamamıştır.

Bu çalışmalar haricinde Lee ve arkadaşları çalışmalarında, görüntü birleştirme uygulamaları için renk sabitliği algoritmasına dayalı Gauss Laplacian algoritmasını sunmuşlardır [59]. Yao ve Li ise çalışmalarında panoramik görüntü birleştirmede tutarsızlık problemini çözmek için bir renk eşleştirme yaklaşımı önermişlerdir. Çalışmalarında RGB görüntüleri YUV renk uzayına dönüştürmüşlerdir. Çalışma sonucunda 28.89 PSNR değerine ulaştıklarını belirtmişlerdir. Önerilen yaklaşımın mobil cihazlarda panoramik görüntüleme için uygun olduğu ve komşu görüntüler arasındaki renk geçişlerinin de tutarlı bir şekilde olduğu bildirilmiştir [60]. Yuan ve arkadaşları çalışmalarında süper piksellere dayalı yeni bir görüntü birleştirme yöntemi önermişlerdir. Çalışmalarında insansız hava aracı ile elde edilmiş görüntüleri kullanmışlardır. Önerilen yöntemi YUV renk uzayını kullanarak gerçekleştirmişlerdir [61]. Lu ve arkadaşları çalışmalarında hem renk düzeltme hem de görüntü birleştirme işlemini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında histogram eşleştirme ve rasyonel fonksiyon modelini kullanmışlardır. RGB renk uzayını kullandıklarını belirtmişlerdir [62].

İncelenen görüntü birleştirme çalışmalarında görüntülerin renk tutarlılığı gözetilerek birleştirilebilmesi için RGB, HSI, YCbCr, CIE Lab ve YUV gibi farklı renk uzaylarının ve farklı yöntemlerin kullanılmıştır. CIE Lab ve YUV gibi renk uzaylarının ağırlıklı kullanıldığından ve bu renk uzaylarında parlaklık değeri bulunduğundan bu problemin çözümü için parlaklığın ön planda olduğu yorumu yapılabilir. Yine bu çalışmalarda renk tutarlılığının sağlanması için histogram eşleştirme yöntemi diğer yöntemlere göre daha fazla tercih edilmiştir. Bu çalışmalarda da görüntü iç boyama çalışmalarında olduğu gibi PSNR ve SSIM metrikleri diğer metriklere göre daha çok kullanılmıştır.

V. SONUÇLAR

Bu çalışmada görüntü iç boyama, kare jigsaw puzzle, görüntü birleştirme ve görüntü sahteciliği problemlerinden; kopyala taşı ve görüntü birleştirme sahteciliği problemleri renk tutarlılığı bağlamında ele alınmıştır. İlgili problemler farklı yöntemler ile çözülmektedir. Yapılan araştırmalar sonucunda renk tabanlı çözümler kullanılarak bu problemlerin çözülebileceği görülmüş ve bu konular ile ilgili literatürde bulunan çalışmalar incelenmiştir. Renk tutarlılığının sağlanması için görüntü sahteciliği çalışmalarında ağırlıklı olarak YCbCr, görüntü iç boyama çalışmalarında RGB ve YCbCr, kare jigsaw puzzle çalışmalarında CIE Lab, RGB ve görüntü birleştirme çalışmalarında ise RGB, YUV ve CIE Lab ağırlıklı olmak üzere farklı renk uzaylarının tercih edildiği görülmüştür. Özellikle son yıllarda yapılan çalışmalar incelendiğinde bu çalışmalarda genellikle derin öğrenme algoritmalarından CNN, GAN gibi algoritmalar çoğunlukla kullanılmıştır. Kopyala taşı, görüntü birleştirme sahteciliği, görüntü iç boyama problemlerinde derin öğrenme algoritmalarının kullanıldığı çalışmaların kullanılmayanlara kıyasla daha yüksek doğruluk başarılarına ulaştığı görülmüştür. Görüntü birleştirme çalışmalarında ise genel olarak histogram eşleştirme yöntemi, kare jigsaw puzzle probleminde ise SSD ve MGC ölçütleri kullanılmıştır. Kullanılan bu yöntemler ile bu problemler yüksek başarı ile çözülmüştür. İlerleyen çalışmalarda da kullanılan geleneksel yöntemler derin öğrenme algoritmaları ile hibrit bir şekilde kullanılarak bu problemlerin çözümlerinde kullanılabilir ve bu sayede farklı çözüm yolları ve bakış açıları elde edilebilir. Genel olarak bu çalışmalar PSNR, SSIM gibi metrikler kullanılarak değerlendirilmiştir. Bu literatür çalışması ile bu alanda araştırma yapmak isteyen araştırmacılara yol göstermek istenmiştir.

VI. KAYNAKLAR

- [1] Anonymous, "Consistency," *Britannica Dictionary*, 2022. <https://www.britannica.com/dictionary/consistency> (accessed May 15, 2022).
- [2] A. H. Saber, M. A. Khan, and B. G. Mejbel, "A survey on image forgery detection using different forensic approaches," *Advances Science Technology Engineering System Journal*, vol. 5, no. 3, pp. 361–370, 2020.

- [3] S. Mushtaq and A. H. Mir, "Image copy move forgery detection: a review," *International Journal of Future Generation Communication Network*, vol. 11, no. 2, pp. 11–22, 2018.
- [4] Y. Wu, W. Abdalmageed, and P. Natarajan, "Mantra-net: Manipulation tracing network for detection and localization of image forgeries with anomalous features," *Proc. IEEE Computer Society Conference Computer Visual Pattern Recognition*, vol. 2019-June, pp. 9535–9544, Jun. 2019, doi: 10.1109/CVPR.2019.00977.
- [5] T. Wang, H. Ouyang, and Q. Chen, "Image Inpainting with External-internal Learning and Monochromic Bottleneck," *Proc. IEEE Computer Society Conference Computer Visual Pattern Recognition*, pp. 5116–5125, 2021, doi: 10.1109/CVPR46437.2021.00508.
- [6] J. Jam, C. Kendrick, K. Walker, and V. Drouard, "A comprehensive review of past and present image inpainting methods," *Journal of Network Computer Applications*, vol. 203, p. 103147, 2021.
- [7] "Color Consistency, Color Inconsistency," 2022. <https://www.scopus.com/> (accessed May 15, 2022).
- [8] T. Zhang, "Deepfake generation and detection, a survey," *Multimedia Tools and Applications*, vol. 81, no. 5, pp. 6259–6276, Feb. 2022.
- [9] N. B. Abd Warif, R. Wahab, Ainuddin Wahid Abdul Idris, Mohd Yamani Idna Ramli, and K.-K. R. Salleh, Rosli Shamshirband, Shahaboddin Choo, "Copy-move forgery detection: survey, challenges and future directions," *Journal of Network Computer Applications*, vol. 75, pp. 259–278, 2016.
- [10] S. Tyagi and Divakar Yadav, "A detailed analysis of image and video forgery detection techniques", *The Visual Computer*, 2022, doi: 10.1007/s00371-021-02347-4.
- [11] C. N. Bharti and P. Tandel, "A survey of image forgery detection techniques," in *2016 International Conference on Wireless Communications, Signal Processing and Networking (WiSPNET)*, 2016, pp. 877–881.
- [12] G. Kaur, N. Singh, and M. Kumar, "Image forgery techniques: a review," *Artificial Intelligence Review*, pp. 1–49, 2022.
- [13] C. Liu, Ke Lu, Wei Lin, X. Huang, Xinchao Liu, and Y. Yeung, Yuileong Xue, "Copy move forgery detection based on keypoint and patch match," *Multimedia Tools and Applications*, vol. 78, no. 22, pp. 31387–31413, Nov. 2019.
- [14] G. B. Abraham, Araz Rajab Rahim, Mohd Shafry Mohd Sulong, "Literature review: Detection of image splicing forgery," *International Journal of Applied Engineering Reserach*, vol. 12, no. 22, pp. 11855–11861, 2017.
- [15] M. Isaac, Meera Mary Wilscy, "Image forgery detection using region-based Rotation Invariant Co-occurrences among adjacent LBPs," *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, vol. 34, no. 3, pp. 1679–1690, 2018.
- [16] H. Xiang, Q. Zou, M. A. Nawaz, X. Huang, F. Zhang, and H. Yu, "Deep learning for image inpainting: A survey," *Pattern Recognition*, vol. 134, p. 109046, Feb. 2023, doi: 10.1016/J.PATCOG.2022.109046.
- [17] S. Zarif, I. Faye, and D. Rohaya, "Image Completion: Survey and Comparative Study," *International Journal of Pattern Recognition Artifical Intelligence*, vol. 29, no. 3, Apr. 2015.

