



**DÜZCE
ÜNİVERSİTESİ**

**BİLİM ve TEKNOLOJİ
DERGİSİ**

Düzce University
Journal of
Science & Technology

e-ISSN: 2148-2446

Cilt
Volume

10

Sayı
Issue

2

Nisan/April
2022

Düzce Üniversitesi
BİLİM ve TEKNOLOJİ DERGİSİ
DÜBİTED

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



Düzce University
JOURNAL of SCIENCE & TECHNOLOGY
DUBITED

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

Sahibi

Owner

Zafer AKBAŞ (Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü)

(D. Ü. Lisansüstü Eğitim Enstitüsü adına)

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

Editör

Editor

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

Yardımcı Editörler

Assistant Editors

Keziban GEGİN
Ufuk ÇİFCİ
Vesile YALÇIN
Gamze ÇOBAN
Özlem ÖZKAN ÖNÜR
Nisa KAPLAN
Ahmet AYTEĞİN
Alim ALTUNAY

Sorumlu Yazı İşleri Müdürü

Publishing Manager

Zafer AKBAŞ

Yayın Kurulu

Editorial Board

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

Fatih TAŞPINAR, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Fatih YILMAZ, Bayburt Üniversitesi, Türkiye
Fuat KARA, Düzce Üniversitesi, Türkiye
G. Alev ÖZKÖK, Hacettepe Üniversitesi, Türkiye
Hakan ARSLAN, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Harun BAYRAKDAR, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Hüseyin BUDAK, Düzce Üniversitesi, Türkiye
İrem DÜZDAR ARGUN, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Koray ŞARKAYA, Pamukkale Üniversitesi, Türkiye
Mecit AKSU, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Mehmet ŞİMŞEK, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Melike ERDOĞAN, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Mert YILDIRIM, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Metin TOZ, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi,
Türkiye
Mevlüt ERSOY, Süleyman Demirel Üniversitesi, Türkiye
Muhammet GÜL, Munzur Üniversitesi, Türkiye
Murat EYVAZ, Gebze Teknik Üniversitesi, Türkiye
Murat Kadir YEŞİLYURT, Bozok Üniversitesi,
Türkiye
Mustafa KARAGÖZ, Karabük Üniversitesi, Türkiye
Mustafa DAYI, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Nuray Benli YILDIZ, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Nuri ŞEN, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Pınar GÜLTEKİN, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Resul KARA, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Revna ACAR VURAL, Yıldız Teknik Üniversitesi, Türkiye
Salih Tunç KAYA, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Semih ÖZDEN, Milli Savunma Üniversitesi, Türkiye
Sercan SERİN, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi,
Türkiye
Serhat DUMAN, Bandırma Onyediy Eylül
Üniversitesi, Türkiye
Sinan TOKLU, Gazi Üniversitesi, Türkiye
Suat SARIDEMİR, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Şerife Gülsün KIRANKAYA, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Tikendra Nath VERMA, Maulana Azad National
Institute of Technology, Hindistan
Turgay BİRTÜRK, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Uğur GÜVENÇ, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Ümit AĞBULUT, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Ümit ERGUN, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Ümit YURT, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Yasin ŞALE, Gebze Teknik Üniversitesi, Türkiye
Yaşar Selman GÜLTEKİN, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Yusuf ALTUN, Düzce Üniversitesi, Türkiye

Ulusal Danışma Kurulu
National Advisory Board

Adem ACIR, Gazi Üniversitesi, Türkiye
Adem ÇİÇEK, Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Türkiye
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,
Portugual
Marwan BIKDASH, North Carolina A & T State

University, USA
Sadık ARTUNÇ, Mississippi State University, USA
Salim HIZIROĞLU, Oklahoma State University, USA
Thomas C. CULBRETH, North Carolina State
University, USA

Cilt <i>Volume</i>	10	Sayı <i>Issue</i>	2	Nisan / April 2022
------------------------------	-----------	-----------------------------	----------	-------------------------------------

Ürün Bilgisi

Product Information

Yayıncı <i>Publisher</i>	Düzce Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü <i>Düzce University Institute of Graduate Programs</i>
Sahibi <i>Owner</i>	Zafer AKBAŞ (Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü) (D. Ü. Lisansüstü Eğitim Enstitüsü adına) <i>(On behalf of D. U. Institute of Graduate Programs)</i>
Sorumlu Yazı İşleri Müdürü <i>Publishing Manager</i>	Zafer AKBAŞ
Web Sayfası <i>Web Page</i>	http://dergipark.org.tr/dubited
Basım Tarihi <i>Date of Publication</i>	Nisan 2022 <i>April 2022</i>
Yayın Dili <i>Language</i>	Türkçe / İngilizce <i>Turkish / English</i>
Yayın Aralığı <i>Frequency</i>	Yılda dört kez yayınlanır <i>Published four times in a year</i>
Yayın Türü <i>Type of Publication</i>	Sürelî yayın <i>Periodical</i>
e-ISSN Numarası <i>e-ISSN Number</i>	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***

582-592

2,4 Diklorofenoksi Asetik Asit'in Sazanlarda (*Cyprinus carpio*)
Kritik Yüzme Hızı ve Hematoloji Parametreleri Üzerine Etkilerinin
Araştırılması
*Investigation the Effects of 2,4 Dichlorophenoxyacetic acid on
Critical Swimming Speed and Hematological Parameters of Carp
(Cyprinus carpio)*
Melek TUNA, Muhammed ATAMANALP

755-763

Teucrium chamaedrys subsp. *chamaedrys* Bitkisinin *in vitro*
Antimikrobiyal Aktivitesi ve Etanol Ekstrakt Kompozisyonunun Gaz
Kromatografisi/Kütle Spektrometresi ile Belirlenmesi
in vitro Antimicrobial Activity of *Teucrium chamaedrys* subsp.
chamaedrys and Determination of The Ethanol Extract Composition
By Gas Chromatography/Mass Spectrometry
Kaan ÇETİN, Başaran DÜLGER

- 1037-1044 Farklı Yapıdaki Kumaşlara Antimikrobiyal Apre Uygulaması ve Etkinliklerinin Karşılaştırılması
Application of Antimicrobial Finishing on Different Fabrics and Comparison of Effectiveness
Nisa Sipahi , Ekrem Akbulut, Aysun Yenice, Tuğba Zengin

BİLGİSAYAR / YAZILIM MÜHENDİSLİĞİ

Araştırma Makalesi/ Research Article

- 628-640 Analysis of Deep Transfer Learning Methods for Early Diagnosis of the Covid-19 Disease with Chest X-ray Images
Göğüs Röntgeni Görüntüleri ile Covid-19 Hastalığının Erken Teşhisine Yönelik Derin Transfer Öğrenme Yöntemlerinin Analizi
Durmuş ÖZDEMİR, Naciye Nur ARSLAN
- 969-980 Türkiye'deki Astronomik Gözlemevlerinin Kuruluş Yerlerinin Bulanık AHS ile Değerlendirilmesi
Evaluation of Location Decision of Astronomical Observatories in Turkey with Fuzzy AHP
Gizem Dilan BOZTAŞ, Ersin KARMAN, Cahit YEŞİLYAPRAK

Derleme Makale / Review Article

- 893-913 Bulut Bilişim Güvenliği İçin Kullanılan Makine Öğrenimi Yöntemleri Üzerine Bir Derleme
A Review of Machine Learning Methods Used for Cloud Computing Security
Bilge Kağan YAZAR, Sedat AKLEYLEK, Erdal KILIÇ

ÇEVRE/ZİRAAT/JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ

Araştırma Makalesi/ Research Article

- 612-627 Sakarya İlinde Mısır Yetiştiren Üreticilerin Yabancı Otlar ve Mücadelesi Konusunda Yaşadığı Sorunlar
The Problems of Corn Growers Regarding Weeds and Their Control in Sakarya Province, Turkey
Saliha Gözde AĞDACI, Zübeyde Filiz ARSLAN
- 716-728 Çalışma Ofislerinin Enerji İhtiyacının Güneş Pilleri Kullanılarak Karşılanması
Supply the Energy Need of Work Offices Using Solar Cells
Melike YALILI KILIÇ, Sümeyye ADALI

837-846 Çok Katmanlı Algılayıcı ile Ağ Trafik Sınıflandırma Analizi
Network Traffic Classification Analysis with Multi-Layer Sensor
Kurban KOTAN, Bayram KOTAN, Serdar KIRIŞOĞLU

Derleme Makalesi/ Review Article

665-684 Atık Yağ, Gres ve Lipid Maddeleri ile Uzun Zincirli Yağ Asitlerinin
Anaerobik Prosesle Arıtılabilirliği Üzerine Derleme Çalışması
A Review on the Anaerobic Treatability of the Waste Oil, Fat,
Grease and Lipid Materials and Long Chain Fatty Acids
Dilek ERDİRENÇLEBİ

ELEKTRİK/ELEKTRONİK / ELEKTRİK ELEKTRONİK/ ENERJİ MÜHENDİSLİĞİ

Araştırma Makalesi/ Research Article

773-787 Lyapunov Based Observer Design for Electro-Hydraulic Arm System
Elektro-Hidrolik Kol Sistemi için Lyapunov Tabanlı Gözlemci
Tasarımı
Mithat ÖNDER, Alper BAYRAK, Serkan AKSOY

929-939 Electrochemical Enzymatic Biosensor Development by Using
Different Electropolymerization Conditions of Polyaniline
Farklı Elektropolimerizasyon Koşulları Kullanılarak Hazırlanan
Polianilin ile Elektrokimyasal Biyosensör Geliştirilmesi
**Nimet YILDIRIM TİRGİL, Zeycan KALKAN, Soner ÖZTÜRK, Sedat SÜRDEM,
Mehmet Fatih ÖKTEM**

929-939 OBPSO Kullanılarak Dağıtık Güneş Enerji Sistemlerinin Optimum
Bağlantı Gücü ve Yerinin Belirlenmesi
Determining the Optimum Size and Siting of Distributed Solar
Energy Systems Using OBPSO
Mehmet ÇEÇEN, Cenk YAVUZ

981-990 Two-Stage Clustering Approach for the Household Electricity Load
Profiles by Fuzzy Logic and Neural Network Techniques
Evsel Elektriksel Yük Profilleri için Bulanık Mantık ve Yapay Sinir
Ağları Teknikleri ile İki-Kademeli Kümeleme Yaklaşımı
Uğur Buğra ETLİK, Yavuz EREN

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ / MALZEME MÜHENDİSLİĞİ

Araştırma Makalesi/ Research Article

- 555-566 Atık Olivin Mineralinin Asfalt Betonunda Filler Olarak Kullanımı
The Use of Olivine Mineral From Chrome Ore Enrichment Process
Wastes as Fillers in Asphalt Concrete
Murat CANPOLAT, Ahmet BEYÇİOĞLU, Nihat MOROVA, Suna ÇETİN, Hatice Merve ÇETİN, Hüseyin GÜNDOĞAN
- 567-581 Betonarme Karma Taşıyıcı Sistemlerin TBDY 2018 ve ASCE 41-17'ye Göre Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemleri ile Performans Analizi ve Elde Edilen Sonuçların Karşılaştırması
Obtaining and Comparison of Nonlinear Calculation Methods and Performance Analysis of Curtain Frame Systems According to TBDY 2018 and ASCE 41-17
Rohullah JAMAL, S. Bahadır YÜKSEL
- 652-664 Gaz Beton Dolgu Duvar Pencere Boşluklarının Betonarme Çerçeve Davranışına Etkilerinin Deneysel Olarak İncelenmesi
Experimental Investigation of the Effects of Aerated Concrete Filled Wall Window Spaces on Reinforced Concrete Frame Behavior
Anıl ŞEN, Batuhan AYKANAT, Mehmet Emin ARSLAN
- 685-699 Analysis of Air Pollution in Bayburt Province with Statistical Methods
Bayburt İli Hava Kirliliğinin İstatistiksel Yöntemlerle Analizi
Tuğçe HIRCA, Gökçen ERYILMAZ TÜRKKAN, Hanefi BAYRAKTAR
- 700-715 Perde Duvarlı ve Çerçeveli Betonarme Binalarda Deprem Tasarım Sınıflarının Bina Maliyetine Etkisi
The Effect of Earthquake Design Classes on Building Cost in Shear Walled and Framed Reinforced Concrete Buildings
Zehra Şule GARİP, Erhan EREN
- 802-814 Yüksek Fırın Cürufu İkameli Çimentoların Yapısal ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması
Investigation of Structural and Mechanical Properties of Blast Furnace Slag Substituted Cements
Yusuf İslam ŞAHİN, Yılmaz KOÇAK
- 823-836 İkinci Mertebe Limit Yükün Hesabı İçin Bir Yük Artımı Yöntemi
A Load Increment Method for the Calculation of Second Order Limit Load
Nursel KÜTÜK

1024-1036 A Parametric Study of Pile Behavior In Liquefied Soils
Sıvılaşan Zeminlerde Kazık Davranışına Dair Parametric Bir
Çalışma
Pınar Sezin ÖZTÜRK KARDOĞAN, Nihat Sinan IŞIK

KİMYA / FİZİK / MATEMATİK

Araştırma Makalesi/ Research Article

729-747 Analysis of Economic and Epidemic Performances of Countries
During the Covid-19 Pandemic Period
Ülkelerin Covid-19 Pandemisi Dönemindeki Ekonomik ve
Epidemik Performanslarının Analizi
Yusuf ŞAHİN, Merve KILINÇ YILMAZ

748-754 Yeni Bir Genelleştirilmiş Normlu Uzay: Normlu Uzaylar
A New Generalization of Normed Spaces: Normed Spaces
Elif KAPLAN

815-822 (3-(4-chlorophenyl)-4,5-dihydroisoxazole-4,5-diyl)dimethanol
Compound: Antibacterial Activity, Antifungal Activity and
Calculated Structural Parameters
(3-(4-klorofenil)-4,5-dihidroizoksazol-4,5-diil)dimetanol Bileşiği:
Antibakteriyel Aktivite, Antifungal Aktivite ve Hesaplanmış
Yapısal Parametreler
Meryem PİR, Fatma BUDAK

862-871 The Third Order Variant Narayana Codes and Some Straight Lines
Corresponding to These
Üçüncü Mertebeden Varyant Narayana Kodları ve Bunlara Karşılık
Gelen Bazı Doğrular
Çağla CELEMOGLU

MAKİNE / MEKATRONİK / MALZEME / ENDÜSTRİ / İMALAT MÜHENDİSLİĞİ

Araştırma Makalesi/ Research Article

537-554 Three-phase Active Tracking AC-AC Voltage Regulator based on
Buck Converter with an Efficient Hybrid Control Technique
Etkili Bir Hibrit Kontrol Tekniği ile Alçaltıcı Çevirici Tabanlı Üç Faz
Aktif İzleyen AA-AA Gerilim Regülatörü
Faruk YALÇIN, Felix A. HIMMELSTOSS

- 641-651 Alüminyum 6061-T651 Alaşımının Kaplamalı Kesici Uçlarla Frezelenmesinde Kesici Takım Aşınmasının Optimizasyonu
Optimization of Cutting Tool Wear When Milling 6061-T651 Aluminum Alloy with Coated Inserts
Berat Serhat BEKTAŞ, Gürcan SAMTAŞ
- 788-801 Kömür Yakıtlı Süper Kritik Termik Santralin Enerji ve Ekserji Analizi
Energy and Exergy Analysis of a Coal-Fired Supercritical Power Plant
Halil İbrahim TOPAL, Başak BAYRAM, Kemal BAYRAM, Beytullah ERDOĞAN, Mehmet KOPAÇ
- 872-892 A Fuzzy Multi-Objective Mixed Integer Linear Programming Model for End of Life Use
Kullanım Ömrü Tamamlanmış Ürünler için Bulanık Çok Amaçlı Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama
Suna ÇINAR
- 1045-1066 Structural and Thermal Analyses of F Class Gas Turbine Compressor Blade
Kullanım Ömrü Tamamlanmış Ürünler için Bulanık Çok Amaçlı Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama
Mustafa GERENGİ, Fikret POLAT

Derleme Makalesi/ Review Article

- 914-928 Havuz Fotopolimerizasyonu (HFP) ile Eklemeli İmalat
Additive Manufacturing via Vat Photopolymerization
Ümit Gencay BAŞCI, Rıdvan YAMANOĞLU

MİMARLIK / PEYZAJ MİMARLIĞI / ŞEHİR VE BÖLGE PLANLAMA

Araştırma Makalesi/ Research Article

- 522-536 Havalandırmalı Duvar Konstrüksiyonlarında Faz Değiştiren Malzeme Kullanımının Konut Binalarının Enerji Yüklerine Etkisinin İncelenmesi
Investigating of Effects on Energy Loads of Residential Buildings of Using Phase Change Metarials in the Ventilated Exterior Wall Constructions
Deniz SAYLAM CANIM, Sibel MAÇKA KALFA
- 847-861 Dağınık Planlı Kent Dışı Genç Üniversite Yerleşkelerinde Büyüme ve Gelişme: Düzce Üniversitesi Konuralp Yerleşkesi Örneği
The Growth and Development of Dispersed Suburban Young University Campuses: The Case of Duzce University Konuralp Campus
Zelihan GÜNEŞ, Duygu GÖKÇE