- [18] F. Kleber and R. Sablatnig, "A survey of techniques for document and archaeology artefact reconstruction," in *2009 10th International Conference on Document Analysis and Recognition*, 2009, pp. 1061–1065.
- [19] D. Sholomon, O. E. David, and N. S. Netanyahu, "An automatic solver for very large jigsaw puzzles using genetic algorithms," *Genetic Programming and Evolvable Machines*, vol. 17, no. 3, pp. 291–313, 2016.
- [20] W. Lyu, Z. Zhou, L. Chen, and Y. Zhou, "A survey on image and video stitching," *Virtual Reality Intelligent Hardware*, vol. 1, no. 1, pp. 55–83, Feb. 2019, doi: 10.3724/SP.J.2096-5796.2018.0008.
- [21] R. Xie, M. Xia, J. Yao, and L. Li, "Guided color consistency optimization for image mosaicking," *ISPRS Journal of Photogrammetry Remote Sensing*, vol. 135, pp. 43–59, 2018.
- [22] M. Xia, J. Yao, R. Xie, M. Zhang, and J. Xiao, "Color consistency correction based on remapping optimization for image stitching," in *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision Workshops*, 2017, pp. 2977–2984.
- [23] P. Ganesan, B. S. Sathish, K. Vasanth, V. G. Sivakumar, M. Vadivel, and C. N. Ravi, "A comprehensive review of the impact of color space on image segmentation," in *2019 5th International Conference on Advanced Computing & Communication Systems (ICACCS)*, 2019, pp. 962–967.
- [24] A. Sahay and A. Gautam, "Comparison between SIFT and SURF image forgery Algorithms," *International Journal of Computer Applications*, vol. 164, no. 2, pp. 9–11, 2017.
- [25] D. Mondal, Y. Wang, and S. Durocher, "Robust solvers for square jigsaw puzzles," in *2013 International Conference on Computer and Robot Vision*, 2013, pp. 249–256.
- [26] H. Niu, Q. Lu, and C. Wang, "Color correction based on histogram matching and polynomial regression for image stitching," in *2018 IEEE 3rd International Conference on Image, Vision and Computing (ICIVC)*, 2018, pp. 257–261.
- [27] A. Hore and D. Ziou, "Image quality metrics: PSNR vs. SSIM," in *2010 20th international conference on pattern recognition*, 2010, pp. 2366–2369.
- [28] S. Dhivya, J. Sangeetha, and B. Sudhakar, "Copy-move forgery detection using SURF feature extraction and SVM supervised learning technique," *Soft Computing*, vol. 24, no. 19, pp. 14429–14440, 2020.
- [29] A. V Malviya and S. A. Ladhake, "Pixel based image forensic technique for copy-move forgery detection using auto color correlogram," *Procedia Computer Science*, vol. 79, pp. 383–390, 2016.
- [30] J. Zheng and K. Zhang, "Copy-Move Forgery Detection Algorithm based on Feature Point Clustering," *IEEE 6th Inf. Technol. Mechatronics Eng. Conf. ITOEC 2022*, pp. 775–780, 2022, doi: 10.1109/ITOEC53115.2022.9734556.
- [31] A. R. Abraham, M. S. M. Rahim, and G. Bin Sulong, "Splicing image forgery identification based on artificial neural network approach and texture features," *Cluster Computing*, vol. 22, no. 1, pp. 647–660, 2019.
- [32] Z. Fang, S. Wang, and X. Zhang, "Image splicing detection using color edge inconsistency," in

- 2010 *International Conference on Multimedia Information Networking and Security*, 2010, pp. 923–926.
- [33] M. Habibi and H. Hassanpour, “Splicing image forgery detection and localization based on color edge inconsistency using statistical dispersion measures,” *International Journal of Engineering*, vol. 34, no. 2, pp. 443–451, 2021.
- [34] S. Zhe and S. Peng, “Authentication of splicing manipulation by exposing inconsistency in color shift,” *Multimedia Tools and Applications*, vol. 79, no. 11, pp. 8235–8248, 2020.
- [35] J. Stanton, K. Hirakawa, and S. McCloskey, “Detecting Image Forgery Based On Color Phenomenology,” in *CVPR Workshops*, 2019, pp. 138–145.
- [36] A. Pourkashani, A. Shahbahrami, and A. Akoushideh, “Copy-move forgery detection using convolutional neural network and K-mean clustering,” *International Journal Electrical and Computer Engineering*, vol. 11, no. 3, pp. 2604–2612, 2021, doi: 10.11591/ijece.v11i3.pp2604-2612.
- [37] S. Nikalje and M. V. Mane, “Copy-Move and Image Splicing Forgery Detection based on Convolution Neural Network,” in *2022 Third International Conference on Intelligent Computing Instrumentation and Control Technologies (ICICT)*, 2022, pp. 391–395.
- [38] G. V. Sai Prasanna, K. Pavani, and M. K. Singh, “Spliced images detection by using Viola-Jones algorithms method,” *Materials Today: Proceedings*, vol. 51, pp. 924–927, Jan. 2022, doi: 10.1016/J.MATPR.2021.06.300.
- [39] Y. Wei, J. Ma, Z. Wang, B. Xiao, and W. Zheng, “Image splicing forgery detection by combining synthetic adversarial networks and hybrid dense U-net based on multiple spaces,” *International Journal of Intelligent Systems*, vol. 37, no. 11, pp. 8291–8308, Nov. 2022, doi: 10.1002/INT.22939.
- [40] P. He, H. Li, and H. Wang, “Detection of Fake Images Via the Ensemble of Deep Representations from Multi Color Spaces,” *Proc. - International Conf. Image Process. ICIP*, vol. 2019-September, pp. 2299–2303, Sep. 2019, doi: 10.1109/ICIP.2019.8803740.
- [41] G. Ulutaş, “G-SURF ve AKAZE tabanlı yeni bir kopyala-yapıştır sahteciliği tespit yöntemi,” *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 2017.
- [42] V. Tuba, R. Jovanovic, and M. Tuba, “Digital image forgery detection based on shadow HSV inconsistency.” In *2017 5th International Symposium on Digital Forensic and Security (ISDFS)*, 2017. doi: 10.1109/isdfs.2017.7916505.
- [43] Y. Zhou, C. Barnes, E. Shechtman, and S. Amirghodsi, “TransFill: Reference-guided Image Inpainting by Merging Multiple Color and Spatial Transformations.” In *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2021.
- [44] P. Zhou, N. Yu, Z. Wu, L. S. Davis, A. Shrivastava, and S.-N. Lim, “Deep video inpainting detection,” *arXiv Prepr. arXiv2101.11080*, 2021.
- [45] M. Akbari, M. Mohrekesh, K. Najariani, N. Karimi, S. Samavi, and S. M. R. Soroushmehr, “Adaptive specular reflection detection and inpainting in colonoscopy video frames,” in *2018 25th IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*, 2018, pp. 3134–3138.
- [46] V. K. Alilou and F. Yaghmaee, “Application of GRNN neural network in non-texture image inpainting and restoration,” *Pattern Recognition Lett.*, vol. 62, pp. 24–31, 2015.

- [47] I.-M. Ciortan, S. George, and J. Y. Hardeberg, "Colour-Balanced Edge-Guided Digital Inpainting: Applications on Artworks," *Sensors*, vol. 21, no. 6, p. 2091, 2021.
- [48] C. Li, H. Chen, X. Han, X. Pan, and D. Niu, "An improved Criminisi method for image inpainting," in *Journal of Physics: Conference Series*, 2022, vol. 2253, no. 1, p. 12023.
- [49] D. Abin and S. D. Thepade, "Improved Exemplar based Image Inpainting for Partial Instance Occlusion Handling with K-means Clustering and YCbCr Color Space," *IJACSA) International Journal of Advanced Computer Science and Applications.*, vol. 12, no. 5, p. 2021, Accessed: Oct. 23, 2022. [Online]. Available: www.ijacsa.thesai.org
- [50] F. Yaghmaee and K. Peyvandi, "Improving image inpainting quality by a new SVD-based decomposition," *Multimedia Tools and Applications*, vol. 79, no. 19–20, pp. 13795–13809, May 2020, doi: 10.1007/S11042-020-08650-X/FIGURES/9.
- [51] D. Cao, L. Chen, and Y. Liu, "Solving jigsaw puzzle with symbol matrixes," in *2016 IEEE/ACIS 15th International Conference on Computer and Information Science (ICIS)*, 2016, pp. 1–6.
- [52] G. Paikin and A. Tal, "Solving multiple square jigsaw puzzles with missing pieces," in *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, 2015, pp. 4832–4839.
- [53] H.-C. Shih, J.-L. Lu, and C.-H. Ma, "Square Puzzle Solving Using Border Compatibility Matching," in *2019 16th IEEE International Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance (AVSS)*, 2019, pp. 1–5.
- [54] N. Guerroui and H. Seridi, "Solving computational square jigsaw puzzles with a novel pairwise compatibility measure," *Journal King Saud University- Computer and Information Science*, vol. 32, no. 8, pp. 928–939, 2020.
- [55] D. Kim, D. Cho, D. Yoo, and I. S. Kweon, "Learning image representations by completing damaged jigsaw puzzles," in *2018 IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV)*, 2018, pp. 793–802.
- [56] M. Khoroshiltseva, A. Traviglia, M. Pelillo, and S. Vascon, "Relaxation Labeling Meets GANs: Solving Jigsaw Puzzles with Missing Borders," *Lect. Notes Computer Science (including Subser. Lect. Notes Artif. Intell. Lect. Notes Bioinformatics)*, vol. 13233 LNCS, pp. 27–38, 2022, doi: 10.1007/978-3-031-06433-3_3/COVER.
- [57] Q.-C. Tian and L. D. Cohen, "Histogram-based color transfer for image stitching," *Journal of Imaging*, vol. 3, no. 3, p. 38, 2017.
- [58] C. Wang, Z. Gao, and Q. Lu, "Parallax-Based Color Correction in Image Stitching," in *2020 IEEE 5th International Conference on Image, Vision and Computing (ICIVC)*, 2020, pp. 69–74.
- [59] T. H. Lee *et al.*, "Laplacian of Gaussian Based on Color Constancy Algorithm for Surrounding Image Stitching Application," *Proc. - 2022 IEEE International Conference Consum. Electron. - Taiwan, ICCE-Taiwan 2022*, pp. 287–288, 2022, doi: 10.1109/ICCE-TAIWAN55306.2022.9869055.
- [60] W. Yao and Z. Li, "Instant Color Matching for Mobile Panorama Imaging," *IEEE Signal Processing Letters*, vol. 1, no. 22, pp. 6–10, 2015, doi: 10.1109/LSP.2014.2345773.
- [61] Y. Yuan, F. Fang, and G. Zhang, "Superpixel-based seamless image stitching for UAV images,"

IEEE Transactions Geoscience Remote Sensing, vol. 59, no. 2, pp. 1565–1576, 2020.

- [62] Q. Lu, Z. Gao, and C. Wang, “Rational function model based color correction in image stitching applications,” *ACM International Conference Proceeding Ser.*, pp. 200–205, May 2019, doi: 10.1145/3330393.3330398.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Derleme Makalesi

Geleceğin Gıdaları için Mikroalgler: *Spirulina* spp. ve *Chlorella* spp.

 Eda NURKO ^{a,*},  Emine NAKİLCİOĞLU ^b,  Semih ÖTLEŞ ^b

^a Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ege Üniversitesi, İzmir, TÜRKİYE

^b Gıda Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Ege Üniversitesi, İzmir, TÜRKİYE

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

DOI:10.29130/dubited.1146266

Öz

Dünya nüfusunun hızla artmasıyla birlikte enerji krizleri, iklim değişiklikleri, küresel ısınma, gıda yetersizliği ve dengesiz beslenme gibi sorunların beraberinde geleceği tahmin edilmektedir. Bu sorunların öngörülmesiyle birlikte, insanoğlu alternatif gıda kaynaklarına ihtiyaç duymaya başlamıştır. Yüksek besin içerikleri, sağlığa olumlu etkileri ve sürdürülebilirlikleri ile ilgi gören algler, fonksiyonel gıda olmaya aday ürünler olarak değerlendirilmektedir. Deniz florasının yaklaşık %95'ini oluşturan algler, acı, tatlı, tuzlu, alkali sularda ve topraklarda yetişebilmektedir. Ekonomik ve kolay üretime sahip olmaları nedeniyle gelecekte besin ihtiyacının karşılanabileceği kaynaklardır. İmmünomodülatör, antibakteriyel, antioksidan gibi fazla sayıda sağlığa faydalı etkileri ile Alzheimer hastalığı, alerjik hastalıklar, kardiyovasküler hastalıklar gibi birçok hastalığı önleyici etkilere de sahiptir. Özellikle proteinler, lipitler, çoklu doymamış yağ asitleri (ÇDYA), polisakkaritler, pigmentler ve polifenoller bakımından zengin olan algler, mikroalgler ve makroalgler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Bu derleme çalışmasında, mikroalglerden olan *Spirulina* spp. ve *Chlorella* spp. hakkında literatür taraması yapılmış, besin içeriklerine, sağlık etkilerine ve gıda endüstrisinde yapılan zenginleştirme çalışmalarına kısaca değinilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Alternatif gıda, *Chlorella* spp., Mikroalg, *Spirulina* spp., Zenginleştirme

Microalgae for The Food of Future: *Spirulina* spp. and *Chlorella* spp.

ABSTRACT

With the rapid increase in the world population, it is estimated that problems such as energy crises, climate changes, global warming, food insufficiency and unbalanced nutrition will come along. With the prediction of these problems, human beings started to need alternative food sources. Algae, which attracts attention with their high nutritional content, positive effects on health and sustainability, are considered as candidate products to be functional foods. Algae, which make up about 95% of the marine flora, can grow in brackish, fresh, salty, alkaline waters and soils. They are sources where food needs can be met in the future due to their economic and easy production. It has many beneficial effects on health such as immunomodulator, antibacterial, antioxidant, and also has preventive effects on many diseases such as Alzheimer's disease, allergic diseases, cardiovascular diseases. Algae, which are especially rich in proteins, lipids, polyunsaturated fatty acids (PUFA), polysaccharides, pigments and polyphenols, are divided into two as microalgae and macroalgae. In this review study, literature review about *Spirulina* spp. and *Chlorella* spp., which are microalgae, was made, and their nutritional content, health effects and enrichment studies in the food industry were briefly mentioned.

Keywords: Alternative food, *Chlorella* spp., Microalgae, *Spirulina* spp., Enrichment

I. GİRİŞ

2050 yılında, hızla artan dünya nüfusunun 9.8 milyar olacağı ve beraberinde küresel ısınma, iklim değişiklikleri, enerji krizleri ve gıda yetersizliği gibi sorunların geleceği düşünülmektedir [1]. Günümüzde, insanların protein bakımından yetersiz ve yüksek kalorili gıdalar ile beslendiği, obezite, diyabet, tansiyon ve kalp hastalıkları gibi sağlık sorunları yaşadığı ve alternatif doğal beslenme kaynaklarına ihtiyaç duyduğu bilinmektedir [2], [3]. Sağlığa faydalı etkilere ve yüksek besin içeriğine sahip olan algler, çevre açısından sürdürülebilir gıda taleplerini karşılayabilecek, alternatif fonksiyonel gıda adayı olan ürünler arasında yer almaktadır [1], [2]. Alglerin, gelecekte yaşanacak açlık krizinde kullanılacağı öngörülmekte, günümüzde ise Kore, Çin ve Japonya gibi ülkelerde yaygın olarak tüketilmektedirler [4].

Deniz florasının yaklaşık %95'ini oluşturan algler aynı zamanda tatlı sularda da kolaylıkla gelişebilen fotosentetik organizmalar topluluğudur [5]-[6]. Fotosentez ile besin üreten bu mikroorganizmaların ikiye katlanma süreleri oldukça kısadır. Bu nedenle, en hızlı büyüyen canlılar olarak bilinirler [5]. Fotosentez işlemi ile birlikte güneş enerjisi, kimyasal enerjiye dönüşmektedir. Bu kimyasal enerji ise biyoaktif aktivitelere sahip olan kimyasal bileşikler olarak depolanmaktadır [7].

Yaklaşık 3.5 milyar yıl önce keşfedilen, dünyadaki en eski bitkilerden biri olan alglerin morfolojisi ve boyutları farklılık göstermektedir [2], [8]. Okyanuslar, tatlı su gölleri, nehirler, dereler ve su birikintileri gibi geniş yaşama alanına sahip olan algler, basit yapılı, ototrof ve genellikle ökaryotik canlılardır [4]. Aynı zamanda, iyi gelişmiş bir çekirdeğe, klorofil gibi pigmentleri içeren kloroplasta, hücre duvarına ve bir kamçıya sahiptirler [8]. Yaklaşık 30.000 türü bulunan algler, boyutlarına göre mikroalgler ve makroalgler olarak; içerdikleri pigmentlere göre ise yeşil, kırmızı, kahverengi ve siyanobakteriler olarak sınıflandırılmaktadır [1], [7], [9]. Mikroalgler, 0,2-10 µm boyutlarındaki organizmalardan oluşurken; makroalgler, 70 m uzunluğa kadar ulaşabilen su yosunlarından oluşmaktadır [2], [8]. Makroalgler, gözle görülebilen, çok hücreli, hızlı büyüyen ve içerdikleri pigmentlere göre kırmızı (*Rhodophyta*), kahverengi (*Phaeophyta*) ve yeşil (*Chlorophyta*) olarak sınıflandırılan bir gruptur [1], [10]. Türüne, coğrafi kökenine, hasat mevsimine ve çevresel koşullara göre değişen besin değerlerine sahiptirler. Özellikle kahverengi makroalg türlerinde sindirilemeyen polisakkaritlerin varlığı ile düşük miktarda bulunan protein ve esansiyel amino asit içeriği, besin içeriğini olumsuz yönde etkilemektedir [11].

Mikroskobik canlılar olarak da bilinen mikroalgler ise, basit hücre yapıları sayesinde her koşulda yaşayabilmekte ve hızlıca çoğalabilmektedirler [1], [12]. Aynı zamanda, ışık enerjisi, fosfor, azot, karbondioksit gibi besinleri kullanarak biyoaktif bileşikleri sentezlemektedirler [1]. Kendi içlerinde kahverengi, kırmızı, yeşil ve mavi-yeşil algler olarak sınıflandırılan mikroalgler arasındaki prokaryotik olan tek grup siyanobakterilerdir [12], [13]. Protein, β-glukan, β-karoten, dokosaheksaenoik asit (DHA) ve eikosapentaenoik asit (EPA) gibi omega-3 yağ asitleri, mineral, vitamin ve biyoaktif bileşikler açısından zengin olan mikroalgler gıda, kozmetik ve biyoyakıt endüstrisi gibi birçok alanda kullanılmaktadır [2], [6]. Ticari olarak en çok kullanılan mikroalg türleri, *Phaeodactylum*, *Dunaliella*, *Haematococcus*, *Botryococcus*, *Spirulina* ve *Chlorella*'dır [12]. Aynı zamanda mikroalgler, Avrupa ülkelerinde, Asya ülkelerinde, Avustralya'da ve Amerika'da yetiştirilmekte ve insan tüketimine sunulmaktadır [14].

Besin içerikleri ve biyoaktif bileşikleri ile gıda olarak tüketilen alglerin, antioksidan, antiviral, antifungal, antiinflamatuvar, antikanserojen, antidiyabetik ve immünomodülatör etkileri bulunmaktadır [1], [8]. Bu derleme çalışmasında, mikroalglerden olan *Spirulina* ve *Chlorella* türlerinin bileşimi, sağlığa etkileri ve gıda endüstrisinde kullanımına ait son yıllarda yapılan çalışmalar incelenmiştir.