- 953-968 Tarihi Yapılarda Avlunun Üst Örtü ile Kapatılmasının Değerlendirilmesi
Evaluation of Covering the Counter with Top Cover in Historical Buildings
Hicran Hanım HALAÇ, Özgecan CANARSLAN-TAKTAK
- 953-968 “Nöromimari” Yaklaşımı ve Hastane Yapılarındaki Mekânsal Öğelerin Kullanıcılar Üzerindeki Etkisi
Approach of Neuro-Architecture and the Effects of Architectural Elements on Their Users in Hospital Buildings
Elif SÖZER, Yüksel TURCAN
- 1006-1023 Ordu Kent Merkezi Kentsel Alan Değişimlerinin Yeniden Fotoğraflama ve Fraktal Analiz Yöntemi ile Değerlendirilmesi
Evaluation of Urban Area Changes in Ordu City Center with Repeat Photography and Fractal Analysis Methods
Mesut GÜZEL, Elif Gülderen GÜZEL, Ömer ATABEYOĞLU
- 1067- 1078 Kentsel Peyzajlarda Geçirimli Beton Kullanımı ve Özelliklerinin Değerlendirilmesi
The Assessments of the Use of Pervious Concrete and Its Properties in Urban Landscapes
Gülay TOKGÖZ, Sedat KARAAHMETLİ, Serkan TOKGÖZ

ORMAN / ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ

Araştırma Makalesi/ Research Article

- 593-611 Ahşap Levha Endüstrisinde Çalışanların Kişilik Özelliklerinin Örgütsel Vatandaşlık Boyutları ve Tükenmişlik Düzeyleri Üzerine Etkisi
The Effect of Personality Traits of Employees in the Wood Panel Industry on Organizational Citizenship Dimensions and Burnout Levels
Nadir ERSEN, İlker AKYÜZ, Mustafa KARAMANLI, Bahadır Çağrı BAYRAM
- 764-772 Analysis of Positive Selection Provides Insights into Lifestyle- and Lineage-Specific Patterns of Molecular Evolution in Insects
Pozitif Seçilim Analizi, Böceklerde Yaşam Tarzına ve Soya Özgü Moleküler Evrimin İzlerini Ortaya Çıkarmaktadır
Mehmet DAYI



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Havalandırılmalı Duvar Konstrüksiyonlarında Faz Değiştiren Malzeme Kullanımının Konut Binalarının Enerji Yüklerine Etkisinin İncelenmesi

 Deniz SAYLAM CANIM^a,  Sibel MAÇKA KALFA^{b,*}

^a MİMARLIK Bölümü, MİMARLIK Fakültesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, TÜRKİYE

^b MİMARLIK Bölümü, MİMARLIK Fakültesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: sibelmacka@ktu.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.870517

Öz

Binalarda enerjinin önemli bir kısmı ısıtma ve soğutma için kullanılmaktadır. Avrupa direktifi (EPBD-Recast) bu enerji kullanımından kaynaklı olumsuz çevresel etkileri azaltmak amacıyla, daha yüksek ısı yalıtımı seviyelerini ve hafif binaları teşvik etmektedir. Hafif binaların en büyük dezavantajı ise düşük termal kütleleridir. Son yıllarda hafif binaların termal kütlelerini artırarak enerji tasarrufu sağlayan ve enerjiyi termal kütlede gizli ısı olarak depolayan faz değiştiren malzemeler (FDM), bir alternatif olarak büyük ilgi görmekte ve binaların enerji yüklerini azaltabileceği yönünde önemli görüşlere yer verilmektedir. Bu çalışmada amaç bina kabuğunda dış duvar konstrüksiyonlarında FDM kullanımı ile ne oranda enerji yüklerinde bir iyileştirme sağlanabileceğinin tespit edilmesidir. Bu bağlamda, bu çalışma iki aşamadan oluşturulmuştur. İlk aşamada literatür araştırması ile faz değiştiren malzemelerin binada kullanım yerleri, çeşitleri, birleştirme teknikleri ve kullanılan simülasyon programları başlıklarında veriler elde edilmiştir. İkinci aşamada literatür araştırmasında elde edilen veriler doğrultusunda FDM'nin referans duvar konstrüksiyonlarının iç yüzeyine hava boşluğu bırakılarak uygulanmasına karar verilmiştir. Bu amaçla 21 ve 23 °C'lik erime noktasına sahip BioPCM'ler, 24, 36, 48 ve 60 mm'lik kalınlıklarda kullanılarak 15, 25, 35 ve 45 mm'lik hava boşluklarına sahip duvar konstrüksiyonlarının iç yüzeyine uygulanmıştır. Oluşturulan duvar konstrüksiyonlarına ait senaryolar ılıman-nemli iklime sahip Trabzon ili iklim verileri kullanılarak Design Builder simülasyon programı ile varsayımsal olarak tasarlanmış tek katlı 150 m² taban alanına sahip bir konutun dış duvar konstrüksiyonlarında kullanılmıştır. Senaryoların yıllık toplam ısıtma-soğutma enerji yükleri hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda, FDM kullanımı ile geliştirilen havalandırılmalı duvar konstrüksiyonlarının bina enerji yüklerinde %2 ile %6 arasında iyileştirme sağlayabileceği ve en önemlisi FDM'lerin her iklim koşulunda bina kabuğunda kullanıma uygun, düşük maliyetli ve sürdürülebilir bir malzeme olarak geliştirilmesinin büyük önem arz ettiği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Faz değiştiren malzeme, Havalandırılmalı dış duvar, Gizli ısı, Enerji yükü, Enerji simülasyonu

Investigating of Effects on Energy Loads of Residential Buildings of Using Phase Change Metarials in the Ventilated Exterior Wall Constructions

ABSTRACT

A significant portion of the energy in buildings is used for heating and cooling. The European directive (EPBD-Recast) promotes higher levels of thermal insulation and lightweight buildings in order to reduce the negative

environmental impacts from this energy use. The biggest disadvantage of lightweight buildings is their low thermal mass. In recent years, PCM, which save energy by increasing the thermal mass of lightweight buildings and store energy as latent heat in thermal mass, have attracted great interest as an alternative and important views are given that they can reduce the energy loads of buildings. The aim of this study is to determine to what extent energy loads can be improved by using PCM in exterior wall constructions in the building envelope. In this context, this study is composed of two stages. In the first stage, data were obtained under the titles of usage places, types, joining techniques and used simulation programs of phase change materials with the literature research. For this purpose, BioPCMs with melting points of 21 °C and 23 °C were used in thicknesses of 24, 36, 48 and 60 mm and applied to the inner surface of the wall construction with 15, 25, 35 and 45 mm air gaps. The scenarios of the wall construction created were used in the exterior wall constructions of a single-storey residence with a floor area of 150 m², which was hypothetically designed with the Design Builder simulation program, using the climate data of the province of Trabzon with a moderate-humid climate. Annual total heating-cooling energy loads of the scenarios were calculated. As a result of the study, it has been determined that ventilated wall constructions developed with the use of PCM can provide an improvement between 2% and 10% in building energy loads, and most importantly, it is of great importance that PCMs are developed as a low cost and sustainable material suitable for use in the building envelope in all climatic conditions.

Keywords: Phase change material, Ventilate dexterior wall, Latent heat, Energy load, Energy simulation

I. GİRİŞ

Avrupa Birliği'nde "EPBD – Binalarda Enerji Performansı Direktifi" ile birlikte binalarda enerji verimliliğini sağlamak amacı ile önemli gelişmeler ve yaptırımlar olmuştur. EPBD 2010/31/EU kapsamında, 2020 yılına kadar tüm Avrupa Birliği'nin karbon salınımının 1990 yılındaki seviyelerin %20 altına düşmesi, tüm enerji tüketiminin %20 azaltılması, kullanılan enerjinin %20'sinin yenilenebilir kaynaklardan sağlanması ve tüm binaların yaklaşık sıfır enerjili olması hedefleri belirlenmiştir [1]. Enerji kaynaklarını sağlama bakımından yüksek oranda dışa bağımlı olan Türkiye için de binaların enerji performansını artırmak büyük önem taşımaktadır. Bu sayede ihtiyaç duyulan enerji miktarı azaltılabilecektir. Avrupa'da belirlenen hedeflere ulaşabilmek için yüksek ısı yalıtımı seviyeleri ve hafif binalar teşvik edilmektedir Hafif binaların en büyük dezavantajı düşük termal kütleleri nedeniyle büyük sıcaklık dalgalanmalarına meyilli olmalarıdır. Bina kabuğunda, enerjiyi gizli ısı olarak depolayan faz değiştiren malzeme (FDM) kullanımı ile duvar termal kütlelerini artırmak, ısı dalgalanmalarını ve bina yükünü azaltmak mümkündür. Gizli ısı depolama, termal enerjiyi depolamanın en etkin yollarından biri olarak, ısı depolama ve salıverme arasında küçük bir sıcaklık farkı olan ve yüksek depolama yoğunluğu sağlayan bir yöntemdir [2]. Su/buz yaklaşık 330 kJ/kg'lık faz değişim ısısı ile insan çevresinde terk edilmiş olarak bulunan en iyi bilinen FDM'dir. Bu nedenle kuzey kutup bölgelerinde yaşayan halk geleneksel yapıları olan igloların yapımında yüzyıllardır faz değişimi-gizli ısı konseptini kullanmaktadır. İglo yöre halkını soğuktan koruyan oldukça efektif, yapımı kolay bir malzeme olarak buz ve karın kullanıldığı bir yapıdır. Gonzales - Espada (2001)'ya göre dış hava sıcaklığının -45 °C olduğu en sert kış dönemlerinde bile, igloların iç sıcaklığı 9 °C-15 °C arasında değişim göstermektedir [3]. Teorik olarak FDM kullanımı ile bina kabuğunun enerji tüketiminin azaltılacağı biliniyor olmasına rağmen özellikle ülkemizde bu kapsamda yapılan çalışma sayısı azdır.

Bu çalışmada, hem ekolojik, hem de yeni nesil pasif bir yaklaşım olarak bina kabuğunda kullanılmaya yeni başlanmış olan faz değiştiren malzeme ile oluşturulmuş farklı havalandırılmalı duvar konstrüksiyonlarının varsayımsal olarak tasarlanmış referans tek katlı bir konut binasının enerji yüklerine ne oranda etki edeceğinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu hedef doğrultusunda yapılan çalışmada konut binasında FDM'siz ve FDM'li farklı kalınlıkta havalandırma boşluğuna sahip dış duvar konstrüksiyonları uygulanmış ve FDM'li konstrüksiyonlarda erime noktası sıcaklığı ve FDM kalınlığı değiştirilerek yapılan simülasyonlar ile bina enerji yüklerine etkileri analiz edilmiştir.

A. FAZ DEĞİŞTİREN MALZEMELER (FDM)

Faz değıştiren malzemeler bina kabuğunda enerjiyi gizli ısı olarak depolayan ve bu sayede bina kabuğu termal kütlesini artıran yeni nesil pasif malzemelerdir. Dar bir sıcaklık aralığında yüksek miktarda enerji depolamak zorunda olan faz değıştiren malzemeler, geleneksel yapı malzemeleri (beton, taş) ile kıyaslandığında çok daha hafif olmalarına rağmen geleneksel yapı malzemelerinden 15 kat daha fazla ısıyı birim hacimlerinde depolayabilmektedirler. Bu özelliğinden kaynaklı olarak FDM'ler hafif ve yüksek termal kütleyle sahip bina uygulamalarında kullanımı uygun bir malzeme olarak karşımıza çıkmaktadır. Ağır termal kütlesini hafifletmek ve kullanımını daha pratik hale getirmek için FDM ile oluşturulmuş trombe duvar modeli üzerine yapılan çalışmalar, duvar termal kapasitesini klasik beton duvara göre ortalama %50 artırmanın mümkün olduğunu göstermiştir [4-6]. FDM kullanımı ile ince bir duvarda yoğun termal kütle elde etmek mümkün olmakla beraber elde edilen FDM'li duvarın zaman gecikmesi kalın beton duvara göre çok daha kısa olmaktadır. Bu durum sağlanan enerjinin odaya ortalama iki kat daha hızlı aktarılabilmesini sağlamaktadır. Fakat azalan zaman gecikmesi, gün boyunca kullanılan ofis, alışveriş merkezi, üniversite ve okul gibi yapılar için kısmen bir avantaj olarak görülse de akşam kullanımı yoğun olan konut ve hastane gibi yapılar için bir dezavantaj olabilmektedir [2]. FDM ve ısı yalıtımının karşılaştırılması yapıldığında; bina kabuğuna yalıtım malzemesi eklemek, binanın ısı kaybını azaltıp ısı direnç değerini düşürürken, bina kabuğunda FDM kullanımı binanın termal kütlesini yani termal enerji deposunu artırarak, pasif ısıtma-soğutma sağlamaktadır. Bu nedenle FDM'nin tek başına kullanıldığı durumlarda yaz aylarında soğutma yüklerinde daha iyi performans elde edilirken yalıtımla beraber kullanıldığı durumlarda ısıtma mevsimindeki verim artmaktadır. Bu durum yaşam döngüsü maliyeti (LCC) açısından değerlendirildiğinde ise FDM'nin tek başına kullanıldığı durumda geri ödeme süresi (yaklaşık 14,5 yıl), ısı yalıtımı ile beraber kullanıldığı duruma göre daha uzun (ortalama 7,5 yıl) olmaktadır [7]. Bina kabuğunda FDM kullanımı iklim bölgelerine göre değerlendirildiğinde, FDM'nin soğuk iklimlerde kullanımı ile gerçekleştirilen çalışmalarda, en soğuk aylarda çok etkili olmamakla birlikte yıl bazında değerlendirildiğinde FDM ile ortalama %20 verim elde edildiği görülmüştür. Gece ve gündüz sıcaklık farkının fazla olmadığı ılıman bölgelerde ise FDM'nin bina kabuğunun iç kısmında kullanılmasının iç mekan ısı dalgalanmalarının azaltılması açısından daha uygun olduğu belirtilmiştir [8]. Gece ve gündüz sıcaklık farkının fazla olduğu iklim bölgelerinde ise, FDM'nin kabuğun dış tarafında kullanımının etkili olduğu görülmüş, böylece gündüz FDM tarafından depolanan ısı, soğuk gecelerde tüketilerek bir sonraki gün yeniden şarj olabilmesi sağlanmıştır [8, 9]. FDM'lerin soğutma amacı ile kullanıldığı sıcak iklimlerde gece havalandırması (4ac / h'ye kadar), binalarda FDM'lerin etkinliğini en üst düzeye çıkarmak için önemli bir konudur. Gece havalandırması ile FDM'lerin ısı deşarjı desteklenerek, gündüz sıvılaştıran FDM'nin gece katılması sağlanmakta, böylece tam bir çalışma döngüsü elde edilebilmektedir [10].

Teorik olarak çoğu FDM entegre bina kabuğu bileşeninin günde en az bir kere erime/ katılma süreci geçirmesi beklenir. Bu nedenle mümkün olduğunca az FDM kullanarak FDM'nin depolama/ bırakma kapasitesini arttırmak gerekir. Yani kullanılacak FDM'nin optimizasyonu yapılmalıdır. Tam bir günlük döngüde depolanan enerji FDM hacmine orantılıdır. FDM tamamen eridikten sonra, sadece hissedilir ısı emilir. FDM'lerin düşük ısı iletkenliği nedeniyle, bu sistemlerin şarj etme ve boşaltma işlemleri sırasında doğal olarak yavaş bir ısı transferine sebep oldukları unutulmamalıdır. FDM kütlesi fazla tahmin edilirse, ısının FDM'ye nüfuz etmesi için gereken süre güneş ışığı süresinden daha büyük olabilir ve erime süreci tamamlanamaz. Benzer şekilde, eğer FDM kütlesi fazla tahmin edilirse, iç meknlarda ısının serbest bırakılması için gereken süre, boşalma süresinden daha büyük olabilir ve katılma süreci tamamlanamaz. Böylece, FDM ne erimiş ne de katılmazsa, yetersiz termal depolama elde edilir [11]. Çok çeşitli sıcaklıklarda eriyen ve katılma çok sayıda faz değıştiren malzeme mevcuttur. Fakat bina uygulamalarında kullanılan FDM'ler sınırlıdır. Bunun nedeni sadece insan konfor sıcaklığına (20°C-28°C) yakın sıcaklıklarda faz değışimine sahip FDM'lerin bina uygulamalarında kullanılabilmesidir. Günümüzde bilinen organik ve inorganik FDM'ler; parafinler, yağ asitleri, şeker alkoller, tuz hidratları ve metaliklerdir. Binalarda kullanıma uygun FDM'ler parafin ve yağ asitleridir. FDM'ler geleneksel yapı malzemelerine doğrudan birleştirme, daldırma ve kapsülleme olmak üzere üç yöntem ile entegre edilir. Doğrudan birleştirme tekniğinde, sıvı veya toz FDM üretim sırasında alçı, beton veya sıva gibi inşaat malzemeleriyle doğrudan karıştırılırken; daldırma tekniğinde, alçı levha, tuğla veya beton blok gibi gözenekli yapı malzemeleri, erimiş FDM'nin içine daldırılarak uygulanır [11,12]. Kapsülleme

teknîği ise FDM'yi çevre ile zararlı etkileşimlerden korumak için bir engel görevi görerek, ısı transferi için yeterli yüzey alanı, yapısal dayanıklılık ve kolay kullanım sağlar. Bu nedenle bina elemanlarında kullanımı en uygun olan birleştirme tekniğidir. Mikro kapsülleme ve makro kapsülleme olmak üzere iki tip kapsülleme tekniği vardır.