II.SPIRULİNA VE SAĞLIK ETKİLERİ

Spirulina, yüzyıllar boyunca farklı popülasyonlar için besin olarak kullanılan, mavi-yeşil alg olarak bilinen bir siyanobakteridir [15], [16]. Yaklaşık 3.6 milyar yıl önce keşfedilen, dünyanın en eski bitkilerinden biridir ve oksijen atmosferini oluşturan ilk fotosentetik yaşam formudur [17], [18]. Filamentli ve çok hücreli bir siyanobakteri olan *Spirulina*, dünyada en çok yetiştirilen mikroalgdır [19], [21]. Aynı zamanda, *Arthrospira* spp.'nin ticari olarak adlandırılmış halidir [16], [21], [22]. *Arthrospira* spp., farklı ortamlara uyum sağlayarak, alkali su ortamlarında, tuzlu ve tatlı sularda, acı sularda ve toprakta yetişebilmektedir. [18], [23], [24]. *Spirulina*'nın en önemli türleri *Spirulina plantensis* ve *Spirulina maxima*'dır [17]. Karbondioksit fiksasyonu ve nitrifikasyon için yararlı, çevre dostu ve sürdürülebilir bir mikroalg olan *Spirulina*, ticari olarak büyük açık havuzlarda ve kontrollü koşullar altında üretilmektedir [19], [25]. Yüksek protein ve vitamin içeriği ile bilinen *Spirulina*, fonksiyonel bir gıda olarak ön plana çıkmış ve gıda sektöründe, su ürünleri yetiştiriciliğinde, tarım, ilaç ve sağlık sektöründe popüler hale gelmiştir [17], [22], [26].

Gıda endüstrisinde sürdürülebilir ve doğal alternatif gıda kaynaklarına olan talebi karşılamak için protein, biyoaktif bileşik, lipit ve karbonhidrat kaynağı olan bazı mikroorganizmaların kullanılabilmesi öne sürülmüştür [27]. *Spirulina* ise, soya fasulyesi gibi birçok gıdaya göre yüksek miktarda protein, mineral ve vitamin içerdiğinden, uzun zamandır diyet takviyesi olarak kullanıma sahiptir [28]. Zengin besin içeriğine sahip olan *Spirulina*, Dünya Sağlık Örgütü tarafından insanlığın en iyi sağlık ürünü olarak tanımlanırken; UNESCO tarafından, geleceğin en ideal besini olarak ifade edilmiştir [17], [28]. Aynı zamanda, Avrupa Uzay Ajansı ve NASA, uzun süreli uzay yolculuklarında yetiştirilebilecek başlıca besinlerden biri olarak *Spirulina*'yı onaylamışlardır [17]. Ek olarak, kolay sindirilebilirliğe sahip olan *Spirulina* suşlarının ürettiği metabolitler, insan sağlığına zararlı olmadığından Genel Olarak Güvenli (GRAS) oldukları Gıda ve İlaç Dairesi (FDA) tarafından onaylanmıştır [21], [29]. *Spirulina* yüksek besin içeriğinin yanı sıra çoklu doymamış yağ asitleri (omega-3, omega-6 ve γ -linolenik asit-GLA), glikolipidler, polisakkaritler, karotenoidler ve diğer biyoaktif bileşikler bakımından da zengindir [15], [20], [30]-[32]. Fikosiyanin, fikoeritrin ve allofikosiyanin gibi önemli pigment maddelerini içeren *Spirulina*'nın protein içeriği, kuru ağırlığın yaklaşık %70'i kadardır [20], [24], [33]. E vitamini, A vitamini ve özellikle B vitaminleri bakımından zengin olan *Spirulina*, K, Fe, Na, Se, Mn, Zn ve Mg gibi mineralleri de yapısında barındırmaktadır [20], [24]. Ek olarak, içerdiği karotenoid, klorofil ve C-fikosiyanin gibi renk pigmentleri sayesinde gıda sektöründe ilgi görmektedir [27], [33].

Süper besin olarak da bilinen *Spirulina*, immünomodülatör, antibakteriyel, antidiyabetik, antioksidan, antiviral, antiinflamatuvar, antikanser, antihipertansif ve antioksidan etkileri ile insan sağlığı üzerinde önemli role sahiptir [26], [28], [34]. Hüresel antioksidan enzimleri aktive etmesinin yanı sıra, serbest radikalleri temizleme, lipit peroksidasyonunu ve DNA hasarını önleme gibi işlevlere de sahiptir [22]. Vücut yağını, iştahı ve vücut kitle indeksini azaltmaya yardımcı olmakta ve kan lipitlerini iyileştirmektedir [18]. Antikor üretimini de uyardığı bilinen *Spirulina*, antiinflamatuvar ve immünomodülatör yanıtları indüklemek için sitokin kodlayan genlerin ekspresyonunu düzenleyebilmektedir [22]. Patojenik bakterilere, koronavirüs gibi RNA virüslerine ve mantarlara karşı vücudun bağışıklığını arttıran *Spirulina*'nın cilt sağlığına da iyi geldiği belirtilmektedir [33]. Fikosiyaninler, polisakkaritler ve fenoller gibi fonksiyonel bileşikler içermesi ve nutrasötik gıda takviyesi olarak da kullanılmasının yanı sıra, yaşlılık, sinir sistemi, nörolojik ve nörodejeneratif hastalıklarda nöroprotektif etkiye sahip olduğu bilinmektedir [24]. Hayvanlar üzerinde yapılan çalışmalarda, oksidatif stres kaynaklı semptomları iyileştirdiği, tümörü baskıladığı, toksisiteyi azalttığı ve bağışıklığı güçlendirdiği gözlemlenmiştir [32]. Alzheimer ve Parkinson hastalığının önlenmesine de etkisi bulunan *Spirulina*, doğal ilaç olarak kabul edilmektedir [24].

III. CHLORELLA VE SAĞLIK ETKİLERİ

Chlorella, hem tatlı hem de deniz suyunda bulunan tek hücreli yeşil bir mikroalg türüdür [35]-[36]. Belirli bir morfolojik özelliği olmayan *Chlorella*'nın sınıflandırılması, hücre duvarının glukoz ve

mannoz bileşimine bağlıdır [37]. Yüksek fotosentez yapan ve ökaryotik olan *Chlorella* spp., *Chlorophyta*, *Chlorellales*, *Trebouxiophyceae* ve *Chlorellaceae* olarak sınıflandırılmaktadır [37], [39]. *Chlorophyta* sınıfına ait, *Chlorella vulgaris*, *Chlorella kessleri*, *Chlorella sorokiniana* ve *Chlorella lobophora* olmak üzere dört türünün olduğu belirtilmiştir [36], [37]. *Chlorella*, yüksek ışınım toleransına sahiptir ve 3-30 °C aralığındaki sıcaklıklara uyum sağlayabilmektedir. Aynı zamanda, tatlı ve tuzlu suya ek olarak alkali ortamlarda, göletlerde, toprakta, kaplıcalarda ve kutuplarda planktonik formda bulunabilmektedir [39], [40]. Küresel şekle sahip olan bu mikroalg, 2-10 µm aralığında değişen çapa sahiptir [38], [39]. Aynı zamanda, kitin ve selülozdan oluşan, sindirilemeyen, katı ve kalın (100-200 nm) bir hücre duvarına sahiptir [38], [41]. Hücre duvarının yapısından dolayı, *Chlorella*'nın hasat edildikten sonra hücre duvarının kırılması ve işlenmesi gerekmektedir [41]. *Chlorella*'nın proteinler, karbonhidratlar, lipitler, mineraller, vitaminler ve pigmentlerden oluşan biyokütlenin eldesinde, karbondioksiti serbest oksijene dönüştüren, güneş ışığına dayalı fabrikalar olduğu düşünülmektedir [37], [40]. Hızlı ekim, kolayca kültürlenebilme ve yüksek biyokütle gibi ekonomik değerlere sahip olan *Chlorella* spp. sağlıklı, besleyici ve fonksiyonel özellikleri ile ilgi görmekte; gıda, ilaç, kozmetik ve tıp alanlarında kullanılmaktadır [35], [36], [38], [42]-[43]. Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) tarafından ise "yeşil sağlıklı gıda" olarak adlandırılan *Chlorella*, Amerika Birleşik Devletleri, Doğu Asya ve Avrupa'da her yıl tonlarca üretilmektedir [36]. Gıda ve İlaç Dairesi (FDA) tarafından uygun hijyen ve iyi üretim süreci ile yetiştirilip insan tüketimi için güvenli hale gelen *Chlorella*, GRAS sertifikasına sahiptir. Aynı zamanda, insan vücuduna günlük 3-10 gram aralığında alınmasının olumlu sağlık etkileri olduğu belirtilmiştir [38].