II. YÖNTEM

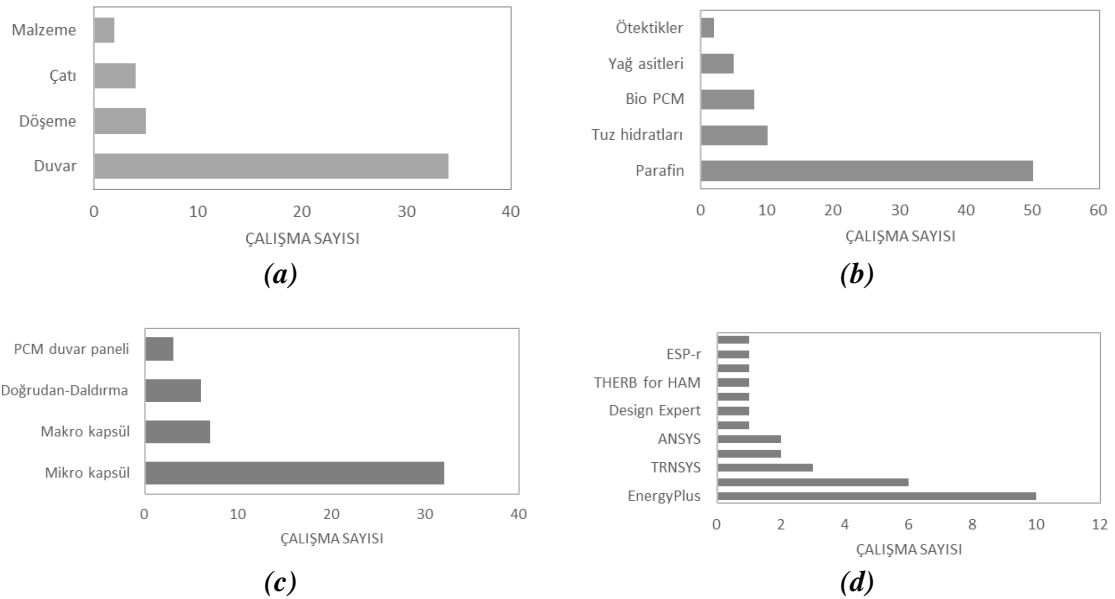
Bu çalışma iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşama olan literatür çalışması sonucunda elde edilen veriler ışığında ikinci aşama olan simülasyon çalışmasına veri sağlanmıştır.

A. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Bina kabuğunun uzun ömürlü olabilmesi için FDM'nin kullanıldığı bina bileşeni, FDM çeşidi, bina bileşeni ile birleştirilme tekniği ve faz değişim sıcaklık aralığı önemlidir. Yapılan literatür çalışmasında son yıllarda yapılmış FDM ile ilgili yaklaşık 50 bilimsel yayın incelenmiştir. Bu çalışmalardan faz değiştiren malzemelerin çoğunlukla duvar bileşeninde kullanıldığı, parafinin en fazla tercih edilen, BioPCM'in ise son yıllarda üzerinde en fazla çalışmalar yapılan faz değiştiren malzeme çeşidi olduğu görülmüştür. Şekil 1'de çalışmada kullanılan BioPCM görülmektedir. Literatür çalışması sonucunda elde edilen veriler Şekil 2'de grafikler halinde ifade edilmiştir.



Şekil 1. Çalışmada kullanılan faz değiştiren malzeme (BioPCM) [13]



Şekil 2. (a) FDM'nin kullanıldığı bina bileşeni (b) FDM çeşidi (c) FDM'nin birleştirilme tekniği, (d) Çalışmalarda kullanılan simülasyon programları [14-62]

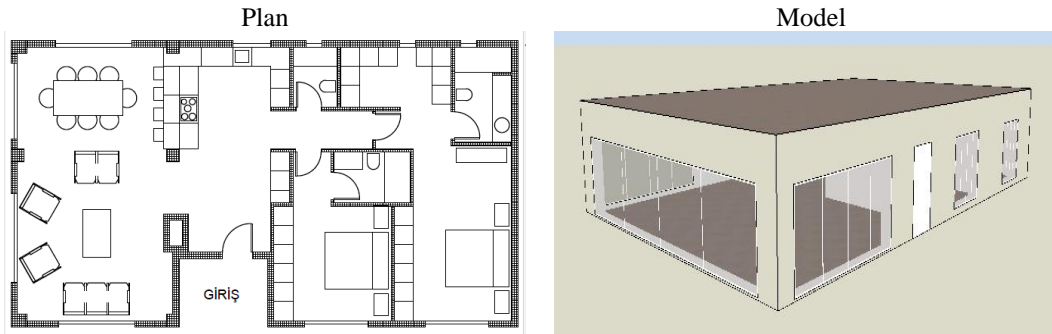
Literatür çalışmasından, FDM erime noktası sıcaklık aralığı üzerine yapılan çalışmalar, soğutma amaçlı kullanımlarda 22-24 °C aralığının en uygun aralık olduğunu [14], doğrudan güneş ışınımı ile ısıtmada ise ortalama oda sıcaklığının 1-3 °C üzerinde olması gerektiği bilgisine ulaşılmıştır [15,16]. Tablo 1’de literatür çalışmasında elde edilen sonuçlar özetlenmiştir.

Tablo 1. Literatür incelemesi sonucu çalışmalarda en fazla tercih edildiği görülen veriler [14-62]

FDM'nin kullanıldığı yapı bileşeni	FDM çeşidi	FDM birleştirme tekniği	FDM erime noktası sıcaklık aralığı	Kullanılan program
Dış Duvarlar	Parafin BioPCM	Mikro kapsülleme	Soğutma için: 22-24°C Isıtma için: Oda sıcaklığı + 1-3 °C	EnergyPlus DesignBuilder

B. ENERJİ SİMÜLASYON ÇALIŞMASI

Literatür çalışmasında elde edilen veriler ışığında, çalışmada Design Builder simülasyon programında örnek bir varsayımsal konut binası oluşturulmuştur. Oluşturulan tek katlı, teras çatılı örnek konuta ait uzunluk ölçüleri 15mx10m olup, taban alanı 150 m² olarak tasarlanmıştır. 2+1 olarak düşünülen örnek konutta; salon, açık mutfak ve biri soyunma odalı iki yatak odası bulunmaktadır. Konutta mekanik havalandırma kullanılmamıştır. Şekil 2’de oluşturulan konutun planı ve Design Builder programı ile oluşturulan model görünüşü verilmiştir.



Şekil 2. Referans bina planı ve model görünüşü [63]

B.1. Bina Kabuğuna Ait Bilgiler

Bina kabuğu elemanlarının U değerleri belirlenirken TS 825 standardında belirtilen aralıklarda olmasına dikkat edilmiştir. Dış duvar gövde malzemesi olarak ısı geçirgenliğinin düşük olmasından dolayı gaz beton, ısı yalıtım malzemesi olarak ise yaygın kullanımından dolayı Ekstrüde Polistiren (XPS) tercih edilmiştir. Bina kabuğu saydamlık oranı TS 825’in konutlar için uygun görüldüğü aralıklar dikkate alınarak %30 olarak varsayılmıştır [64]. Çift tabaka camlı, PVC doğramalı bir pencere sistemi tercih edilmiştir. Pencerelerde kullanılan cam sistemi argon gaz dolguludur ve kalınlıkları 6mm x 13mm x 6mm’dir. Örnek konut binasına ait kabuk elemanlarının fiziksel ve boyutsal özellikleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Bina kabuğu elemanlarının fiziksel ve boyutsal özellikleri [63,64]

Eleman	Katman	Isıl iletkenlik λ (W/mK)	Kalınlık, d (mm)	Isı geçirgenlik kat, U (W/m ² K)	
Çatı		Çakıl	0,36	40	0,37
		Su yalıtımı	0,027	13	
		Eğim betonu	0,8	50	
		XPS ısı yalıtımı	0,034	70	
		B.A Döşeme	2,5	120	
		Alçı sıva	0,25	25	
Dış Duvar		Dış sıva	0,3	30	0,43
		XPS ısı yalıtımı	0,034	50	
		Gaz beton blok	0,51	200	
		Havalandırma boşluğu	-	15	
		Havalandırma boşluğu	-	25	
		Havalandırma boşluğu	-	35	
Havalandırma boşluğu	-	45			
Havalandırma boşluğu	-	45			
Alçı sıva	0,25	24			
Zemin Döşemesi		Ahşap parke	0,14	20	0,32
		Koruma betonu	0,8	50	
		XPS ısı yalıtımı	0,034	70	
		Eğim betonu	0,8	50	
		Su yalıtımı	0,027	13	
		Grobeton	0,8	100	
		Blokaj	0,36	150	
Pencere	Doğrama	Ahşap	0,13	50	2,27
	Cam sistemi	Berrak cam+argon+berrak cam	-	6mm+13mm+6mm	2,66

B.2. FDM'li Duvar Konstrüksiyonlarına Ait Senaryolar

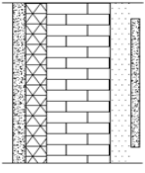
Faz değiştiren malzemelerin bina enerji performansı üzerine etkisini belirlemek amacıyla yapılan bu çalışmada kullanılacak parametreler Tablo 1'deki veriler baz alınarak belirlenmiştir. Belirlenen parametreler Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Çalışmada kullanılan parametreler

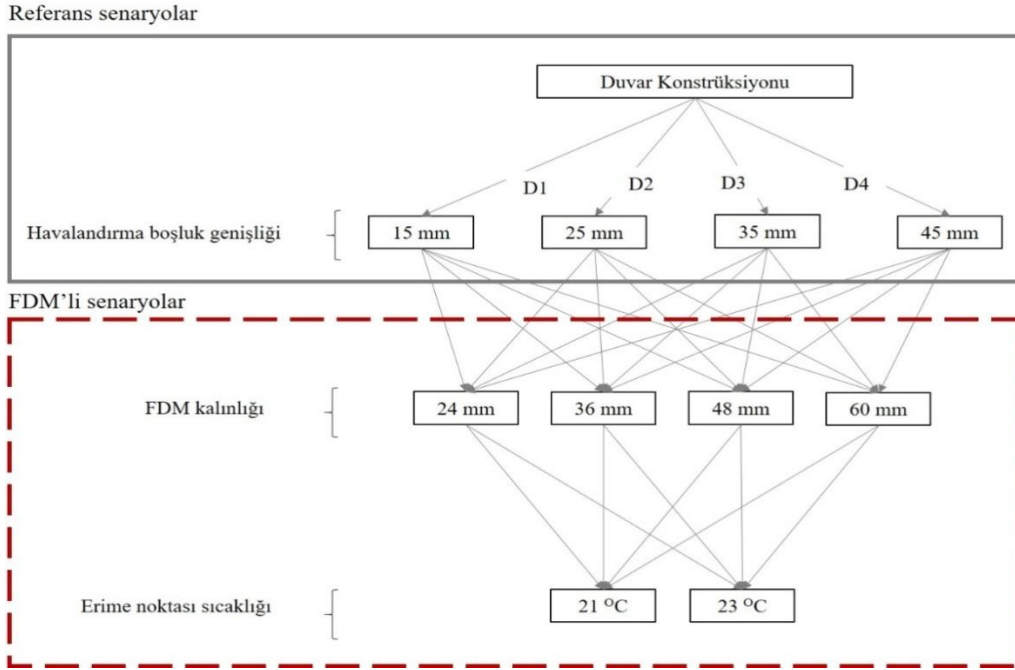
FDM'nin kullanıldığı yapı bileşeni	FDM çeşidi	FDM birleştirme teknigi	FDM erime noktası sıcaklık aralığı	Kullanılan Simülasyon program
Dış Duvarlar	BioPCM	Mikro kapsülleme	21 °C ve 23 °C	Design Builder

Tablo 3'deki parametreler doğrultusunda 21 ve 23 °C'lik erime noktasına sahip BioPCM'lerin 24, 36, 48 ve 60 mm kalınlıklarda 15, 25, 35 ve 45mm'lik farklı hava boşlukları ile dış duvar iç yüzeyine uygulanmasına karar verilmiştir. FDM kalınlıkları Design Builder simülasyon programı içerisinde kayıtlı bulunan BioPCM kalınlıkları baz alınarak belirlenmiştir [63]. Bu durumda oluşturulan yeni duvar modelinin katman ve kalınlıkları Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4. Simülasyonu yapılan dış duvar modeline ait parametreler [63,64]

Dış Duvar Konstrüksiyonu	Katmanlar	Kalınlık, d (mm)
	Dış sıva	30
	Isı yalıtımı	50
	Gaz beton	200
	Hava boşluğu	15,25,35,45
	BioPCM	24,36,48,60

Şekil 3’de referans senaryolar ve faz değiştiren malzemenin kullanıldığı senaryolar görülmektedir. 4 referans senaryo olmak üzere toplam 36 senaryonun enerji simülasyonu gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3. Çalışmada ele alınan senaryolar

Çalışma alanı olarak seçilen ılıman-nemli iklim bölgesindeki Trabzon şehrinin simülasyonlarda kullanılacak iklimsel veri dosyaları epw dosya formatında Design Builder simülasyon programına yüklenmiştir. Veri girişleri tamamlandıktan sonra örnek konut binasının mevcut durum ve oluşturulan senaryolardaki enerji simülasyonları Design Builder simülasyon programında yapılmış, her bir duvar modeli için yıllık ısıtma, soğutma ve toplam enerji yükleri hesaplanmıştır.

III. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

Design Builder enerji simülasyon programında Şekil 3’de detaylı olarak gösterildiği üzere hava boşluk genişliğinin değişimine göre 4 referans senaryo dahil olmak üzere faz değiştiren malzeme kalınlığı ve FDM’nin erime noktası sıcaklığı değiştirilerek 36 senaryo oluşturulmuştur. Senaryoların Design Builder programında simülasyonu yapılarak her bir senaryoya ait yıllık ısıtma- soğutma toplam enerji yükleri elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 5 ve Tablo 6’da verilmiştir.

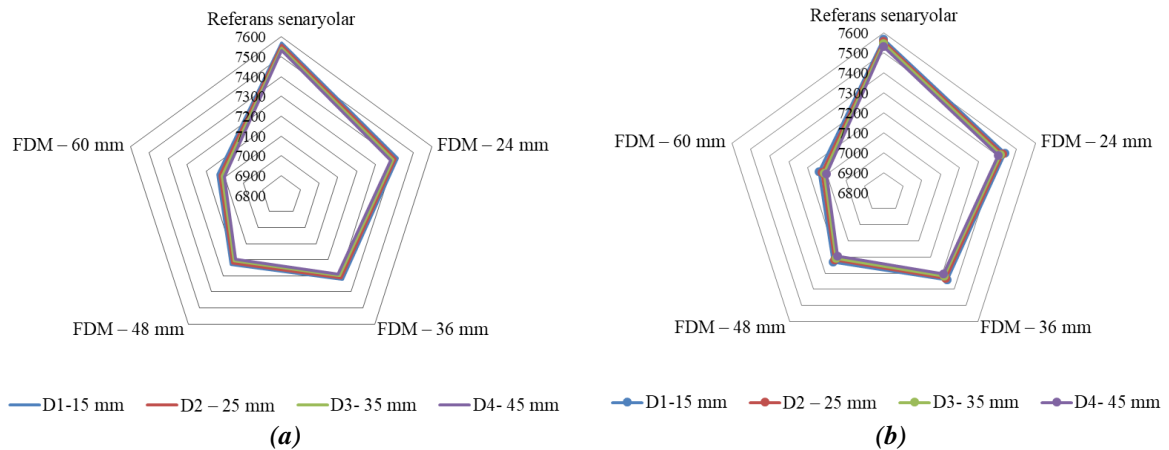
Tablo 5. 21 °C erime noktasına sahip BioPCM ile oluşturulmuş duvar konstrüksiyonu senaryoları ile elde edilen yıllık toplam enerji yükleri

Hava boşluk genişliği	Enerji Yüğü (kWh)				
	Referans senaryolar	FDM – 24 mm	FDM – 36 mm	FDM – 48 mm	FDM – 60 mm
D1-15 mm	7568,07	7414,12	7323,62	7231,38	7137,15
Verim	—	% 2	% 3,2	% 4,4	% 5,7
D2 – 25 mm	7556,05	7402,28	7311,82	7219,35	7125,07
Verim	—	% 2	% 3,2	% 4,4	% 5,7
D3- 35 mm	7544,05	7390,45	7299,85	7207,36	7113,12
Verim	—	% 2	% 3,2	% 4,4	% 5,7
D4- 45 mm	7532,22	7378,66	7287,87	7195,29	7101,13
Verim	—	% 2	% 3,2	% 4,4	% 5,7

Tablo 6. 23 °C erime noktasına sahip BioPCM ile oluşturulmuş duvar konstrüksiyonu senaryoları ile elde edilen yıllık toplam enerji yükleri (kWh)

Hava boşluk genişliği	Enerji Yüğü (kWh)				
	Referans senaryolar	FDM – 24 mm	FDM – 36 mm	FDM – 48 mm	FDM – 60 mm
D1-15 mm	7568,07	7437,79	7341,24	7230,87	7138,91
Verim	—	% 1,7	% 3	% 4,5	% 5,7
D2 – 25 mm	7556,05	7426,19	7329,36	7218,96	7126,91
Verim	—	% 1,7	% 3	% 4,5	% 5,7
D3- 35 mm	7544,05	7414,41	7317,6	7206,11	7114,75
Verim	—	% 1,7	% 3	% 4,5	% 5,7
D4- 45 mm	7532,22	7402,73	7305,74	7195,08	7102,68
Verim	—	% 1,7	% 3	% 4,5	% 5,7

Tablo 5 ve Tablo 6’da elde edilen sonuçlar incelendiğinde referans senaryolarda hava boşluk genişliğinin artmasıyla bina enerji yüklerinde lineer bir düşüşün olduğu görülmüştür. Tablolarda verilen verim değerleri ise ilgili satırdaki referans durum senaryosuna göre enerji yükünde elde edilen yüzdelik olarak verimi ifade etmektedir. Verim değerleri sütunlar için değil aynı hava boşluğu genişliğine sahip senaryolar içindir. İncelenen tüm senaryolara ait enerji yükleri Şekil 4’de grafik olarak ifade edilmiştir.