Chlorella spp. temel besin maddelerine sahip olduğu ve yüksek miktarda protein içerdiği için potansiyel bir gıda kaynağıdır [40]. %0.4 lif, % 1-4 klorofil, %4-5 nükleik asit, %9-18 diyet lifi, %12-17 karbonhidrat, %14-22 lipit ve %51-58 aralığında değişen protein içeriğine sahiptir [35], [38]. *Chlorella* spp.'nin kuru ağırlığı ise yaklaşık %38 protein, %24.3 kül ve %5.1 yağ içermektedir [44]. Protein içeriği, heterotrof organizmalar için gerekli tüm amino asitleri barındırmaktadır [35]. Protein içeriğinin %60'ı amino asitlerden oluşan *Chlorella*, insan vücudu tarafından doğrudan emilebilmektedir [38]. Temel amino asit bileşimi ise, %2-2.4 histidin, %2.2 metionin, %3.8-6.7 izolösin, %4.7-4.8 treonin, %5 fenilalanin, %5.5-6.1 valin ve %8.8-9.2 aralığında lösenden oluşmaktadır [45]. Aynı zamanda, magnezyum, demir, çinko, kalsiyum ve potasyum gibi eser elementler bakımından zengin olan *Chlorella*, yüksek miktarda folat ve B₁₂ vitaminini de içermektedir [41], [46]. %13-19 aralığında değişen, galaktoz, arabinoz, ksiloz, fukoz, glukoz, mannoz ve ramnoz gibi şekerlerden oluşan, suda çözünür polisakkarit içeriğine sahiptir [38]. Omega-3 ve omega-6 yağ asitleri gibi antioksidan etki gösteren birçok metaboliti üretmekte ve %5.5 klorofil ile %0.5 karotenoid olmak üzere önemli pigmentleri yapısında barındırmaktadır [38], [47]. Karotenoid bileşimi *Chlorella* türlerine göre değişebilmektedir [38]. Yaygın bulunan karotenoidler arasında, zeaksantin, violaksantin, neoksantin, kantaksantin, astaksantin, lutein, α-karoten ve β-karoten yer almaktadır [37], [38]. Ek olarak, çoklu doymamış yağ asitleri (ÇDYA), askorbik asit, β-1,3-glukan, α-tokoferol ve fenolik bileşikler gibi doğal bileşikler içermektedir [35], [38], [40]. *Chlorella*, türlerine göre değişmekle birlikte, ferulik asit, p-kumarik asit, kafeik asit, floroglusinol, apigenin ve sinnamik asit gibi fenolik bileşiklerin de kaynağıdır [38].

Yüksek besin içeriğine ve biyoaktif bileşenlere sahip olan *Chlorella*, antioksidan, antiinflamatuvar, antitümör, antimikrobiyal, immünomodülasyon ve nöroproteksiyon gibi etkilere sahiptir [36], [38]. Yapısında bulunan pigmentler ile kolesterolü düzenleyici, kardiyovasküler hastalıklardan koruyucu, retina dejenerasyonuna karşı koruyucu ve bağışıklık sistemini güçlendirici etkileri olduğu bilinmektedir [37]. Yüksek kan basıncını ve hipertansiyonu önemli ölçüde azaltan *Chlorella*, bileşimindeki omega-3 yağ asitleri ile kanser hastalıkları ve nörolojik problemler üzerine de olumlu etki göstermektedir [42], [48], [49]. İçeriğindeki lutein ile, katarakt önleyici özellikler göstermekte ve yaraların iyileşmesini hızlandırmaktadır [35]. Anemi, kabızlık, mide ülseri ve alerjik reaksiyonları azaltan *Chlorella*, serbest radikalleri de temizlemektedir [35], [36], [41]. Düşük toksisiteye sahip olmasının yanı sıra, DNA hasarını indüklemekte, kolorektal ve karaciğer kanser hücreleri üzerinde antiproliferatif etki göstermektedir [38], [46].

IV. GIDA ENDÜSTRİSİNDE *Spirulina* spp. ve *Chlorella* spp.'NİN KULLANIMI

Dünya nüfusunun artmasıyla birlikte gıda endüstrisinde doğal, sürdürülebilir ürünlere ve alternatif kaynaklara olan talep gün geçtikçe artmaktadır [27]. Bu talebi karşılamak için zengin besin içeriği, antioksidan aktivitesi ve sağlık açısından olumlu etkileri olan mikroalgler potansiyel bir bileşen olarak görülmektedir [27]-[28], [50]. Fonksiyonel gıdaların geliştirilmesinde kullanılma potansiyeli olan mikroalgler ile zenginleştirilmiş makarna, un, kurabiye gibi çeşitli ürünler mevcuttur [21], [50]. Aşağıdaki kısımda mikroalglerden olan *Spirulina* spp. ve *Chlorella* spp. ile zenginleştirilmiş, son yıllarda yapılan gıda alanındaki çalışmalardan bazılarını kısaca değinilmiştir.

Sadeghi vd. [51] tarafından yapılan çalışmada, farklı konsantrasyonlarda (%0.05, %0.125 ve %0.25 g/g) *Spirulina platensis* ilave edilerek sporcu içeceği hazırlanmıştır. *Spirulina* biyokütlesi su, etanol ve etanollü su ile ekstrakte edilerek formülasyona dahil edilmiştir. 4°C'de 20 günlük depolamadan sonra, ürünün askorbik asit, toplam şeker gibi kimyasal özellikleri ve antioksidan aktiviteleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, toplam şekerin en düşük olduğu örnek kontrol numunesi iken, en yüksek olduğu örnek %0.25 ekstrakt içeren numune olmuştur. 21 günlük depolamadan sonra, numunelerde etanol, su ve etanollü su ile ekstrakte edilen ve %0.25 ekstrakt içeren numunelerde toplam şekerin sırasıyla %40, %27.25 ve %38 oranlarında azaldığı görülmüştür. Kontrol numunelerine kıyasla, zenginleştirilmiş ürünlerde askorbik asit içeriğinin önemli ölçüde yüksek olduğu belirtilmiştir. En yüksek askorbik asit içeriği %0.25 ekstrakt içeren spor içeceklerinde elde edilmiş ve depolama süresinde 1.3 mg/100 ml'ye kadar azaldığı gözlemlenmiştir. Zenginleştirilmiş ürünlerin antioksidan aktivitesi artmıştır. 21 günlük depolamadan sonra, numunelerde etanol, su ve etanollü su ile ekstrakte edilen ve %0.05 ekstrakt içeren numunelerde sırasıyla %18.31, %23.33 ve %22.11 olacak şekilde DPPH radikal süpürme etkisi olduğu belirtilmiştir. Sonuç olarak, sporcu içeceklerinin *Spirulina* ekstraktı ile zenginleştirilmesinin antioksidan aktiviteyi ve besin değerini önemli ölçüde artırdığı, *Spirulina*'nın iyi bir biyoaktif bileşik kaynağı olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

Shobha vd. [52] yaptıkları çalışmada, *Spirulina* tozu ile zenginleştirilmiş ve Glutensiz Kaliteli Protein Mısır (QPM) içeren makarnanın formülasyonunu standart hale getirmek için besin değerini, fiziksel özelliklerini ve pişirme özelliklerini değerlendirmeyi amaçlamışlardır. QPM makarnası, %50, %60, %70 ve %80 QPM unu, siyah mercimek unu, yağı alınmış soya unu, guar zamkı ve %2, %4, %6, %8 ve %10 oranlarında *Spirulina* eklenerek standardize edilmiştir. Makarna için en iyi kombinasyon, %60 QPM unu, %30 siyah mercimek unu, %6 *Spirulina*, %2 yağı alınmış soya unu, %2 guar zamkı olarak kabul edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, zenginleştirilmiş glutensiz makarnanın şişme indeksi 1.3 g/g, yığın yoğunluğu 0.54 kg/m³ ve pişmiş ağırlığı 11 g olarak elde edilmiştir. Aynı zamanda, besin içeriğinde, %44 mg kalsiyum, %21.6 protein, %8.6 mg demir, 100 g proteinde 3.1 g lisin ve 0.81 g triptofan olduğu belirtilmiştir. Ek olarak, *Spirulina* ilavesi, karotenoid içeriğinin 16 kat artmasına neden olmuştur. *Spirulina* tozu ve zenginleştirilmiş QPM'den oluşan glutensiz makarna formülasyonun, gluten intoleransı olan her yaşta insana uygun olduğu belirtilmiştir.

Farklı konsantrasyonlarda *Spirulina platensis* tozu (SPP) ve süt proteini konsantrasyonu (MPC) ilave edilerek, biyoaktif bileşik açısından zenginleştirilmiş yoğurt üretmek ve yoğurdun mikrobiyolojik, fizikokimyasal ve fonksiyonel özelliklerini araştırmak Mesbah vd. [53] tarafından amaçlanmıştır. Yapılan çalışmada, kontrol grubu T1 yağsız süt tozu (%2 SMP), T2 (%0.5 SPP+%1.5 MPC), T3 (%1 SPP+%1 MPC) ve T4 (%1.5 SPP+%0.5 MPC) olmak üzere dört farklı formülasyon birbirleriyle karşılaştırılmıştır. *Spirulina* tozunun bileşimi incelendiğinde, %62.40 protein, %7.12 yağ, 840.60 mg GAE/100 g toplam fenolik madde, 482.50 mg RE/100 g karotenoid, 680.60 mg/100 g flavonoid ve 1244 mg/100 g klorofil pigmenti içerdiği tespit edilmiştir. *Spirulina* tozunun pH değeri ise 6.29 olarak ölçülmüştür. Yapılan analizler sonucunda protein miktarı, kontrol numunesinde %3.92, T2 için ise %4.62 olarak belirlenmiştir. En yüksek antioksidan değerleri T4 örneğinde, DPPH ile %57.25 ve ABTS ile %51.14 olacak şekilde elde edilmiştir. Mikrobiyal analiz sonuçları incelendiğinde ise, en yüksek laktik asit bakteri değerlerinin T4 numunesinde elde edildiği ve 10.12^{log10} olduğu görülmüştür.

Numuneler duyuşal olarak değerlendirildiğinde ise, %1 SPP ve %1 MPC içeren T3 numunesinin daha kabul edilebilir olduğu belirtilmiştir.

Atik vd. [54] yaptıkları çalışmada, farklı oranlarda (%0, %0.25 ve %0.50) *Spirulina platensis* ile zenginleştirilmiş, soya ve badem sütünden vegan kefir üretmeyi amaçlamışlardır. Zenginleştirilmiş vegan kefir örneklerinin fizikokimyasal özellikleri ve antioksidan aktiviteleeri incelenmiştir. Yapılan analizler sonucunda, *Spirulina platensis* konsantrasyonu arttıa, laktobasillerin ve laktokokların sayısı artmıştır. En yüksek laktokok sayılarının %0.50 *Spirulina platensis* ile zenginleştirilmiş soya sütü örneklerinde bulunduğu belirtilmiştir. Toplam fenolik içeriğinin, badem sütü kontrol numunesinde en düşük (6.09 mg GAE/kg), %0.50 *Spirulina platensis* tozu ile zenginleştirilmiş soya sütünde ise en yüksek (112.76 mg GAE/kg) olduğu grlmştir. Aynı zamanda *Spirulina platensis* ilavesinin kontrol grubuna kıyasla tüm numunelerde toplam fenolik içeriğini önemli ölçüde arttırdığı belirtilmiştir. 21 günlük soğuk depolama sırasında su tutma kapasitelerinin badem sütü kefir örneklerinde %13.35 ile %22 arasında, soya sütü kefir örneklerinde ise %15.30 ile %21.85 arasında değiştiği grlmştir. Sonuç olarak, *Spirulina platensis*'in, vegan ürünlerin biyoaktif ve besleyici özelliklerini geliştirmek için gıda takviyesi olarak kullanılabileceği düşünülmektedir.

Almeida vd. [55] tarafından yapılan çalışmada, farklı oranlarda (%0, %2, %3 ve %4) *Spirulina* spp. biyokütlesini ile zenginleştirilmiş fonksiyonel bir sos geliştirmek ve 45 günlük depolama boyunca duyuşal, fizikokimyasal, mikrobiyolojik özelliklerini ve antioksidan aktiviteleerini değerlendirmek amaçlanmıştır. Konsantrasyonlar arasında en iyi özellikleri gösteren, %4 *Spirulina* spp. biyokütlesini içeren formülasyonun kontrole kıyasla önemli ölçüde artan tekli doymamış yağ asidi (%240), mineral (%192), lif (%57), kül (%40) ve protein (%34) içeriğine sahip olduğu grlmştir. Antioksidan aktivite 12 kat, fenolik içerik ise 2 kat artmıştır. Aynı zamanda, 45 günlük depolamadan önce ve sonra yapılan mikrobiyolojik analizlerde *Salmonella* sp., maya, küf, koagülaz pozitif *Staphylococcus* ve koliform görülmemiştir. Kontrol grubuna göre daha iyi özellikler sunan zenginleştirilmiş sosun, işlenmiş gıdaları tüketen insanların aldıkları besin değerini iyileştirmek için uygun bir seçenek olabileceği düşünülmektedir.

Garzon vd. [56] yaptıkları çalışmada, hamur asitliği ve mikroalg düzeyinin, ekmek kalitesi ve ekmeğin antioksidan özellikleri üzerine etkisini araştırmışlardır. Kabul edilebilir ekmek kalitesini korumak ve kullanılabilecek maksimum *Chlorella vulgaris* tozu miktarını belirlemek için farklı konsantrasyonlarda (%1, %2 ve %3) mikroalg formülasyona dahil edilmiştir. Ekmekler, ekmek mayası ile hazırlanan referans ekmek hamurları, ekşi hamur içeren ekmek hamurları ve farklı oranlarda mikroalg tozu içeren kimyasal olarak asitlendirilmiş ekmek hamurları olarak hazırlanmıştır. Yapılan analizler sonucunda, %3'e kadar *Chlorella vulgaris* ile zenginleştirilen ekmeklerde, kontrol ekmeğine kıyasla daha düşük dilim alanı, yoğun yeşil renk tonu ve daha yüksek kırıntı sertliği olduğu karakterize edilmiştir. Aynı zamanda, hamur asitlenmesi ekmeklerin daha yumuşak olmasına ve *Chlorella vulgaris* ile zenginleştirilen ekmeklerin antioksidan kapasitesinin artmasına neden olmuştur. %2 ve %3 oranında *Chlorella vulgaris* içeren ekmeklerde toplam fenolik içeriğinin önemli ölçüde arttığı grlmştir. Aynı zamanda, hamur tipi ise toplam fenolik içeriğini, asitlendirilmiş hamur > ekşi hamur > referans hamur olacak şekilde etkilemiştir. Ek olarak, *Chlorella vulgaris* ile zenginleştirilmiş ekmeklerin kül ve protein içeriklerinin arttığı, ekşi hamurlarla yapılan veya kimyasal olarak asitlendirilmiş, mikroalg ile zenginleştirilmiş ekmeklerin daha yüksek toplam fenolik içeriğe ve antioksidan aktiviteye sahip olduğu belirtilmiştir. Sonuç olarak, *Chlorella vulgaris*'in sağlığa faydalı etkileri bulunduğu ve kimyasal olarak veya ekşi maya ile hazırlanan hamurlarla yapılan ekmeklerde kullanılması uygun grlmştir.

Sentetik boyalar yerine *Chlorella sorokiniana* biyokütlesini ile zenginleştirilen makarna formülasyonunu geliştirmek ve kalite parametreleerini incelemek Bazarnova vd. [57] tarafından amaçlanmıştır. Zenginleştirilmiş rn lipit, protein, karotenoid ve klorofil içeriği bakımından incelenmiştir. *Chlorella sorokiniana* un karışımının %5'ini oluşturacak şekilde bir fito katkı maddesi olarak formülasyona dahil edilmiştir. %5'ten fazla miktarda mikroalg eklenmesi ile makarnada balık aromasının gözlemlendiği belirtilmiştir. %5 *Chlorella sorokiniana* ikamesini ile protein içeriğinde yaklaşık %15.7, lipit içeriğinde ise yaklaşık %4.1 artış olduğu grlmştir. Ek olarak, mikroalg ile zenginleştirilmiş makarnanın klorofil içeriği (52.1 g/100 g) ve karotenoid içeriği (3.5 g/100 g) artmıştır. Sonuç olarak, yeşil

mikroalglerin un ürünlerine dahil edilmesi, sentetik katkı maddeleri kullanılmadan da doğal bir ürünle renklendirmenin yapılabileceği belirtilmiştir.

Ziaziabari ve Fadaei [58] tarafından yapılan çalışmada, yumurta yerine farklı oranlarda (%0, %1, %2.5 ve %4) *Chlorella protothecoides*'in krem karamel formülasyonuna dahil edilmesinin ürünün besin içeriğine olan etkileri incelenmiştir. %4 *Chlorella protothecoides* içeren krem karamel numunesinin, maksimum karotenoid, protein, kalsiyum, fosfor, D ve E vitamini içerdiği belirtilmiştir. Aynı zamanda bu numunenin, minimum şeker ve maksimum linoleik, linolenik ve oleik yağ asitlerine sahip olduğu görülmüştür. Diğer numunelere göre daha yüksek genel kabul edilebilirliğe sahip olan %4 mikroalg içeren numunede maksimum viskozite elde edilmiştir. Ek olarak, *Chlorella protothecoides* içeriğinin %2.5'ten %4'e yükselmesi ile krem karamel tatlısındaki protein içeriğinin %1.76 arttığı belirtilmiştir.

Tian vd. [59]'nın yaptıkları çalışmada, buğday unu ve farklı oranlarda (%0.5, %1, %1.5, %2, %2.5 ve %3) *Chlorella pyrenoidosa* tozu ilave edilen hamurun temel bileşenleri, kalite parametreleri, fermantasyon özellikleri ve reolojik özellikleri incelenmiştir. Yapılan analizler sonucunda, buğday unu ve *Chlorella pyrenoidosa* tozu kullanılarak hazırlanan hamur renklerinin belirgin ve çekici bir yeşil tonuna sahip olduğu belirtilmiştir. Farklı oranlarda *C. pyrenoidosa* tozuna sahip bütün örneklerin, kontrol örneğine kıyasla protein içeriklerinin önemli ölçüde arttığı gözlemlenmiştir. Aynı zamanda, %1'den fazla *Chlorella* tozu kullanımının, diğer unlara kıyasla kül içeriğini önemli ölçüde arttırdığı görülmüştür. Formülasyona ilave edilen *C. pyrenoidosa* tozunun artmasıyla birlikte gluten indeksi ve hamurun esnekliği azalmıştır. %1 *Chlorella pyrenoidosa* tozu ilavesinin hamur fermentasyon özellikleri için nispeten uygun olduğu ve gluten ağının güçlendiği, diğer formülasyonlara göre daha düşük mukavemetli ve daha uzayabilme kabiliyetine sahip hamur elde edildiği belirtilmiştir. *Chlorella pyrenoidosa* tozunun, bisküvi ve erişte gibi unlu mamüllerde kullanılabileceği düşünülmektedir.