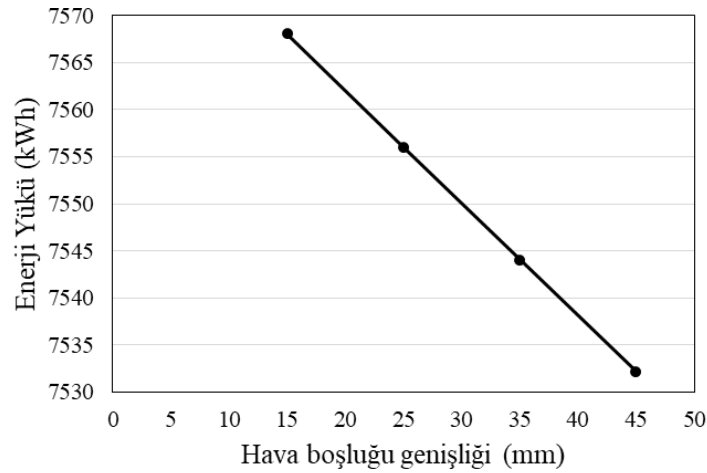


Şekil 4. İncelenen senaryoların enerji yüklerinin karşılaştırılması (kWh) (a) 21°C erime noktasına sahip FDM’li senaryolar (b) 23°C erime noktasına sahip FDM’li senaryolar

Şekil 4 incelendiğinde, FDM'nin duvar iç yüzeyinde kullanımıyla enerji yüklerinde gözle görülür bir iyileşme sağlandığı, bu iyileşmenin etkisinin FDM'nin kalınlığının artırılmasıyla arttığı anlaşılmıştır. Farklı iki erime noktası sıcaklığına sahip FDM'lerin ise enerji yüklerinde farklı etki yarattığı, düşük erime noktasına sahip FDM'lerin ılıman-nemli iklim bölgesinde daha etkin olduğu gözlenmiştir. 21°C erime noktası sıcaklığında enerji yükü açısından referans FDM'siz senaryolara göre %2 ile %5,7 arasında bir verim elde edilirken, 23°C erime noktası sıcaklığında elde edilen verim %1,7 ile %5,7 arasında değişmiştir. Her iki erime noktası sıcaklığında da en iyi verim 60 mm kalınlığında FDM'li ve hava boşluk genişliği 45 mm olan duvar konstrüksiyonu ile elde edilmiştir.

A. REFERANS SENARYO DUVAR KONSTRÜKSİYONLARINDA HAVA BOŞLUK GENİŞLİĞİNİN BİNA ENERJİ YÜKLERİNE ETKİSİ

Referans senaryoların Tablo 5 ve Tablo 6'da verilen enerji yüklerine ait veriler incelendiğinde, Şekil 6'da görüldüğü üzere duvar konstrüksiyonunda sadece hava boşluk genişliğinin değişimiyle bina yıllık toplam enerji yükünde lineer bir iyileşme sağlanabileceği sonucuna varılmıştır. Diğer bir ifadeyle Şekil 6'dan da görüldüğü üzere hava boşluğu aynı zamanda bir yalıtım görevi gördüğü için genişliği arttıkça enerji yüklerine pozitif yönde etki etmektedir.

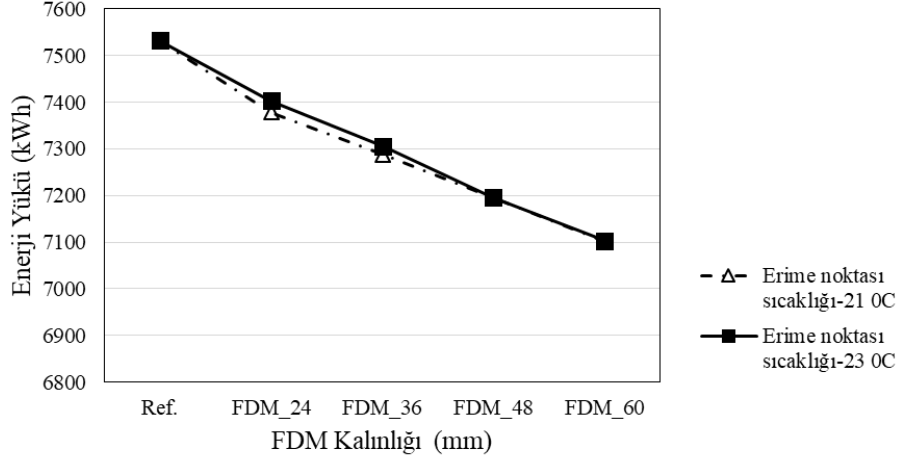


Şekil 6. Referans senaryo duvar konstrüksiyonlarında hava boşluk genişliğinin bina enerji yüküne etkisi (kWh)

Şekil 6'daki 4 referans senaryoda enerji yükü açısından en iyi performansı hava boşluk genişliği 45 mm olan D4 duvar konstrüksiyonu gösterdiği için incelemeler ve değerlendirmeler D4 senaryosuna uygulanan FDM ile elde edilen sonuçlara odaklanmıştır.

B. FDM'Lİ DUVAR KONSTRÜKSİYONLARINDA ERİME NOKTASI SICAKLIĞI VE FDM KALINLIĞI DEĞİŞİMİNİN BİNA ENERJİ YÜKLERİNE ETKİSİ

Çalışmada kullanılan 21 ve 23°C erime noktası sıcaklıklarına sahip BioPCM'ler ile elde edilen bina enerji yükleri ile ilgili sonuçlar Tablo 5 ve Tablo 6'da sunulmuştur. Buradan hareketle Şekil 7'de 45 mm hava boşluklu D4 referans senaryosuna farklı erime noktası sıcaklıklarında ve 24-36-48-60mm kalınlıklarda FDM kullanılması bina enerji yüküne olan etkileri görülmektedir.



Şekil 7. Referans senaryo D4'e uygulanan farklı erime noktası sıcaklıklarına ve farklı kalınlıklara sahip FDM'lerin bina enerji yüklerine etkisi (kWh)

Şekil 7 incelendiğinde FDM kalınlığının artmasıyla enerji yüklerinde de lineer bir iyileşme olduğu görülmektedir. Genel tabloya baktığımızda ılıman-nemli iklim bölgesinde 21°C erime noktası sıcaklığına sahip FDM'lerin 23°C erime noktasına sahip FDM'lerden enerji yükü açısından daha iyi performans gösterdiği görülmektedir. Ayrıca D4 duvarı 60 mm kalınlığında FDM kullanımıyla D1 duvarı referans duruma göre bina enerji yüklerinde %6 azalma elde edildiği görülmüştür.

IV. SONUÇLAR

Çalışmada günümüzde bina kabuğunda kullanılmaya yeni başlanmış olan faz değiştiren malzeme kullanımıyla ılıman-nemli iklim bölgesinde yer alan konut binalarında bina enerji yüküne ne oranda iyileştirme sağlanabileceği üzerine örnek bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Bunun için, literatür araştırması sonucunda FDM olarak duvar iç yüzeyinde kullanıma uygun olan BioPCM seçilmiş ve farklı kalınlıklarda duvar iç yüzeyine uygulanmıştır. Yapılan simülasyonlar ile havalandırma boşluk genişliğinde yapılan değişim ile oluşturulan referans duvar konstrüksiyon senaryoları ve bu konstrüksiyonlara farklı erime noktası sıcaklıklarına ve farklı kalınlıklara sahip FDM'lerin uygulanması ile oluşturulan FDM'li duvar konstrüksiyon senaryoları olmak üzere toplam 36 senaryoya ait bina enerji yükleri belirlenmiştir. Elde edilen simülasyon sonuçlarına göre, erime noktası sıcaklık değişiminin enerji yüklerinde ılıman-nemli iklim bölgesi için az bir etki yaptığı, 21 °C'lik erime noktasına sahip BioPCM'lerin bina enerji yükü verimi olarak 23°C erime noktasında sahip BioPCM'lerden daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Duvar konstrüksiyonunda, FDM arkasında bırakılan hava boşluğu hem yalıtım görevi görmüş hem de FDM'nin hava ile temas eden yüzey alanının artırılmasını sağlamıştır. Bu nedenle hava boşluk genişliği arttıkça bina enerji yüklerinde aynı oranda bir düşüşün gerçekleştiği tespit edilmiştir. FDM kalınlıklarındaki değişimin etkisine bakıldığında ise kalınlık arttıkça elde edilen verimin de arttığı görülmüştür. Ancak FDM'lerin maliyeti yüksek bir malzeme olması kalınlık bakımından seçim yapılırken önemli bir kriter olarak karşımıza çıkmaktadır.

Sonuç olarak FDM'ler yapı teknolojilerinin gelişmesi ile birlikte bina kabuğunda kullanılmaya başlanmıştır ve ileriki yıllarda hiç şüphesiz bu malzemelerin bina kabuğunda kullanımıyla daha sık karşılaşacağız. Şu anda bu malzemeler ile ilgili birçok konuda bilgi eksikliği mevcuttur. Malzemeleri üreten firmalar yurt dışı temellidir ve sayıları oldukça azdır. Bu da maliyetlerinin yüksek olmasına neden olmaktadır. Konu ile ilgili birçok deneysel çalışma yürütülmekle birlikte henüz elimizde yeterli ve gerçekçi veriler mevcut değildir. Tüm bu nedenlerden ötürü bu çalışma faz değiştiren malzemelerin bina kabuğunda kullanılmasıyla elde edilecek enerji yükündeki iyileşme oranını sunması açısından önemlidir.

V. KAYNAKLAR

- [1] Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council on energy performance of buildings (recast), Official journal of the European Union, May 19th, 2010.
- [2] J. Kosny, *PCM- Enhanced Building Components*, 1st ed., London, UK: Springer, 2015, ch. 1, pp. 21-59.
- [3] W. J. Gonzales-Espada, L.A. Bryan and N-H. Kang, "The intriguing physics inside an igloo," *Physics Education*, vol. 36, no. 4, pp. 290-298, 2001.
- [4] M. Telkes, *Trombe Wall with Phase Change Storage Material*, 1st ed., Philadelphia, USA: American Section, International Solar Energy Society, 1978, pp. 350-363.
- [5] P.T. Leang, L. Zalewski and S. L. Enghok, "Numerical study of a composite trombe solar wall integrating microencapsulated (PCM)," *Energy Procedia*, vol. 122, pp. 1009-1014, 2017.
- [6] F. Fiorito, "Trombe walls for lightweight buildings in temperate and hot climates exploring the use of phase change materials for performances improvement," *Energy Procedia*, vol. 30, pp. 1110–1119, 2012.
- [7] G. P. Panayiotou, S. A. Kalogirou and S. A. Tassou, "Evaluation of the application of phase change materials (PCM) on the envelope of a typical dwelling in the mediterranean region," *Renewable Energy*, vol. 97, pp. 24-32, 2016.
- [8] L. Kancane, R. Vanaga and A. Blumberga, "Modeling of building envelope's thermal properties by applying phase change materials," *Energy Procedia*, vol. 95, pp. 175-180, 2016.
- [9] A. Tokuç, "Faz değişim malzemelerinin ısı enerji depolama amacıyla yapı elemanlarında kullanılması," Doktora tezi, Mimarlık Bölümü, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 2013.
- [10] G. Evola, L. Marletta and F. Sicurella, "A methodology for investigating the effectiveness of PCM wallboards for summer thermal comfort in buildings," *Building Environment*, vol. 59, pp. 517-527, 2013.
- [11] N. Soares, J. J. Costa, A. R. Gasparand and P. Santos, "Review of passive PCM latent heat thermal energy storage systems towards buildings," *Energy Efficiency*, vol. 59, pp. 82-103, 2013.
- [12] P. Schossig, H. M. Henning, S. Gschwanderand and T. Haussmann, "Microencapsulated phase-change materials integrated into construction materials," *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 89, no. 2–3, pp. 297-306, 2005.
- [13] Katahdin Cedar Log Homes. (2013, August 15). Green tip: Thermal mass insulation through phase change materials. [Online]. Available: <https://www.katahdincedarloghomes.com/blog/green-tip-thermal-mass-insulation-through-phase-change-materials/>.
- [14] E. Leang, P. Tittlein, L. Zalewskiand and S. L. Enghok, "Numerical study of a composite trombe solar wall integrating microencapsulated (PCM)," *Energy Procedia*, vol. 122, pp. 1009-1014, 2017.
- [15] A. Graciaa and L. F. Cabeza, "Phase change materials and thermal energy storage for buildings," *Energy and Buildings*, vol. 103, no. 15, pp. 414-419, 2015.

- [16] F. Kuznik, J. Virgone and J. Noel, "Optimization of a phase change material wallboard for building use," *Applied Thermal Engineering*, vol. 28, no. 11–12, pp. 1291–1298, 2008.
- [17] A. D. Gracia and L. F. Cabeza, "Phase change materials and thermal energy storage for buildings," *Energy and Buildings*, vol. 103, no. 15, pp. 414–419, 2015.
- [18] F. Kuznik, J. Virgone and J. J. Roux, "Energetic efficiency of room wall containing PCM wallboard: a full-scale experimental investigation," *Energy and Buildings*, vol. 40, no. 2, pp. 148–156, 2008.
- [19] L. Kancane, R. Vanaga and A. Blumberga, "Modeling of building envelope's thermal properties by applying phase change materials," *Energy Procedia*, vol. 95, pp. 175–180, 2016.
- [20] A. K. Çırakman, "Faz değiştiren madde içeren bina güney duvarının deneysel olarak incelenmesi," Doktora tezi, Makine Mühendisliği Bölümü, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, Türkiye, 2010.
- [21] Y. Konuklu, "Mikrokapsüllenmiş faz değiştiren maddelerde termal enerji depolama ile binalarda enerji tasarrufu," Doktora tezi, Kimya Bölümü, Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye, 2008.
- [22] L. Zalewski, A. Joulin, S. Lassue, Y. Dutil and D. Rouse, "Experimental study of small-scale solar wall integrating phase change material," *Solar Energy*, vol. 86, no. 1, pp. 208–219, 2012.
- [23] B. M. Diaconu and M. Cruceru, "Novel concept of composite phase change material wall system for year-round thermal energy savings," *Energy and Buildings*, vol. 42, no. 10, pp. 1759–1772, 2010.
- [24] F. Guarino, V. Dermardiros, Y. Chen, J. Rao, A. Athienitis, M. Cellura and M. Mistretta, "PCM thermal energy storage in buildings: experimental study and applications," *Energy Procedia*, vol. 70, pp. 219–228, 2015.
- [25] G. P. Panayiotou, S. A. Kalogirou and S. A. Tassou, "Evaluation of the application of phase change materials (PCM) on the envelope of a typical dwelling in the mediterranean region," *Renewable Energy*, vol. 97, pp. 24–32, 2016.
- [26] A. Laaouatni, N. Martaj, R. Bennacer, E.O. Mohamed Mohammed and E. Ganaoui, "Phase change materials for improving the building thermal inertia," *Energy Procedia*, vol. 139, pp. 744–749, 2017.
- [27] Z. Wuand and M. Q. Z. Chen, "Phase change humidity control material and its application in buildings," *Procedia Engineering*, vol. 205, pp. 1011–1018, 2017.
- [28] S. Ramakrishnan, X. Wang, J. Sanjayan and J. Wilson, "Experimental and numerical study on energy performance of buildings integrated with phase change materials," *Energy Procedia*, vol. 105, pp. 2214–2219, 2016.
- [29] Y. Han and J.E. Taylor, "Simulating the impact of phase change material embedded building envelopes on the inter-building effect in non-tropical cities," *Procedia Engineering*, vol. 118, pp. 760–765, 2015.
- [30] W. I. W. M. Nazi, Y. Wang, H. Chen, X. Zhang and A. P. Roskilly, "Passive cooling using phase change material and insulation for high-rise office building in tropical climate," *Energy Procedia*, vol. 142, pp. 2295–2302, 2017.

- [31] Y. Li, J. Darkw and W. Su, "Investigation on thermal performance of an integrated phase change material blind system for double skin façade buildings," *Energy Procedia*, vol. 158, pp. 5116–5123, 2019.
- [32] M. Auzeby, S. Wei, C. Underwood, C. Chen, H. Lin., S. Pan, B. Ng, J. Tindall and R. Buswell, "Using phase change materials to reduce overheating issues in UK residential buildings," *Energy Procedia*, vol. 105, pp. 4072-4077, 2017.
- [33] T. Mols, K. P. Dzene, R. Vanaga, R. Freimanis and A. Blumberga, "Experimental study of small-scale passive solar wall module with phase change material and fresnel lens," *Energy Procedia*, vol. 147, pp. 467–473, 2018.
- [34] Y. Li, W. Liang, J. Zhou and E. Long, "Experimental study on thermal performance improvement of building envelopes integrated with phase change materials in an air-conditioned room," *Procedia Engineering*, vol. 205, pp. 190–197, 2017.
- [35] F. Guarino, S. L. M. Cellura, M. Mistretta and V. La Rocca, "Phase change materials applications to optimize cooling performance of buildings in the mediterranean area: a parametric analysis," *Energy Procedia*, vol. 78, pp. 1708-1713, 2015.
- [36] Y. Li, Y. Wang, X. Meng, M. Wang and E. Long, "Research on indoor thermal environment improvement of lightweight building integrated with phase change material under different climate conditions," *Procedia Engineering*, vol. 121, pp. 1628-1634, 2015.
- [37] A. S. Bejan and T. Catalina, "The implementation of phase changing materials in energy efficient buildings. case study: efden project," *Energy Procedia*, vol. 85, pp. 52-59, 2016.
- [38] Q. Ma, H. Fukuda, X. Wei and A. Hariyadi, "Optimizing energy performance of a ventilated composite trombe wall in an office building," *Renewable Energy*, vol. 134, pp. 1285-1294, 2018.
- [39] E. Meng, H. Yuand and B. Zhou, "Study of the thermal behavior of the composite phase change material (PCM) room in summer and winter," *Applied Thermal Engineering*, vol. 126, pp. 212–225, 2017.
- [40] S. Soudian and U. Berardi, "Experimental investigation of latent thermal energy storage in highrise residential buildings in Toronto," *Energy Procedia*, vol. 132, pp. 249–254, 2017.
- [41] J. Xie, W. Wang, J. Liu and S. Pan, "Thermal performance analysis of PCM wallboards for building application based on numerical simulation," *Solar Energy*, vol. 162, pp. 533–540, 2018.
- [42] S. Li, N. Zhu, P. Hu, F. Lei and R. Deng, "Numerical study on thermal performance of PCM trombe wall," *Energy Procedia*, vol. 158, pp. 2441–2447, 2019.
- [43] S. M. Sajjadian, J. Lewis and S. Sharples, "The potential of phase change materials to reduce domestic cooling energy loads for current and future UK climates," *Energy and Buildings*, vol. 93, pp. 83–89, 2015.
- [44] P. Principi, C. Di Perna, G. Borrelli and A. Carbonari, "Experimental energetic evaluation of changeable thermal inertia PCM containing walls," presented at 482th International Conference Passive and Low Energy Cooling for the Built Environment, Santorini, Greece, 2005, pp. 481-486
- [45] P. Schossig and H.M. Henning, S. Gschwander ve T. Haussmann, "Microencapsulated phase-change materials integrated into construction materials," *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 89, no. 2–3, pp. 297–306, 2005.

- [46] D. Zhou, C. Y. Zhao and Y. Tian, "Review on thermal energy storage with phase change materials (PCMs) in building applications," *Applied Energy*, vol. 92, pp. 593–605, 2012.
- [47] N. Soares, J.J. Costa, A.R. Gaspar and P. Santos, "Review of passive pcm latent heat thermal energy storage systems towards buildings energy efficiency," *Energy and Buildings*, vol. 59, pp. 82–103, 2013.
- [48] A. Karaoulis, "Investigation of energy performance in conventional and lightweight building components with the use of phase change materials (PCMs): energy savings in summer season," *Procedia Environmental Sciences*, vol. 38, pp. 796–803, 2017.
- [49] E. Köse and G. Manioğlu, "Evaluation of the performance of phase change materials in relation to balanced distribution of heating energy cost in residential buildings," *REHVA Journal*, vol. 2, pp. 52–57, 2018.
- [50] A.I. Mays, R. Ammar, M. Hawa and M. A. A. Farouk, "Using phase change material in under floor heating," *Energy Procedia*, vol. 119, pp. 806–811, 2017.
- [51] M. Alama, J. Sanjayan, X. W. Patrick, Z. S. Ramakrishnan and J. Wilson, "A comparative study on the effectiveness of passive and free cooling application methods of phase change materials for energy efficient retrofitting in residential buildings," *Procedia Engineering*, vol. 180, pp. 993–1002, 2016.
- [52] T. Knowles, "Proportioning composites for efficient thermal storage walls," *Solar Energy*, vol. 31, no. 3, pp. 319–326, 1983.
- [53] M. M. Farid, A. M. Khudhai, S. Ali and K. Razack, "A review on phase change energy storage: materials and applications," *Energy Conversion and Management*, vol. 45, pp. 1597–1615, 2004.
- [54] Y. Cui, J. Xie, J. Liu and S. Pan, "Review of phase change materials integrated in building walls for energy saving," *Procedia Engineering*, vol. 121, pp. 763–770, 2015.
- [55] K. Cellat, "Binalarda enerji tasarrufu için güneş enerjisini faz değiştiren maddede pasif depolayan yeni beton karışımların geliştirilmesi ve uygulanması," Doktora tezi, Kimya Bölümü, Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye, 2017.
- [56] M. M. Farid, A. M. Khudhair, S. A. K. Razack and S. Al-Hallaj, "A review on phase change energy storage: materials and applications," *Energy Conversion and Management*, vol. 45, pp. 1597–1615, 2004.
- [57] A. V. Pasupathy and R. Velraj, "Phase change material based thermal storage for energy conservation in building architecture," *International Energy Journal*, vol. 7, no. 2, pp. 147–159, 2006.
- [58] H. B. Madessa, "A review of the performance of buildings integrated with phase change material: opportunities for application in cold climate," *Energy Procedia*, vol. 62, pp. 318 – 328, 2014.
- [59] L. Navarro, A. D. Garcia, C. Solé, A. Castelland and L. F. Cabeza, "Thermal loads inside buildings with phase change materials: experimental results," *Energy Procedia*, vol. 30, pp. 342 – 349, 2012.
- [60] N. Hanchi, H. Hamza, J. Lahjomri and A. Oubarra, "Thermal behavior in dynamic regime of a multilayer roof provided with two phase change materials in the case of a local conditioned," *Energy Procedia*, vol. 139, pp. 92–97, 2017.

- [61] V. D. Cao, S. Pilehvar, C. Salas-Bringas, A. M. Szczotok, J. F. Rodriguez, M. Carmona, N. Al-Manasir and A. L. Kjøniksen, “Microencapsulated phase change materials for enhancing the thermal performance of portland cement concrete and geopolymer concrete for passive building applications,” *Energy Conversion and Management*, vol. 133, pp. 56–66, 2017.
- [62] A. L. Pisello, V. L. Castaldo and F. Cotana, “Dynamic thermal-energy performance analysis of a prototype building with integrated phase change materials,” *Energy Procedia*, vol. 81, pp. 82-88, 2015.
- [63] *Binalarda ısı yalıtım kuralları*, Türk Standartlar Enstitüsü TS825, 2010.
- [64] Design Builder, *Bilgisayar Programı*, v6.1.8.021 versiyon, Gloucestershire (UK), DesignBuilder Software Limited, 2021.



Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

Three-phase Active Tracking AC-AC Voltage Regulator based on Buck Converter with an Efficient Hybrid Control Technique

 Faruk YALÇIN ^{a,*},  Felix A. HIMMELSTOSS ^b

^a Department of Mechatronics Engineering, Faculty of Technology, Sakarya University of Applied Sciences, Sakarya, TURKEY

^b Department of Electronic Engineering, University of Applied Sciences Technikum Wien, Vienna, AUSTRIA

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

DOI: 10.29130/dubited.923829

ABSTRACT

This study proposes a switch-mode three-phase active tracking AC-AC voltage regulator based on the buck converter. The regulator topology incorporates a moderate number of components with less complexity and high efficiency. An efficient hybrid control technique, based on a closed-loop PID controller that is supported with a new designed feedforward controller, is proposed for the regulator control different to the similar studies in the literature. The hybrid control technique augments the response of active tracking of the reference output phase voltages to achieve an improved quality close to sine-wave output phase voltages for either the input AC phase voltages that are ideal pure sine-wave or include various harmonics. The regulator topology has a modular structure for independent control of each output phase. So, the regulator can help to achieve close to sine-wave output phase voltages to supply a balanced/unbalanced wye-connected three-phase load or independent single-phase loads. The presented three-phase regulator and the control technique are tested with simulation and experimental studies. The laboratory set-up of the regulator is designed for 2.2 kW output power, 0-300 V_p input phase voltages (50 Hz), and 0-200 V_p output phase voltages. The results demonstrated that the proposed switch-mode three-phase buck-type active tracking voltage regulator can provide the desired AC phase voltages with less than 5% THD (total harmonic distortion) and low harmonics for different operating conditions.

Keywords: Buck converter, AC-AC regulator, Three-phase, Active tracking, THD

Etkili Bir Hibrit Kontrol Tekniği ile Alçaltıcı Çevirici Tabanlı Üç Faz Aktif İzleyen AA-AA Gerilim Regülatörü

Öz

Bu çalışma, alçaltıcı çevirici tabanlı anahtarlama mod aktif izleyen bir AA-AA gerilim regülatörü sunmaktadır. Regülatör topolojisi az karmaşıklık ve yüksek verimlilik sağlayacak şekilde makul sayıda eleman içermektedir. Literatürdeki benzer çalışmalardan farklı olarak, bu çalışmada regülatörün kontrolü için kapalı çevrim PID kontrolcünün yeni tasarlanan bir ileri beslemeli kontrolcü ile desteklenmesi tabanlı etkili bir hibrit kontrol tekniği önerilmiştir. Hibrit kontrol tekniği, giriş AA faz gerilimlerinin ideal saf sinüs dalgası olması ya da farklı harmonikler içermesi durumunda dahi iyileştirilmiş kalitede sinüs formuna yakın çıkış faz gerilimlerinin elde edilebilmesi için referans çıkış faz gerilimlerinin aktif izlenmesi cevabını arttırmaktadır. Regülatör topolojisi her bir çıkış fazının bağımsız olarak kontrol edilebilmesini sağlayan modüler bir yapıya sahiptir. Böylelikle regülatör, dengeli/dengesiz yıldız bağlı üç fazlı bir yükün ya da birbirinden bağımsız tek fazlı yüklerin beslenmesi için sinüs dalga formuna yakın çıkış faz gerilimlerinin elde edilebilmesine yardımcı olmaktadır. Sunulan üç fazlı regülatör ve kontrol tekniği simülasyon ve deneysel çalışmalarla test edilmiştir. Regülatöre ait laboratuvar test düzeneği 2.2 kW çıkış gücü, 0-300 V_p giriş faz gerilimleri (50 Hz) ve 0-200 V_p çıkış faz

gerilimleri için tasarlanmıştır. Elde edilen sonuçlar, önerilen anahtarlamalı mod üç faz alçaltıcı tip aktif izlemeli gerilim regülatörünün farklı çalışma koşullarında %5 ten az THD (toplam harmonik distorsiyonu) değerine sahip istenen AA faz gerilimlerini sağlayabildiğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Alçaltıcı çevirici, AA-AA regülatörü, Üç faz, Aktif izleyen, THD

I. INTRODUCTION

One of the major problems of AC loads in power systems is decreasing power quality caused by increasing electrical power demand. AC loads, need to be supplied by alternating voltages with determined acceptable voltage magnitudes, where most of the AC loads require nearly constant magnitudes of the phase voltages. Transient effects in distribution systems decrease the power quality of the AC loads and lead to voltage sags or voltage swells. In addition, variable AC voltages (not the same as the constant grid voltages) may be required for some AC loads in applications such as motor controls. Depending on the mentioned reasons, various solutions are developed for AC regulation and the studies for this area still go on.

In order to regulate the voltage variations of the distribution systems, voltage conditioners [1,2], voltage sag/swell compensators [3,4], voltage sag supporters [5,6], DVRs (dynamic voltage restorers) [7,8], etc., that are FACTS (flexible AC transmission systems) devices, are successfully incorporated to the power systems and efficient results are achieved. By these devices, the provision of the requested distribution network voltages for the buses of the AC loads can be obtained. For this reason, it cannot be possible to regulate individual AC loads voltages by this technique. An additional coupling transformer is required for these VSIs (voltage source inverter) based FACTS devices regulators. A DC-AC converter topology or an AC-DC-AC converter topology may be constructed for the mentioned FACTS devices' VSIs. Batteries or capacitors that are independent external DC storage systems are required for the DC-AC converter-based VSIs. For this reason, VSIs based on DC-AC converters are not capable of accurate compensation of voltage sags or voltage swells. In addition external storage unit capacities restrict the capabilities of the AC-DC-AC converters-based VSIs incorporate AC-DC structure in the main topology. Thus, need for external storage systems is not necessary in AC-DC-AC converters. Nevertheless, increased total loss of the AC-DC-AC converter-based FACTS devices, because of the additional AC-DC unit, brings a disadvantage compared to the DC-AC based FACTS regulators.

In order to avoid using an additional coupling transformer like in the FACTS-based regulators, AC-DC-AC based VSIs may be applied directly for voltage regulation for AC loads [9,10]. Another advantage of the mentioned VSIs is that they can regulate the voltages of each AC load through the distribution voltages, if the distribution voltage is in the determined level or not. Nevertheless, direct AC-AC conversion is not possible in these VSIs. Total AC-AC conversion is done in two stages, AC to DC and then DC to AC conversion. It is clear that this increases the total loss and this causes a disadvantage for using VSIs for voltage regulation.

Apart from the regulation solutions mentioned above, it is evident that direct AC to AC conversion provides superiority regarding less complexity and improved voltage regulation capabilities. Many kinds of AC-AC regulator topologies are proposed by the researchers in the literature. AC-AC PWM-based choppers can provide desirable AC voltage regulation [11]. Because of chopping the input sine wave to regulate the output voltage level, the output voltage includes high-level high-frequency harmonics and it is far from the ideal sine wave. Because of this situation, using additional filtering units such as passive filters or coupling transformers is essential to reduce the harmonics of the regulator output voltage. The researchers study AC-AC regulators based on switch-mode operation such as buck [12-16], boost [17,18], and buck-boost [19,20] type regulators for AC regulation for a long time. As the mentioned AC-AC regulators operate in switch-mode and have an internal filtering structured topology, close to sine-wave output voltages without the need for additional filtering units to eliminate the output voltage harmonics can be provided. Reduced number of elements is required in

these regulator topologies. The in the literature proposed switch-mode AC-AC regulators obtain successful results. However, input AC voltages are assumed as ideal sine waves in these studies and non-sinusoidal input voltage cases are not considered. But, because of distortions in distribution networks, the input supply voltages of the AC loads can have harmonics and can be far from sine wave. Because of this, AC-AC regulators must eliminate the voltage harmonics during the AC regulation process. As the AC loads have to be supplied by as close as possible to ideal sine-wave voltages, where THD is under 5% [21], the harmonic elimination capability of AC-AC regulators becomes an important issue.

A three-phase buck-type active tracking AC-AC voltage regulator is developed in this paper. For the active tracking of the demanded reference output sine-wave phase voltages, an improved control technique is presented for the regulator operation control. The proposals for the regulator topology and the control technique are patented by the co-author of this paper [22]. The proposed regulator topology has a reduced numbers of components, just twelve switches, three capacitors, and three inductors. The buck-type structure of the proposed three-phase regulator allows to obtain voltage amplitudes for each output phase that is lower than the input voltage amplitudes of each input phase in a wide range. The regulator topology has a modular structure for independent control of each output phase. So, the regulator can achieve close to sine-wave output phase voltages to supply a balanced/unbalanced wye-connected three-phase load or independent single-phase loads. The proposed control technique has a new hybrid control structure unlike similar studies in the literature. A closed-loop PID controller is supported by a new feedforward controller in this hybrid control technique. In this way, an enhancement of the active tracking of the reference sine-wave output phase voltages is provided to obtain as close as possible sine-wave output phase voltages, when the input phase voltages are either pure sines or not. The presented three-phase regulator and the control technique are tested with simulation and experimental studies. The results have demonstrated that the proposed switch-mode three-phase buck-type active tracking voltage regulator can provide the desired AC phase voltages including lower than 5% THD harmonics for different operating conditions.

II. THE THREE-PHASE BUCK AC-AC REGULATOR

In this section, the topology of the proposed three-phase AC-AC regulator based on the buck converter, as well as the regulator's operation procedure and the dynamic analysis are described.

A. THE REGULATOR'S TOPOLOGY

Figure 1 shows the main circuit of the proposed three-phase AC-AC regulator based on the buck converter [22].

As seen in Figure 1, the proposed three-phase AC-AC regulator is comprised of three buck converter based sub-circuits that are connected to each other as wye-connection at a common point. This point is the neutral point (N). The second-order subscripts "1,2,3" represent the phase number of the three-phase and this is represented generally in the study as "n" where $n=1,2,3$. To have a neutral return, the regulator sub-circuits' neutral point N and the three-phase load neutral are linked together. So, modular three independent single-phase or three-phase unbalanced regulator operation can also be achieved by the structure of the proposed regulator topology.

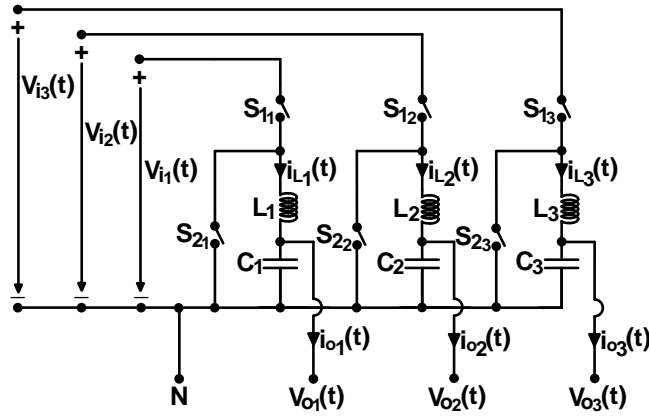


Figure 1. General topology of the proposed three-phase buck-type AC-AC regulator

Input AC phase voltages, output AC phase voltages, inductors, and capacitors are represented by V_{in} , V_{on} , L_n , and C_n , respectively in Figure 1. S_{1n} and S_{2n} are the bidirectional active switches. S_{1n} and S_{2n} are realized with IGBTs. So, the proposed regulator circuit, where IGBTs are used, can be given in Figure 2.