Tohamy vd. [60] yaptıkları çalışmada *Chlorella vulgaris*'in, işlenmiş peynir karışımlarında besleyici ve sağlıklı bir takviye olarak kullanılabilirliğini araştırmışlardır. İşlenmiş peynir karışımlarına, Ras peyniri, olgun kaşar peyniri, yağsız süt tozu, tereyağı, emülsifiye tuzlar (K-2394, S9S ve S4) ve *Chlorella vulgaris* (dondurularak kurutulmuş ve bulamaç olmak üzere iki farklı formda) formülasyona dahil edilmiştir. Peynir karışımları, %2, %4 ve %6 oranlarında dondurularak kurutulmuş *Chlorella vulgaris* tozu ve %4 oranında *Chlorella vulgaris* bulamacı ile zenginleştirilmiştir. Zenginleştirilen ürünlere, kimyasal, duyuşal ve reolojik analizler yapılmıştır. Mikroalg ile zenginleştirilmiş peynirler duyuşal olarak incelendiğinde, %2 *Chlorella vulgaris* ilavesinin en iyi sonucu verdiği, ardından %4 ilavesinin geldiği, fakat %6 oranında ilave edilmesinin tüketiciler tarafından kabul edilmediği belirtilmiştir. *Chlorella vulgaris* ile zenginleştirilen peynirlerin, selenyum, demir, potasyum, çinko ve magnezyum içeriklerinin ve antioksidan aktivitenin kontrol örneğine göre arttığı görülmüştür. Emülsifiye edici tuzlar karşılaştırıldığında, hem S9S hem de S4'ün kullanılabilir olduğu ve S4'ün eritilebilirlik ve yağlama bakımından en iyi sonuçları verildiği belirtilmiştir. Ek olarak, *Chlorella vulgaris* bulamaç halinde kullanıldığında, peynir karışımlarının granüler dokusunun tamamen kaybolduğu gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, %2'lik kurutulmuş toz *Chlorella vulgaris* ile %4'lük bulamaç formundaki *Chlorella vulgaris*'in işlenmiş peynir formülasyonuna dahil edilebileceği uygun görülmüş ve S4 emülsifiye tuzlarının peynir üretiminde kullanılabileceği belirtilmiştir.

V. SONUÇ

Dünyada yaşayan en yaygın fotosentetik organizmalardan olan algler, morfolojisi ve boyutu açısından oldukça değişkendir. İyi gelişmiş bir çekirdeğe, klorofil ve diğer pigmentleri içeren bir kloroplasta, hücre duvarına ve bir kamçıya sahip olan algler, mikroalgler ve makroalgler olarak ikiye ayrılmaktadır. Proteinler, lipitler, karbonhidratlar ve polifenoller gibi değerli besin içeriğine sahip olan alglerin protein içeriği, buğday, fasulye ve pirinç gibi diğer bitki kaynaklarından üstündür. Antiinflamatuvar, prebiyotik, antidiyabetik, antibakteriyel, antioksidan ve antikanser gibi sağlığa faydalı birçok etkisi bulunan algler, doğa dostu ve uygun maliyetli olduğu için kozmetik, ilaç, sağlık ve gıda gibi birçok endüstride kullanılmaktadır. Gıda endüstrisinde, sütlü tatlılarda, yoğurttta, peynirde, fermente ürünlerde ve diğer işlenmiş gıdalarda kullanılabilmektedir. Mikroalglerden olan, *Spirulina* spp. ve *Chlorella* spp. ile

zenginleştirilmiş gıda alanındaki çalışmalar incelendiğinde, protein, vitamin ve mineral gibi besin içeriklerinin, toplam fenolik maddenin ve pigmentlerin arttığı gözlemlenmiştir. Zenginleştirilecek gıda için uygun formülasyonun optimize edilmesi, besin içeriği bakımından ve duyuşal açıdan kabul edilebilir ürünler oluşturulması için daha fazla çalışma yapılması gerektiği düşünölmektedir.

VI. KAYNAKLAR

- [1] A. Sasa, F. Şentürk, Y. Üstündağ ve F. Erem, “Alglerin gıda veya gıda bileşeni olarak kullanımı ve sağlık üzerine etkileri,” *International Journal of Engineering, Design and Technology*, c. 2, s. 2, ss. 97-110, 2020.
- [2] A. K. Koyande, K. W. Chew, K. Rambabu, Y. Tao, D. T. Chu and P. L. Show, “Microalgae: a potential alternative to health supplementation for humans,” *Food Science and Human Wellness*, vol. 8, no. 1, pp. 16-24, 2019.
- [3] Y. Torres-Tiji, F. J. Fields and S. P. Mayfield, “Microalgae as a future food source,” *Biotechnology advances*, vol. 41, pp. 107536, 2020.
- [4] A. Ü. Alçay, K. Bostan, E. Dinçel ve C. Varlık, “Alglerin insan gıdası olarak kullanımı,” *Aydın Gastronomy*, c. 1, s. 1, ss. 47-59, 2017.
- [5] N. Sharma and P. Sharma, “Industrial and biotechnological applications of algae: a review,” *Journal of Advances in plant biology*, vol. 1, no. 1, 2017.
- [6] Z. Nale, “Yenilikçi gıda ürünlerinin geliştirilmesinde alternatif bir kaynak: mikroalgler,” *Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, c. 4, s. 1, ss. 80-90, 2021.
- [7] M. B. Ariede, T. M. Candido, A. L. M. Jacome, M. V. R. Velasco, J. C. M. de Carvalho and A. R. Baby, “Cosmetic attributes of algae-a review,” *Algal research*, vol. 25, pp. 483-487, 2017.
- [8] S. Ścieszka and E. Klewicka, “Algae in food: a general review,” *Critical reviews in food science and nutrition*, vol. 59, no. 21, pp. 3538-3547, 2019.
- [9] S. Uzuner ve A. Haznedar, “Fonksiyonel gıda için sağlıklı takviye: mikroalgler,” *Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, c. 5, s. 2, ss. 212-226, 2020.
- [10] E. Jacob-Lopes, M. M. Maroneze, M. C. Deprá, R. B. Sartori, R. R. Dias and L. Q. Zepka, “Bioactive food compounds from microalgae: an innovative framework on industrial biorefineries,” *Current Opinion in Food Science*, vol. 25, pp. 1-7, 2019.
- [11] M. Øverland, L. T. Mydland and A. Skrede, “Marine macroalgae as sources of protein and bioactive compounds in feed for monogastric animals,” *Journal of the Science of Food and Agriculture*, vol. 99, no. 1, pp. 13-24, 2018.
- [12] A. Villarruel-López, F. Ascencio and K. Nuño, “Microalgae, a potential natural functional food source—a review,” *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, vol. 67, no. 4, pp. 251-263, 2017.
- [13] R. Dineshkumar, R. Narendran, P. Jayasingam and P. Sampathkumar, “Cultivation and chemical composition of microalgae *Chlorella vulgaris* and its antibacterial activity against human pathogens,” *Journal of Aquaculture & Marine Biology*, vol. 5, no. 3, pp. 00119, 2017.
- [14] A. Niccolai, G. C. Zittelli, L. Rodolfi, N. Biondi and M. R. Tredici, “Microalgae of interest as food source: biochemical composition and digestibility,” *Algal Research*, vol. 42, pp. 101617, 2019.

- [15] J. A. Ragaza, M. S. Hossain, K. A. Meiler, S. F. Velasquez and V. Kumar, "A review on Spirulina: alternative media for cultivation and nutritive value as an aquafeed," *Reviews in Aquaculture*, vol. 12, no. 4, pp. 2371-2395, 2020.
- [16] S. Grosshagauer, K. Kraemer and V. Somoza, "The true value of Spirulina," *Journal of agricultural and food chemistry*, vol. 68, no. 14, pp. 4109-4115, 2020.
- [17] R. A. Soni, K. Sudhakar and R. S. Rana, "Spirulina—from growth to nutritional product: a review," *Trends in food science & technology*, vol. 69, pp. 157-171, 2017.
- [18] J. J. DiNicolantonio, A. G. Bhat and J. O'Keefe, "Effects of spirulina on weight loss and blood lipids: a review," *Open heart*, vol. 7, no. 1, pp. e001003, 2020.
- [19] D. Wan, Q. Wu and K. Kuča, *Nutraceuticals*, R. C. Gupta ed., Boston: Academic Press, 2016, ch. 42, pp. 569-583.
- [20] F. Matufi and A. Choopani, "Spirulina, food of past, present and future," *Health Biotechnology and Biopharma*, vol. 3, no. 4, pp. 1-20, 2020.
- [21] T. Lafarga, J. M. Fernández-Sevilla, C. González-López and F. G. Acién-Fernández, "Spirulina for the food and functional food industries," *Food Research International*, vol. 137, pp. 109356, 2020.
- [22] Q. Wu, L. Liu, A. Miron, B. Klímová, D. Wan and K. Kuča, "The antioxidant, immunomodulatory, and anti-inflammatory activities of Spirulina: an overview," *Archives of toxicology*, vol. 90, no. 8, pp. 1817-1840, 2016.
- [23] T. Lafarga, A. Sánchez-Zurano, S. Villaró, A. Morillas-España and G. Acién, "Industrial production of spirulina as a protein source for bioactive peptide generation," *Trends in Food Science & Technology*, vol. 116, pp. 176-185, 2021.
- [24] T. Trotta, C. Porro, A. Cianciulli and M. A. Panaro, "Beneficial effects of spirulina consumption on brain health," *Nutrients*, vol. 14, no. 3, pp. 676, 2022.
- [25] A. Finamore, M. Palmery, S. Bensehaila and I. Peluso, "Antioxidant, immunomodulating, and microbial-modulating activities of the sustainable and ecofriendly spirulina," *Oxidative medicine and cellular longevity*, 2017.
- [26] J. Reboleira, R. Freitas, S. Pinteus, J. Silva, C. Alves, R. Pedrosa and S. Bernardino, *Nonvitamin and nonmineral nutritional supplements*, S. M. Nabavi and A. S. Silva ed., India: Academic Press, 2019, ch. 3.39, pp. 409-413.
- [27] D. P. Jaeschke, I. R. Teixeira, L. D. F. Marczak and G. D. Mercali, "Phycocyanin from Spirulina: a review of extraction methods and stability," *Food Research International*, vol. 143, pp. 110314, 2021.
- [28] F. Jung, A. Krüger-Genge, P. Waldeck and J. H. Küpper, "Spirulina platensis, a super food?," *Journal of Cellular Biotechnology*, vol. 5, no. 1, pp. 43-54, 2019.
- [29] J. A. V. Costa, B. C. B. Freitas, G. M. Rosa, L. Moraes, M. G. Morais and B. G. Mitchell, "Operational and economic aspects of Spirulina-based biorefinery," *Bioresource technology*, vol. 292, pp. 121946, 2019.
- [30] S. Ötleş and R. Pire, "Fatty acid composition of Chlorella and Spirulina microalgae species," *Journal of AOAC international*, vol. 84, no. 6, pp. 1708-1714, 2001.