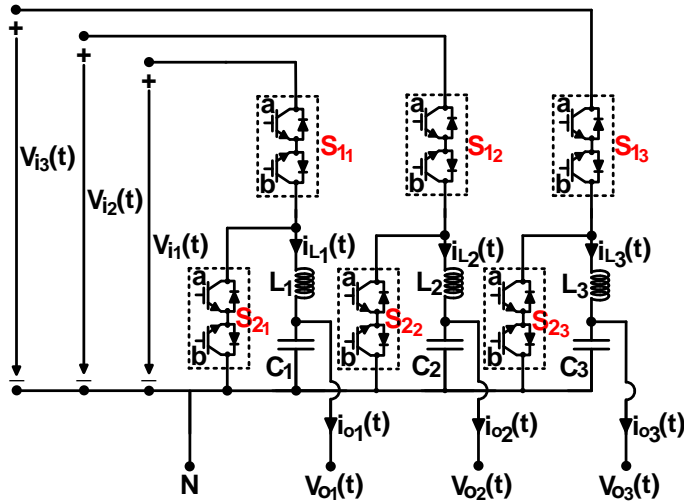


Figure 2. Proposed three-phase buck-type AC-AC regulator with IGBTs

B. THE REGULATOR'S OPERATION PROCEDURE

The proposed three-phase AC-AC regulator's operation procedure is based on the well-known traditional buck converter. In the study, each phase sub-circuits is structured identically. The instant input phase voltages $V_{in}(t)$ are bucked at the output and $V_{on}(t)$ phase output voltages are obtained based on the control of PWM duty ratios (d_n) of S_{1n} . In this way, the output phase voltages are produced as AC phase voltages with the same polarity as the input phase voltages, but with lower amplitude values than that of the input phase voltage values. S_{2n} play the roles as the supplementary switches of S_{1n} . While S_{1n} are turned on, S_{2n} are turned off. The inductors, capacitors and output phase loads are supplied by V_{in} in this stage. While S_{1n} are turned off, S_{2n} are turned on. The pre-energized inductors supply the capacitors and output phase the loads in this stage.

The V_{in} input phase voltages' polarities change at each half period, because the input phase voltages V_{in} are alternating voltages. Thus, the on-off states of the sub-active switches of the bidirectional active switches S_{1n} and S_{2n} need to change for each half-period of the input phase voltages depending on the polarities. In Table 1, the details for control of S_{1n} and S_{2n} active switches are shown in detail.

Table 1. Control signal of IGBTs used in Figure 2 as part of the bidirectional S_{1n} and S_{2n} active switches.

State	S_{1n}				S_{2n}			
	Positive Half-Wave Stage		Negative Half-Wave Stage		Positive Half-Wave Stage		Negative Half-Wave Stage	
	S_{1an}	S_{1bn}	S_{1an}	S_{1bn}	S_{2an}	S_{2bn}	S_{2an}	S_{2bn}
ON	on	off	off	on	off	on	on	off
OFF	off	off	off	off	off	off	off	off

Figure 3 summarizes the IGBTs' switching pattern in detail.

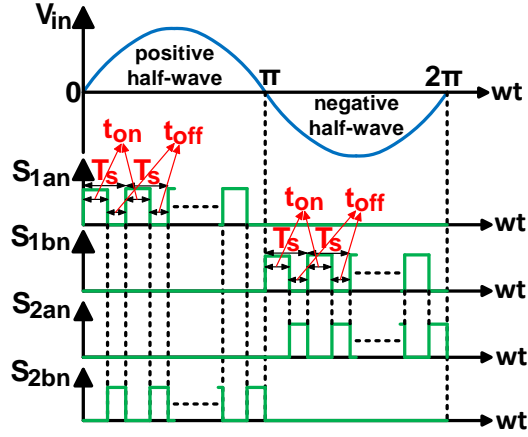


Figure 3. Switching pattern of the IGBTs

Figure 4 summarizes the equivalent sub-circuits of the proposed regulator topology for one cycle sine-wave input voltage depending on Figure 2 and the proper control of the active switches as given in Table 1.

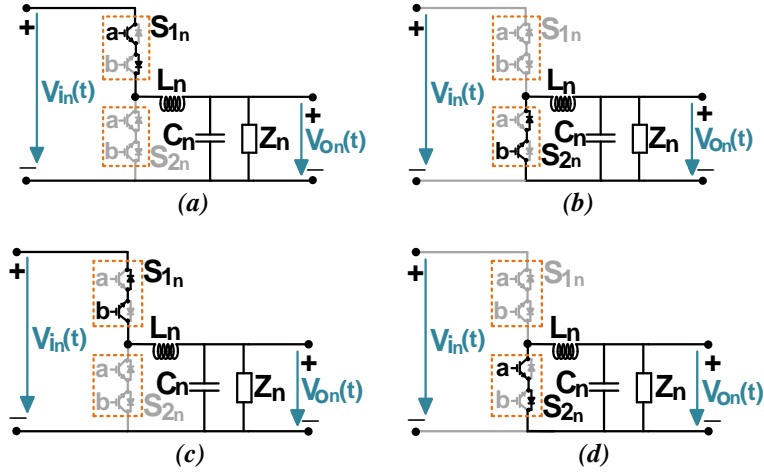


Figure 4. Equivalent sub-circuits of the proposed buck type regulator (a) Positive half-wave output stage, on mode (S_{1n} is on, S_{2n} is off), (b) Positive half-wave output stage, off mode (S_{1n} is off, S_{2n} is on), (c) Negative half-wave output stage, on mode (S_{1n} is on, S_{2n} is off), (d) Negative half-wave output stage, off mode (S_{1n} is off, S_{2n} is on)

So, the two main stages given below summarize the proposed regulator's output phase voltage producing operation for one cycle according to Figure 3 and Figure 4.

Stage 1 ($0 \leq wt < \pi$): In this stage, the input phase voltage is in positive half-wave periods regarding the defined polarities. While the PWM on-stages of S_{1n} (S_{2n} are off), S_{1an} are turned on, S_{1bn} are turned off

and both S_{2an} and S_{2bn} are turned off. While the PWM off-stages of S_{1n} (S_{2n} are on), both S_{1an} and S_{1bn} are turned off, S_{2an} are turned off, and S_{2bn} are turned on. The positive half sine-wave phase output voltages are generated by the phase input voltages based on the continuous proper control of d_n that are the PWM duty ratios of S_{1n} .

Stage 2 ($\pi \leq \omega t < 2\pi$): In this stage, the input phase voltage is in negative half-wave periods regarding the defined polarities. While the PWM on-stages of S_{1n} (S_{2n} are off), S_{1bn} are turned on, S_{1an} are turned off and both S_{2an} and S_{2bn} are turned off. While the PWM off-stages of S_{1n} (S_{2n} are on), both S_{1an} and S_{1bn} are turned off, S_{2bn} are turned off, and S_{2an} are turned on. The negative half sine-wave phase output voltages are generated by the phase input voltages based on the continuous proper control of d_n that are the PWM duty ratios of S_{1n} .

C. THE DYNAMIC ANALYSIS

This section gives the detailed dynamic analysis of the proposed three-phase AC-AC regulator based on buck converter. In order to provide precise analysis for real-time applications, parasitic effects of the elements used in the topology are taken into account during the analysis.

The proposed regulator's equivalent circuit for the positive half-wave input stage is given in detail in Figure 5. The same IGBTs used in the study are selected. So the equivalent circuits in Figure 5 are valid for each phase sub-circuits.

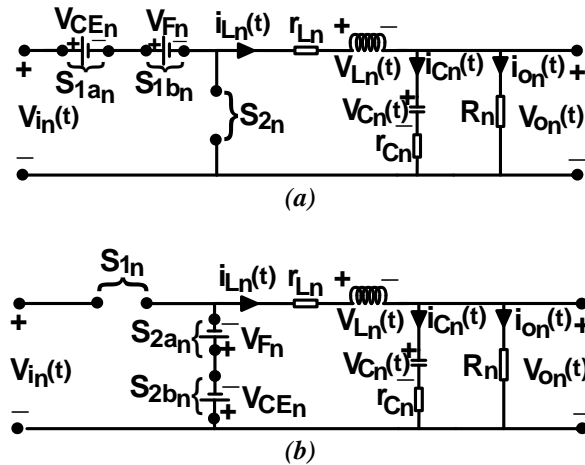


Figure 5. Positive half-wave stage equivalent circuit of the regulator (a) on-mode – S_{1n} is turned on and S_{2n} is turned off, (b) off-mode – S_{1n} is turned off and S_{2n} is turned on

In Figure 5, i_{on} , i_{Ln} , i_{Cn} , V_{Ln} , V_{Cn} , V_{Fn} , V_{CEn} , r_{Ln} , r_{Cn} , and R_n represent the output currents, inductor currents, capacitor currents, inductor voltages, capacitor voltages, forward biasing voltages of the IGBTs' anti-parallel diodes, collector-emitter on-voltages of the IGBTs, equivalent series resistances (ESRs) of the inductors, ESRs of the capacitors, and output phase load resistances, respectively.

The regulator's dynamic analysis can be done for the positive half-wave input stage according Figure 5. The dynamic equations of the output voltages and inductor currents can be obtained for the two modes, on-mode and off-mode from Figure 5.

On-mode (S_{1n} are on and S_2 are off): The inductor currents' and the output voltages' state equations can be obtained from Figure 5a for on-mode, respectively as follows.

$$\frac{di_{L_n}(t)}{dt} = -\frac{1}{L_n} r_{L_n} i_{L_n}(t) - \frac{1}{L_n} V_{o_n}(t) + \frac{1}{L_n} [V_{i_n}(t) - V_{CE_n} - V_{F_n}] \quad (1)$$

$$\frac{dV_{o_n}(t)}{dt} = \frac{R_n}{R_n + r_{C_n}} \left[\frac{1}{C_n} - \frac{r_{C_n} r_{L_n}}{L_n} \right] i_{L_n}(t) - \frac{R_n}{R_n + r_{C_n}} \left[\frac{r_{C_n}}{L_n} + \frac{1}{R_n C_n} \right] V_{o_n}(t) + \frac{r_{C_n} R_n}{(R_n + r_{C_n}) L_n} [V_{i_n}(t) - V_{CE_n} - V_{F_n}] \quad (2)$$

Off-mode (S_{1n} are off and S_2 are on): The inductor currents' and the output voltages' state equations can be obtained from Figure 5b for off-mode, respectively as follow.

$$\frac{di_{L_n}(t)}{dt} = -\frac{1}{L_n} r_{L_n} i_{L_n}(t) - \frac{1}{L_n} V_{o_n}(t) - \frac{1}{L_n} [V_{CE_n} + V_{F_n}] \quad (3)$$

$$\frac{dV_{o_n}(t)}{dt} = \left(\frac{R_n}{R_n + r_{C_n}} \right) \left[\frac{1}{C_n} - \frac{r_{C_n} r_{L_n}}{L_n} \right] i_{L_n}(t) - \left(\frac{R_n}{R_n + r_{C_n}} \right) \left(\frac{r_{C_n}}{L_n} + \frac{1}{R_n C_n} \right) V_{o_n}(t) - \frac{r_{C_n} R_n}{(R_n + r_{C_n}) L_n} [V_{CE_n} + V_{F_n}] \quad (4)$$

Through (1) and (2), the state-space model equations of on-mode can be determined as shown below,

$$\begin{bmatrix} \dot{i}_{L_n}(t) \\ V_{o_n}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{r_{L_n}}{L_n} & -\frac{1}{L_n} \\ \frac{R_n}{R_n + r_{C_n}} \left[\frac{1}{C_n} - \frac{r_{C_n} r_{L_n}}{L_n} \right] & -\frac{R_n}{R_n + r_{C_n}} \left[\frac{r_{C_n}}{L_n} + \frac{1}{R_n C_n} \right] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{L_n}(t) \\ V_{o_n}(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L_n} & -\frac{1}{L_n} & -\frac{1}{L_n} \\ \left(\frac{R_n}{R_n + r_{C_n}} \frac{r_{C_n}}{L_n} \right) & -\left(\frac{R_n}{R_n + r_{C_n}} \frac{r_{C_n}}{L_n} \right) & -\left(\frac{R_n}{R_n + r_{C_n}} \frac{r_{C_n}}{L_n} \right) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{i_n}(t) \\ V_{CE_n} \\ V_{F_n} \end{bmatrix} \quad (5)$$

Through (3) and (4), the state-space model equations of off-mode can be determined as below,

$$\begin{bmatrix} \dot{i}_{L_n}(t) \\ V_{o_n}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{r_{L_n}}{L_n} & -\frac{1}{L_n} \\ \frac{R_n}{R_n + r_{C_n}} \left[\frac{1}{C_n} - \frac{r_{C_n} r_{L_n}}{L_n} \right] & -\frac{R_n}{R_n + r_{C_n}} \left(\frac{r_{C_n}}{L_n} + \frac{1}{R_n C_n} \right) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{L_n}(t) \\ V_{o_n}(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & -\frac{1}{L_n} & -\frac{1}{L_n} \\ 0 & -\left(\frac{R_n}{R_n + r_{C_n}} \frac{r_{C_n}}{L_n} \right) & -\left(\frac{R_n}{R_n + r_{C_n}} \frac{r_{C_n}}{L_n} \right) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{i_n}(t) \\ V_{CE_n} \\ V_{F_n} \end{bmatrix} \quad (6)$$

As mentioned before, the dynamic analysis presented above is derived for the positive half-wave input case. The same state-space equations of (5) and (6) can also be derived when a similar dynamic analysis is performed for the negative half-wave input case. Thus, it is clear that the state-space equations (5) and (6) provide the validity for both negative and positive half-wave input cases. So, the small signal transfer functions between PWM duty ratios and the output phase voltages can be determined using (5) and (6) as

$$G_{buck_n}(s) = \frac{\hat{V}_{o_n}(s)}{d_n(s)} = \frac{g_n s + (a_n g_n + c_n f_n)}{s^2 + (a_n + e_n)s + (a_n e_n - b_n c_n)}. \quad (7)$$

The coefficients used in (7) are:

$$a_n = \frac{r_{L_n}}{L_n} \quad (8)$$

$$b_n = -\frac{1}{L_n} \quad (9)$$

$$c_n = \frac{R_n}{R_n + r_{C_n}} \left[\frac{1}{C_n} - \frac{r_{C_n} r_{L_n}}{L_n} \right] \quad (10)$$

$$e_n = \frac{R_n}{R_n + r_{C_n}} \left[\frac{r_{C_n}}{L_n} + \frac{1}{R_n C_n} \right] \quad (11)$$

$$f_n = \frac{\bar{V}_{i_n}}{L_n} \quad (12)$$

$$g_n = \frac{r_{C_n} R_n}{(R_n + r_{C_n}) L_n} \bar{V}_{i_n} \quad (13)$$

In (12)-(13), \bar{V}_{i_n} define the input phase voltages at the operating point.

III. THE PROPOSED HYBRID CONTROL TECHNIQUE FOR THE REGULATOR'S OPERATION

In this section, the proposed hybrid control technique, which is applied for the control of the proposed AC-AC regulator, is given in detail. Figure 6 shows the general control diagram of the proposed regulator.

As seen in Figure 6, the PLLs provide determine the frequencies and the wave-form of the reference signal of the AC phase voltages and V_m determine the magnitudes of the reference output AC phase voltages. So, the desired sine-wave reference AC output phase voltages can be obtained according to

$$\left. \begin{aligned} V_{ref_1}(wt) &= V_{r_1} \sin w_1 t \\ V_{ref_2}(wt) &= V_{r_2} \sin(w_2 t - 120^\circ) \\ V_{ref_3}(wt) &= V_{r_3} \sin(w_3 t + 120^\circ) \end{aligned} \right\}. \quad (14)$$

As demonstrated in Figure 6, the proposed hybrid controller is constructed with two main units. One of these units is the traditional closed-loop PID controller. The PID controller eliminates of the error between the real output voltage and the reference and satisfies the desired response performance in the design. The hybrid controller's other unit is the feedforward controller. It is developed in this study and called "control law (CL)" as seen in Figure 6. Open-loop based CL provides a PWM duty ratio regarding the topology parameters as given below.

$$d_{CL_n}(wt) = \sqrt{\frac{2L_n |V_{r_n} \sin w_n t| (|V_{r_n} \sin w_n t| + V_{CE_n} + V_{F_n})}{|V_{i_n}(wt)| (|V_{i_n}(wt)| - |V_{r_n} \sin w_n t| - V_{CE_n} - V_F) T_{S_n} R_n}} \quad (15)$$

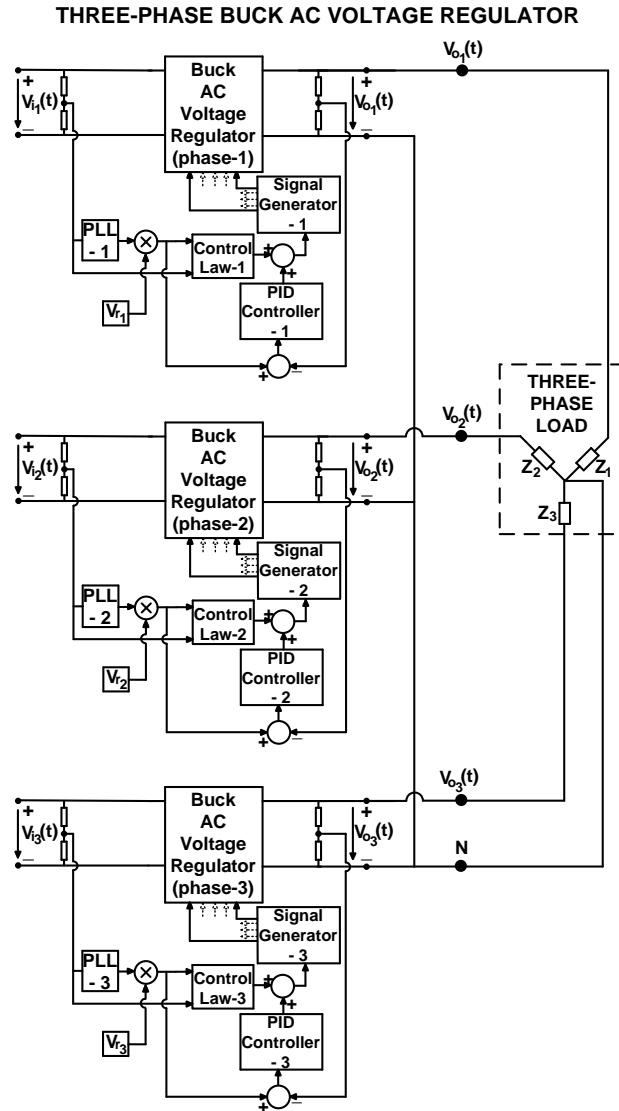


Figure 6. General control diagram of the proposed regulator

T_s represents the PWM switching period in (15). It is not possible to achieve the reference output voltage only by the PWM duty ratio of the CL in (15). But the duty ratio produced by the CL provides a close value to the real duty ratio. (16) shows that the CL has a static structure that can provide a duty ratio and the duty ratio can be obtained in a fast manner. Thus, the requested operating duty ratio works with an enhanced response performance by supporting the PID controller with the CL. In this way, close to ideal sine-waves with low THD can be achieved by the proposed hybrid control as the proposed hybrid control technique provides an active tracking of the reference output voltage in an

efficient and accurate manner. Thus, the CL and the PID controller generate the requested operating PWM duty ratio together as

$$d_n(wt) = d_{PID_n}(wt) + d_{CL_n}(wt) \quad (16)$$

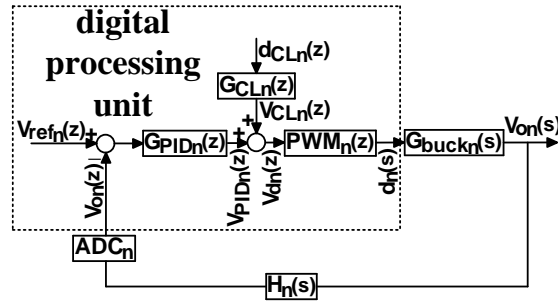


Figure 7. Discrete-time control block diagram based on the proposed hybrid control technique for the buck-type 3-phase regulator

Discrete-time control is chosen for the control of the regulator operation in this paper. Thereby, in Figure 7, the control block diagram of the regulator based on the proposed hybrid control technique can be depicted.

The equations given below which define the relations between the transfer functions and the control signals of the discrete-time control block diagram can be obtained from Figure 7.

$$G_{CL_n}(z) = \frac{1}{PWM_n(z)} \quad (17)$$

$$V_{d_n}(z) = V_{CL_n}(z) + V_{PID_n}(z) \quad (18)$$

$$d_n(z) = V_{d_n}(z) \cdot PWM_n(z) \quad (19)$$

The determined PID controller's transfer function can be expressed in this paper as follows

$$G_{PID_n}(z) = K_p + K_i \frac{z}{z-1} + K_d \frac{z-1}{z} \quad (20)$$

IV. THE SIMULATION AND EXPERIMENTAL RESULTS

The design steps of the proposed regulator are determined and the regulator study results for both the simulation and the experimental tests are given in this section.

A. THE DESIGN CRITERIA FOR THE REGULATOR STUDY

An experimental laboratory set-up of the proposed regulator is built to verify the real-time experimental performance of the proposed regulator. The set-up is designed for 2.2 kW output power, 0-300 Vp input phase voltages (50 Hz), and 0-200 Vp output phase voltages. IXGH20N60BU1 type n-channel high-speed IGBTs ($V_{CES}=600$ V, $V_{CE}=1.7$ V, $V_F=1.6$ V, $I_C=40$ A) are chosen as the active switches in the set-up topology. Table 2 demonstrates the chosen values of the capacitors, the inductors, and the switching frequencies for the regulator circuit's phase sub-units.

Table 2. The selected values of the switching frequencies, inductors and capacitors.

Switching Frequencies f_{sn} (kHz)	Capacitors		Inductors	
	C_n (μF)	r_{Cn} ($m\Omega$)	L_n (μH)	r_{Ln} ($m\Omega$)
50	15	200	50	150

In Table 3, the determined operating point parameters which are used in the discrete time PID controllers design for the phase sub-units are given.

Table 3. The considered operating point parameters of the regulator operation.

\bar{V}_{i_n} (V)	\bar{D}_n	\bar{V}_{o_n} (V)	R_n (Ω)
150	0.5	75	30

The parameters of the PID controller used in (21) are obtained through the optimum design and performance analysis in MATLAB-Sisotool as can be seen below

$$K_{P_n} = -0.045, \quad K_{I_n} = 0.1064, \quad K_{D_n} = 0.0073 \quad (21)$$

B. THE RESULTS OF THE SIMULATION STUDIES

Simulation tests with the proposed hybrid control approach are used to validate the theoretical proposals of the study.

Table 4 gives the applied three different simulation test cases in MATLAB Simulink to the regulator system. Figures 8-10 demonstrate the wave form test results for the simulation studies. Table 5 also gives the numerical results of the simulation tests for the output in detailed. THD_{In} and THD_{Vn} in Table 5 are the THD values for currents and voltages, respectively.

Table 4. Test cases of the simulation studies.

Test Case No	V_{in} (V)			Output Load Z_n			Desired output fundamental sine- wave voltage V_{on} (V)		
	V_{i1}	V_{i2}	V_{i3}	Z_1	Z_2	Z_3	V_{o1}	V_{o2}	V_{o3}
1	200V sine (f=50Hz)	240V sine (f=50Hz)	180V sine (f=50Hz)	Resistive $R_1=20\Omega$	Resistive $R_2=20\Omega$	Resistive $R_3=20\Omega$	150	150	150
2	150V sine (f=50Hz)	175V sine + LOH (f=50Hz)	220V sine + HOH (f=50Hz)	Inductive $R_1=6\Omega,$ $L_1=4.7mH$	Inductive $R_2=6\Omega,$ $L_2=4.7mH$	Inductive $R_3=6\Omega,$ $L_3=4.7mH$	100	100	100
3	160V sine + HOH (f=50Hz)	120V sine + fluct. (f=50Hz)	100V sine + LOH (f=50Hz)	Resistive $R_1=10\Omega$	Inductive $R_2=8\Omega,$ $L_2=6.8mH$	Capacitive $R_3=5\Omega,$ $C_3=0.5mF$	50	70	85

fluct.: fluctuations, HOH: high order harmonics, LOH: low order harmonics

The results given in Figures 8-10 and Table 5 show that the proposed three-phase AC-AC regulator based on the buck converter can produce the desired reference AC phase sine-wave voltages with under 5% THD values, where the three-phase output is unbalanced and the input AC phase voltages

include harmonics components. It is clear from the achieved results that the proposed three-phase AC-AC regulator based on the buck converter is capable of operating in independent single-phase loading in modular mode. As a result, the accurate and efficient active tracking of the reference phase output voltages of the proposed hybrid control technique is revealed by the achieved numerical results in Table 5 and wave form results in Figures 8-10.

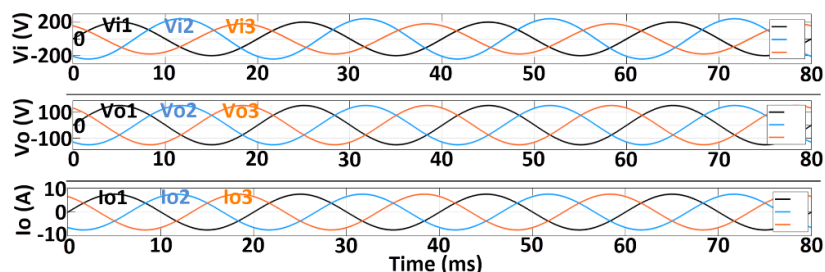


Figure 8. Simulation results for test case-1

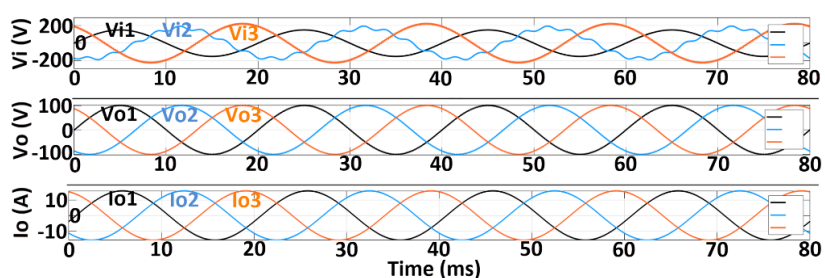


Figure 9. Simulation results for test case-2

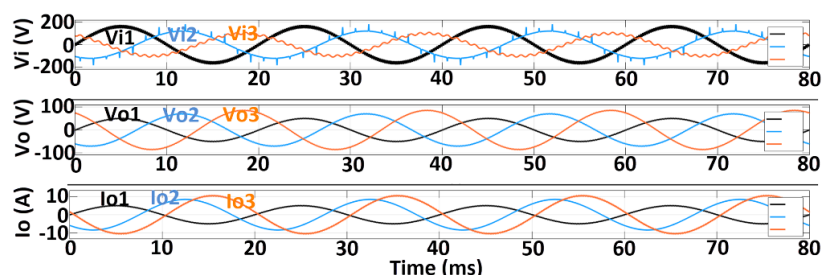


Figure 10. Simulation results for test case-3

Table 5. The achieved numerical simulation results of the test cases.

Test Case No	Obtained Fundamental V_{on} (V)			THD_{Vn} (%)			THD_{In} (%)		
	V_{o1}	V_{o2}	V_{o3}	THD_{V1}	THD_{V2}	THD_{V3}	THD_{I1}	THD_{I2}	THD_{I3}
1	150.2	150.2	150.2	2.06	2.06	2.06	2.06	2.06	2.06
2	100.3	100.3	100.3	2.11	2.11	2.11	2.03	2.03	2.03
3	50.1	69.9	84.7	1.93	1.87	2.01	1.93	1.79	2.16

C. THE RESULTS OF THE EXPERIMENTAL STUDIES

Experimental tests with the proposed hybrid control approach are used to validate the real-time practical application of the study. Figure 11 depicts the experimental set-up that is designed for the regulator system.

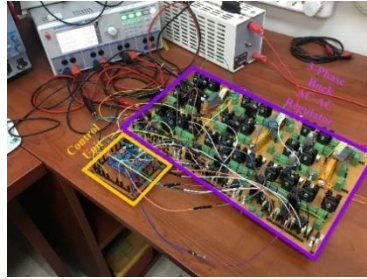


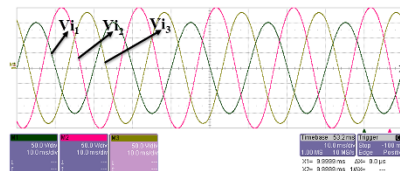
Figure 11. The designed experimental set-up of the regulator system

Table 6 shows the applied three different experimental test cases on the laboratory set-up to the regulator system. Figures 12-14 demonstrate the wave form test results for the experimental studies. Table 7 also gives the numerical results of experimental tests for the output in detail.

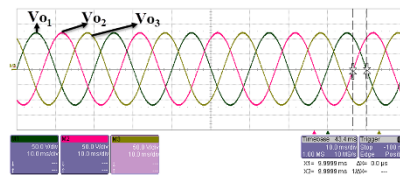
Table 6. Test cases of the experimental studies.

Test Case No	V_{in} (V)			Output Load Z_n			Desired output fundamental sine-wave voltage V_{on} (V)		
	V_{i1}	V_{i2}	V_{i3}	Z_1	Z_2	Z_3	V_{o1}	V_{o2}	V_{o3}
1	150V sine (f=50Hz)	200V sine (f=50Hz)	180V sine (f=50Hz)	Resistive $R_1=30\Omega$	Resistive $R_2=30\Omega$	Resistive $R_3=30\Omega$	120	120	120
2	160V sine (f=50Hz)	120V sine (f=50Hz)	100V sine (f=50Hz)	Inductive $R_1=10\Omega,$ $L_1=10mH$	Inductive $R_2=10\Omega,$ $L_2=10mH$	Inductive $R_3=10\Omega,$ $L_3=10mH$	80	80	80
3	175V sine (f=50Hz)	175V sine (f=50Hz)	175V sine (f=50Hz)	Resistive $R_1=20\Omega$	Inductive $R_2=7\Omega,$ $L_2=2.2mH$	Capacitive $R_3=20\Omega,$ $C_3=0.33mF$	100	50	65

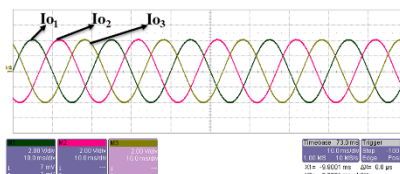
fluct.: fluctuations, HOH: high order harmonics, LOH: low order harmonics



(a)

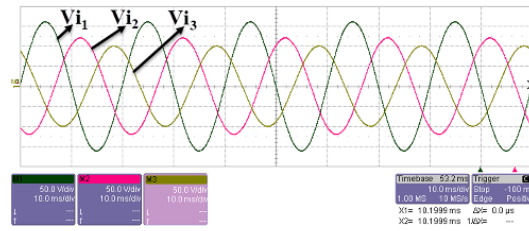


(b)

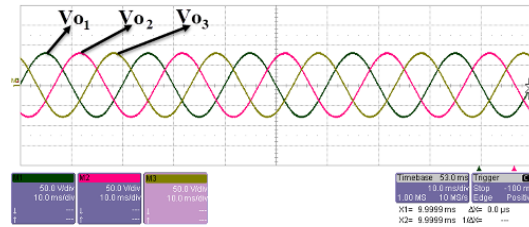


(c)

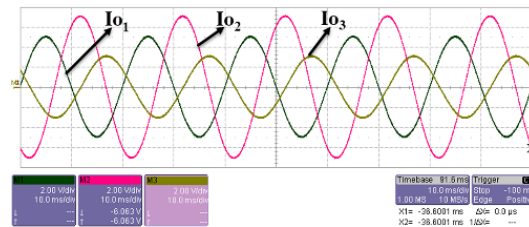
Figure 12. Experimental results for the test case-1 ($V/div=A/div$ for I_{on}) (a-c)



(a)

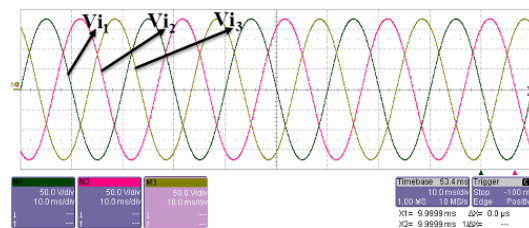


(b)

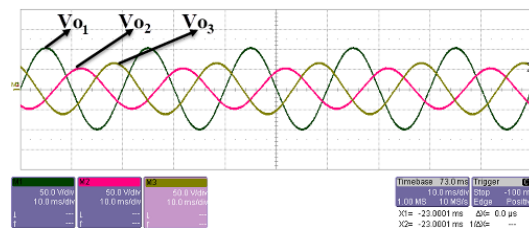


(c)

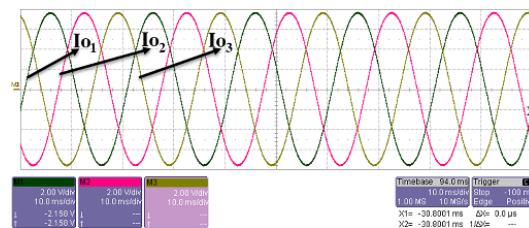
Figure 13. Experimental results for the test case-2 ($V/div=A/div$ for I_{On}) (a-c)



(a)



(b)



(c)

Figure 14. Experimental results for the test case-3 ($V/div=A/div$ for I_{On}) (a-c)

Figure 15 proves that better active tracking of the reference phase output sine-wave voltages can be provided through the proposed hybrid control technique than the standalone traditional PID control. As a result, enhancing the active tracking capability of the developed CL by supporting the PID controller is proved. The efficiency of the proposed hybrid control technique can also be proved by the obtained output THD results as seen in Table 8. The less than 5% THD results in Table 8 show how the proposed hybrid control technique provides high quality close to sine-wave phase output voltages.

The efficiency of the proposed three-phase regulator based on buck converter is analyzed for various output power rates considering the regulator power rate limited in the design. Figure 16 demonstrates the efficiency of the regulator and proves that good enough efficiency can be provided by the proposed regulator.

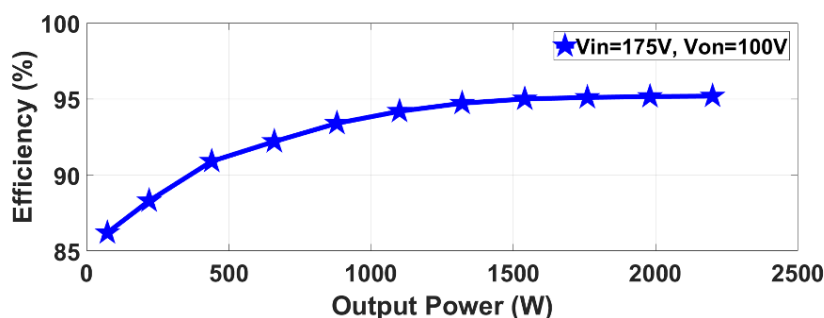


Figure 16. Efficiency curve of the regulator for different output power rates

V. CONCLUSION

In this study, a buck converter-based switch-mode active tracking AC-AC three-phase voltage regulator is proposed. The proposed regulator has less complexity and a high-efficiency topology including a moderate number of passive and active components. The developed hybrid control technique for the regulator control is based on supporting the closed-loop PID controller with the novel designed feedforward controller and provides efficient active tracking of the reference output phase voltages according to similar studies in the literature that use only traditional closed-loop controllers. The proposed hybrid control technique augments the achievement of the output phase voltages as close as to the sine-wave reference output phase voltages, although the input AC phase voltages may have high order harmonics. The proposed regulator has also the ability to operate for balanced/unbalanced wye-connected three-phase loads or independent single-phase loads. The achieved results of simulation and experimental test studies verify the ability, accuracy, and efficiency of the proposed switch-mode three-phase buck-type active tracking voltage regulator and can provide the desired output phase voltages in high quality with under 5% THD levels for various input/output operation conditions.