- [31] W. Shao, R. Ebaid, M. El-Sheekh, A. Abomohra and H. Eladel, "Pharmaceutical applications and consequent environmental impacts of Spirulina (Arthrospira): an overview," *Grasas y Aceites*, vol. 70, no. 1, pp. e292, 2019.
- [32] P. Han, J. Li, H. Zhong, J. Xie, P. Zhang, Q. Lu, ... and W. Zhou, "Anti-oxidation properties and therapeutic potentials of spirulina," *Algal Research*, vol. 55, pp. 102240, 2021.
- [33] I. Ragusa, G. N. Nardone, S. Zanatta, W. Bertin and E. Amadio, "Spirulina for skin care: a bright blue future," *Cosmetics*, vol. 8, no. 1, pp. 7, 2021.
- [34] S. Hu, X. Fan, P. Qi and X. Zhang, "Identification of anti-diabetes peptides from Spirulina platensis," *Journal of functional foods*, vol. 56, pp. 333-341, 2019.
- [35] J. Matos, C. Cardoso, N. M. Bandarra and C. Afonso, "Microalgae as healthy ingredients for functional food: a review," *Food & function*, vol. 8, no. 8, pp. 2672-2685, 2017.
- [36] Q. Yuan, H. Li, Z. Wei, K. Lv, C. Gao, Y. Liu and L. Zhao, "Isolation, structures and biological activities of polysaccharides from Chlorella: a review," *International Journal of Biological Macromolecules*, vol. 163, pp. 2199-2209, 2020.
- [37] I. A. Ibrahim and Z. I. Elbaily, "A review: importance of chlorella and different applications," *Alexandria Journal for Veterinary Sciences*, vol. 65, no. 1, pp. 16-34, 2020.
- [38] D. Widyaningrum and A. D. Prianto, "Chlorella as a source of functional food ingredients: short review," *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 794, no. 1, pp. 012148, 2021.
- [39] W. Q. C. Lung, H. Y. Yeh, S. J. Yang, C. Y. Huang, F. H. Nan and M. C. Lee, "Delayed signs of UV-C damage to Chlorella sp. observed through fluorescent staining," *Diversity*, vol. 14, no. 5, pp. 376, 2022.
- [40] T. Dahril, A. Mulyadi and Eddiwan, "The growth, production and chemical compounds of Chlorella sp. in various concentrations of palm oil wastewater in laboratory culture media," *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 749, no. 1, pp. 012004, 2021.
- [41] G. Tang and P. M. Suter, "Vitamin A, nutrition, and health values of algae: Spirulina, Chlorella, and Dunaliella," *Journal of Pharmacy and Nutrition Sciences*, vol. 1, no. 2, pp. 111-118, 2011.
- [42] R. Ahmad Raus, N. S. Adzahar, D. F. Basri, E. S. Latif and N. J. Sallehudin, "In vitro and in vivo cytotoxic effects of Chlorella against various types of cancer," *IJUM Medical Journal Malaysia*, vol. 20, no. 1, 2021.
- [43] G. Dragone, "Challenges and opportunities to increase economic feasibility and sustainability of mixotrophic cultivation of green microalgae of the genus Chlorella," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 160, pp. 112284, 2022.
- [44] I. B. Hismayasari, Ernawati, A. S. Abadi and A. W. Puspitasari, "The growth of Chlorella sp. with varying nutrient concentration," *Jurnal Airaha*, vol. 10, no. 02, pp. 295-301, 2021.
- [45] N. Hosseinkhani, J. I. McCauley and P. J. Ralph, "Key challenges for the commercial expansion of ingredients from algae into human food products," *Algal Research*, vol. 64, pp. 102696, 2022.
- [46] A. Dawczak-Dębicka, J. Kufel-Grabowska, M. Bartoszkiewicz, A. Perdyan and J. Jassem, "Complementary and alternative therapies in oncology," *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 19, no. 9, pp. 5071, 2022.

- [47] R. Rasheed, I. Saadaoui, T. Bounnit, M. Cherif, G. Al Ghazal and H. Al Jabri, "Sustainable food production and nutraceutical applications from Qatar desert *Chlorella* sp.(chlorophyceae)," *Animals*, vol. 10, no. 8, pp. 1413, 2020.
- [48] M. Shimada, T. Hasegawa, C. Nishimura, H. Kan, T. Kanno, T. Nakamura and T. Matsubayashi, "Anti-hypertensive effect of γ -aminobutyric acid (GABA)-rich *Chlorella* on high-normal blood pressure and borderline hypertension in placebo-controlled double blind study," *Clinical and Experimental Hypertension*, vol. 31, no. 4, pp. 342-354, 2009.
- [49] R. Sivaramakrishnan and A. Incharoensakdi, "Plant hormone induced enrichment of *Chlorella* sp. omega-3 fatty acids," *Biotechnology for biofuels*, vol. 13, no. 1, pp. 1-14, 2020.
- [50] M. Igual, Z. N. Uribe-Wandurraga, P. García-Segovia and J. Martínez-Monzó, "Microalgae-enriched breadsticks: analysis for vitamin C, carotenoids, and chlorophyll a," *Food Science and Technology International*, vol. 28, no. 1, pp. 26-31, 2021.
- [51] T. Sadeghi, M. M. Marvizadeh, F. Ebrahimi, S. Mafi, O. Foughani and A. M. Nafchi, "Assessment of nutritional and antioxidant activity of sport drink enriched with *Spirulina platensis*," *Journal of Chemical Health Risks*, vol. 12, no. 0, pp. 0-0, 2022.
- [52] U. K. Veena, D. Shobha, N. Joshi, M. B. Darshan and P. S. Benherlal, "Spirulina enriched gluten free quality protein maize (QPM) pasta as functional food," *Emirates Journal of Food and Agriculture*, vol. 34, no. 4, pp. 279-288, 2022.
- [53] E. E. Mesbah, A. A. Matar and A. A. K. Karam-Allah, "Functional properties of yoghurt fortified with *Spirulina platensis* and milk protein concentrate," *Journal of Food and Dairy Sciences*, vol. 13, no. 1, pp. 1-7, 2022.
- [54] D. S. Atik, B. Gürbüz, E. Bölük and İ. Palabıyık, "Development of vegan kefir fortified with *Spirulina platensis*," *Food Bioscience*, vol. 42, pp. 101050, 2021.
- [55] L. M. R. Almeida, L. F. da Silva Cruz, B. A. S. Machado, I. L. Nunes, J. A. V. Costa, E. de Souza Ferreira, ... and C. O. de Souza, "Effect of the addition of *Spirulina* sp. biomass on the development and characterization of functional food," *Algal Research*, vol. 58, pp. 102387, 2021.
- [56] R. Garzon, A. Skendi, M. A. Lazo-Velez, M. Papageorgiou and C. M. Rosell, "Interaction of dough acidity and microalga level on bread quality and antioxidant properties," *Food Chemistry*, vol. 344, pp. 128710, 2021.
- [57] J. Bazarnova, L. Nilova, E. Trukhina, M. Bernavskaya, Y. Smyatskaya and T. Aktar, "Use of microalgae biomass for fortification of food products from grain," *Foods*, vol. 10, no. 12, pp. 3018, 2021.
- [58] F. Ziabiabari and V. Fadaei, "Characterization of a traditional egg-free crême caramel dessert containing *Chlorella protothecoides*," *Journal of Food Biosciences and Technology*, vol. 12, no. 2, pp. 1-14, 2022.
- [59] S. Tian, F. Wang, M. Luo, F. Yan, D. Ke, H. Chen and S. Gao, "Effect of *Chlorella pyrenoidosa* powder on rheological properties and fermentation characteristics of dough," *Journal of Food Processing and Preservation*, vol. 46, no. 4, pp. e16446, 2022.
- [60] M. M. Tohamy, M. A. Ali, H. A. G. Shaaban, A. G. Mohamad and A. M. Hasanain, "Production of functional spreadable processed cheese using *Chlorella vulgaris*," *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, vol. 17, no. 4, pp. 347-358, 2018.