ACKNOWLEDGEMENTS: The topology and control theory of the proposed AC regulator in the study are patented by the co-author in Austrian Patent Office as “Aktive Netzfilter” (patent no: AT 505460 B1, filed 10.07.2007, applied 15.06.2012).

VI. REFERENCES

- [1] J. You, D. M. Vilathgamuwa, N. Ghasemi, and B. Fu, “Virtual resistor-based integrated DC bus voltage conditioner for stability improvement of cascaded power converters,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 95959–95969, 2019.

- [2] J. Kaniewski, P. Szczesniak, M. Jarnut, and Z. Fedyczak, "Voltage conditioner and power flow controller based on bipolar matrix-reactance choppers," *Int. J. Elect. Power Energy Syst.*, vol. 94, pp. 256–266, 2018.
- [3] J. Kaniewski, "Three-phase AC/AC converter for voltage sag/swell compensator and phase shifter based on Cuk B2 matrix-reactance chopper," *Elect. Power Syst. Res.*, vol. 125, pp. 203–210, 2015.
- [4] J. Kaniewski, "Three-Phase voltage sag/swell compensator with phase shifter function based on bipolar matrix-reactance chopper," *Int. Symp. Power Electron. Elect. Dri. Automat. Motion (SPEEDAM)*, 2014, pp. 63–642.
- [5] S. Subramanian and M. K. Mishra, "Interphase AC-AC topology for voltage sag supporter," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 25, no. 2, pp. 514–518, 2010.
- [6] D. M. Lee, T. G. Habetler, R. G. Harley, T. L. Keister, and J. R. Rostron, "A voltage sag supporter utilizing a PWM-switched autotransformer," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 22, no. 2, pp. 626–635, 2007.
- [7] E. M. Molla and C. C. Kuo, "Voltage quality enhancement of grid-integrated PV system using battery-based dynamic voltage restorer," *Energies*, vol. 13, no. 21, article number: 5742, 2020.
- [8] C. I. Chen, Y. C. Chen, C. H. Chen, and Y. R. Chang, "Voltage regulation using recurrent wavelet fuzzy neural network-based dynamic voltage restorer," *Energies*, vol. 13, no. 23, article number: 6242, 2020.
- [9] P. L. S. Rodrigues, C. B. Jacobina, and N. B. De Freitas, "Single-phase universal active power filter based on ac-dc-ac converter with eight controlled switches," *IET Power Electron.*, vol. 12, no. 5, pp. 1131–1140, 2019.
- [10] N. B. De Freitas, C. B. Jacobina, B. S. Gehrke, and M. F. Cunha, "Transformer-based single-phase AC-DC-AC topology for grid issues mitigation," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 55, no. 4, pp. 4001–4011, 2019.
- [11] Y. B. Wang, G. W. Cai, C. Liu, B. D. Zhu, D. B. Guo, and H. W. Zhang, "Three-phase flexible transformer based on bipolar direct AC/AC chopper and its control strategy," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 173336–173344, 2020.
- [12] I. Rankis, M. Prieditis, and G. Stana, "Investigation of direct AC-AC buck converter with series injection transformer," *IEEE 59th Int. Sci. Conf. Power Elect. Eng. Riga Tech. Uni. (RTUCON)*, 2018.
- [13] P. S. Huynh, D. Vincent, N. A. Azeez, L. Patnaik, and S. S. Williamson, "Performance analysis of a single-stage high-frequency AC-AC buck converter for a series-series compensated inductive power transfer system," *IEEE Transp. Electrification Conf. Expo (ITEC)*, 2018, pp. 347–352.
- [14] J. G. Wang and R. McMahon, "Highly reliable and efficient voltage optimizer based on direct PWM AC-AC buck converter," *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 35, no. 4, pp. 1897–1906, 2020.
- [15] J. G. Wang and R. McMahon, "Reliable control of direct PWM AC-AC buck converter with short circuit protection," *IEEE 28th Int. Symp. Ind. Electron. (ISIE)*, 2019, pp. 950–954.
- [16] U. A. Khan, A. A. Khan, H. Cha, H. G. Kim, J. Kim, and J. W. Baek, "Dual-buck AC-AC converter with inverting and non-inverting operations," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 33, no. 11, pp. 9432–9443, 2018.

- [17] O. Ursaru, M. Lucanu, C. Aghion, and N. Lucanu, "Single-phase direct boost AC-AC converter," *Adv. Elect. Comp. Eng.*, vol. 17, no. 4, pp. 43–48, 2017.
- [18] T. Mishima, S. Sakamoto, and C. Ide, "ZVS phase-shift PWM-controlled single-stage boost full-bridge AC-AC converter for high-frequency induction heating applications," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 64, no. 3, pp. 2054–2061, 2017.
- [19] A. A. Khan, H. Cha, and H. F. Ahmed, "An improved single-phase direct PWM inverting buck-boost AC-AC converter," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 63, no. 9, pp. 5384–5393, 2016.
- [20] L. Z. He and X. Y. Xu, "Novel high-efficiency frequency-variable buck-boost AC-AC converter with safe-commutation and continuous current," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 35, no. 12, pp. 13225–13238, 2020.
- [21] F. Yalcin, U. Arifoglu, I. Yazici, and K. Erin, "Robust single-phase inverter based on the buck-boost converter through an efficient hybrid control," *IET Power Electron.*, vol. 13, no. 1, pp. 50–59, 2020.
- [22] F. Himmelstoss, "Aktive Netzfilter," Austrian Patent AT 505460 B1, 2012.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Atık Olivin Mineralinin Asfalt Betonunda Filler Olarak Kullanımı

 Murat CANPOLAT^{a,*},  Ahmet BEYÇİOĞLU^b,  Nihat MOROVA^c,  Suna ÇETİN^d,  Hatice Merve ÇETİN^e,  Hüseyin GÜNDOĞAN^f

^a Karayolları 5. Bölge Müdürlüğü, Mersin, TÜRKİYE

^b İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Adana, TÜRKİYE

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

^d Seramik Bölümü, Güzel Sanatlar Fakültesi, Çukurova Üniversitesi, Adana, TÜRKİYE

^e İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Toros Üniversitesi, Mersin, TÜRKİYE

^f Sinpaş Holding, Seranit Granit A.Ş., İstanbul, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: muratac@kgm.gov.tr

DOI: 10.29130/dubited.948454

ÖZ

Bu çalışmada ferrokrom tesislerinde kromit cevherinin zenginleştirilmesi sürecinde ortaya çıkan atık olivin malzemesinin esnek üstyapılarda filler olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. İlk aşamada geleneksel kırmataş kalker agregası tozu kullanılarak elde edilen gradasyonda sabit filler oranı %4.7 olarak alınmış ve bitüm oranı %3,5, %4,0, %4,5, %5,0, %5,5 alınarak optimum bitüm yüzdesi elde edilmiştir. İkinci aşamada, ilk aşamada bulunan optimum bitüm yüzdesi ile geleneksel kırmataş kalker agregası tozuna %0, %25, %50, %75 ve %100 oranlarında olivin ikame edilerek oluşturulan numunelere; stabilite, akma, pratik özgül ağırlık, boşluk yüzdesi, asfalt dolu boşluk yüzdesi ve agregalar arası boşluk yüzdesi deneyi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre geleneksel kırmataş kalker agregası filler malzemesiyle ikame edilen olivin yüzdelere göre asfalt betonunun mühendislik özelliklerinin değişimi karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak olivinin sıcak karışım asfalt betonlarda filler malzeme olarak kullanılabilceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Olivin, Atık, Bitümlü Sıcak Karışımlar, Mineral filler

The Use of Olivine Mineral From Chrome Ore Enrichment Process Wastes as Fillers in Asphalt Concrete

ABSTRACT

In this study, the usability of the waste olivine material obtained as a result of enrichment of chromite ore in Eti Krom plants as fillers in flexible superstructures was investigated. In the first stage, the rate of fixed fillers in the gradation obtained by using traditional crushed stone powder was taken as 4.7% and the optimum bitumen percentage was obtained by taking the bitumen rate as 3.5%, 4.0%, 4.5%, 5.0%, 5.5%. In the second stage, stability, flow, practical specific gravity, percentage of voids, percentage of asphalt filled voids and aggregates to the deposits created by replacing olivine in the ratio of 25%, 50%, 75% and 100% to the traditional crushed stone powder with the optimum percentage of bitumen found in the first stage. Percentage of gap was tested. According to the results, the changes in the engineering properties of asphalt concrete were compared according to the olivine percentages substituted with traditional crushed stone filler material.

Keywords: Olivine, Waste, Bituminous Hot Mixes, Mineral filler

I. GİRİŞ

Nüfus çoğalması, dengesiz kentleşme ve hızlı sanayileşmenin artmasıyla birlikte dünyadaki doğal kaynakların tüketimi artmakta ve bunun sonucunda atık malzeme miktarı artarak çevre problemleri meydana gelmektedir. Bundan dolayı her alanda olduğu gibi karayolu inşaatında da doğal kaynakların korunması amacıyla ve sürdürülebilirlik adına yeni araştırmalar yapılmaktadır. Enerji tüketimini azaltmak için inşaat ve bakım uygulamalarını iyileştirmeyi ve çevresel yükleri en aza indirmeyi amaçlayan malzeme ve teknolojiler geliştirilmektedir [1]. İnşaat malzemeleri ile ilgili araştırmalarda, atık malzemelerden kaynaklanan olumsuzlukları azaltmak için etkili çözümler üretilmektedir. Bu çözümler arasında yol yapımında kullanılan agregaların yerine alternatif olarak atık malzemelerin kullanılması da yer almaktadır [2].

Esnek üstyapı kaplamaları, dünyadaki mevcut kaplamaların % 90'ından fazlasını oluşturmaktadır. Kaplamaların görevi, taşıtlara düzgün bir yuvarlanma yüzeyi sağlamak, trafik yüklerinden dolayı oluşan gerilmeleri taban zeminini deformasyona uğratmadan taşıyabileceği sınır değerlere indirmek, altyapıyı su, iklim koşulları vb. etmenlerden korumaktır. Esnek kaplamalar, taban zemin üzerine inşa edilen, kaplama, temel ve granüler alt temellerden oluşan tabakalı sistemlere denir. Esnek üstyapı tabakalarından olan aşınma ve binder tabakaları asfalt çimentosundan (bitüm) ve agregadan oluşmaktadır. Agregada; kaplamada iskelet, asfalt çimentosu ise karışımında bağlayıcı görevi yaparak yapıyı birlikte tutmaktadır [3]-[6].

Genel olarak asfalt karışımında, agregada ve asfalt çimentosunun yanısıra dolgu dolgu olarak filler malzemeler de kullanılmaktadır. Karışımın ağırlıkça yaklaşık % 94-96'sı agregada ve filler, kalan % 4-6'sı ise asfalt bağlayıcıdan oluşur [7]. Asfalt karışımında dolgu maddeleri kullanmanın faydaları; agregada gradasyon spesifikasyonunu karşılamak ve karışımın mukavemet ve hacimsel gerekliliklerini etkilemek; karışımın optimum bitüm içeriğini ve malzeme maliyetini azaltmak; karışımın mekanik özelliklerini iyileştirmek için bitümün sertleştirilmesi ve karışımların sadece yüksek sıcaklıklarda kalıcı deformasyona direnme kabiliyetini değil, aynı zamanda düşük sıcaklıklarda çatlama direncini ve ara sıcaklıklarda yorulma ömrünü arttırmak; karışımın nem hassasiyetini daha da etkileyen agregada-bitüm sistemindeki "bağ"ı etkilemek; oksidasyonu katalize ederek veya reçine içindeki oksijen difüzyonunu engelleyerek asfalt karışımlarının yaşlanma sürecini yavaşlatmak; olarak sıralanabilir [8].

Yol kaplamalarının maruz kaldığı ağır ve tekrarlı trafik yükleri sebebiyle yüzeyde aşınma, dalgalanma ve çatlaklar meydana gelmektedir. Ayrıca kaplama yüzeylerinin aşınması sonucu cilalanma meydana gelerek yollar pürüzlülüğünü ve sürtünme direncini kaybetmektedir. Bunun sonucunda kaplamalar istenilen dayanımı sağlayamamakta ve servis ömrünü tamamlayamadan deformasyona uğramaktadır [9]. Bu sebeplerden dolayı kaplamalardan istenen performans özelliklerini geliştirmesi açısından tabakalarda kullanılan bitümlü bağlayıcılarda katkı ya da değerli atıklarla modifiye işlemi yapılmaktadır. Ayrıca kaplamada kullanılan agregada ve filler yani dolgu için farklı mineral yapısında olan çeşitli atık mineraller kullanılabilir. Filler malzemesine alternatif olarak atık malzemelerin kullanılması hem yol ömrünün uzamasına hem de atık malzemenin değerlendirilmesini sağlayarak, maliyet, enerji ve iş gücünden tasarruf yapılmasına olanak sağlayacaktır [10].

Atık malzeme kullanımı yoluyla üstyapıların performansını ve dayanıklılığını arttırmak ve sürücülerin güvenliğini sağlamak için yenilikçi ve çevre dostu malzemelerin geliştirilmesi konusunda birçok çalışma yürütülmektedir [11].

Zhang ve arkadaşları [12], asfalt karışımlarda sıkça kullanılan kireç taşı tozu yerine alternatif olarak kırmızı çamurdan türetilen dolgu agregası kullanılmasını araştırmışlardır. Deneysel sonuçlara dayalı olarak, uygulanabilir modifikasyon yöntemi ve optimum malzeme oranı ortaya çıkarılmıştır. Asfalt mastiğinde kireçtaşı dolgusunun yerine kırmızı çamur kullanımının, modifikasyon ajanı olarak belirli bir miktar beyaz çamur eklenerek uygulanabilir olduğu kanıtlanmıştır.

Du ve arkadaşları [13], asfalt kaplamanın maruz kaldığı güneş radyasyonu ısısını azaltmak ve karışımın ısı direncini artırmak için filler olarak mikro boyutta cam malzemesiyle çalışmalar yapmıştır. Karışımlarda sıkça kullanılan kireçtaşı mineral dolgusuna göre performanslarını karşılaştırmışlardır. Mikro boyutta cam malzemesi ilavesi asfalt kaplamayı potansiyel olarak soğutabilse de, asfalt karışımının deformasyon direncini azaltabileceği sonucuna varmışlardır.

Zhang ve arkadaşları [14], sanayi atıklarının çoğalmasından dolayı atıkların bertaraf işleminde önemli bir problem haline gelmesinden dolayı asfalt karışımlarda ince katı atık uygulamasını araştırmışlardır. Yaptıkları çalışmada uçucu kül, diatomit ve dört tip boksit kalıntısı atıkları filler olarak kullanmış ve bu malzemelerin bitümlü sıcak karışımların performansında meydana getirdiği değişimleri incelemişlerdir. Elde edilen sonuçlar, yüksek metal element içeriğine ve gözenekli yapıya sahip dolgu maddesinin, asfalt harcının nem hasarına karşı direncine fayda sağlayan asfalt harcının polaritesini (γ AB) artırabileceğini göstermiştir.

Wang ve arkadaşları [15], asfalt karışımlarda meydana gelen yaşlanmayı geciktirmek ve kaplamaların performanslarını iyileştirmek amacıyla dolgu olarak uçucu kül, diatomit ve kırmızı çamur malzemelerini kullanmıştır. İnce katı atık eklenmesinin yaşlanma sürecinde modifiye asfaltın yorulma özelliğinin azalmasına yol açıp açmayacağına hala belirsiz olduğunu ortaya koymuşlardır.

Li ve arkadaşları [16], asfalt karışımlarında filler olarak kireçtaşı ve uçucu kül kullanarak karışımlarda meydana gelen oksidasyon sonucu yaşlanmaya karşı direnci araştırmışlardır. Çalışma sonucunda her iki filler grubunun, karışımların oksidasyon direncini iyileştirdiği görülmüştür.

Tao ve arkadaşları [17], çelik cüruf agregasını parçalayarak 0.075 mm'den küçük partikül haline getirmiş ve asfalt karışımında dolgu malzemesi olarak kullanmıştır. Ayrıca filler olarak sıkça kullanılan kireçtaşı tozu ile birlikte farklı oranlarda kullanmıştır. Yapılan analizler sonucunda dolgu maddesi olarak çelik cürufu ve kireçtaşı tozu karışımının birlikte kullanılması kaplamanın dayanımını artırdığı ortaya çıkmıştır.

Wozuk ve arkadaşları [18], yaptıkları çalışmada asfalt karışımlarda filler olarak iki farklı türde uçucu kül kullanmışlardır. Deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen karışım asfaltın hava boşluklarının yanı sıra suya ve dona karşı direnci sağladığı ve her iki sınıf uçucu külün de alternatif mineral dolgu olarak uygulanabileceği ortaya çıkmıştır.

Wang ve arkadaşları [19], mineral dolgular yerine asfalt kaplamada uygulanmak üzere çimento dolgu maddelerinin potansiyelini araştırmışlardır. Çalışma sonucunda fiziksel ve hacimsel özellikler açısından çimento dolgu maddeleri mineral dolgular ile benzer olduğu ortaya çıkmıştır. Performans açısından çimento filleri tekerlek izi gibi deformasyonlarda karışımın dayanımını iyileştirmiştir.

Roy ve Mistry [20], sıcak karışım asfaltta alternatif dolgu maddesi olarak uçucu küllerin etkisini araştırmıştır. Optimum dolgu içeriği olarak % 4 uçucu kül içeren karışım için daha düşük optimum bitüm içeriği ile daha yüksek bir stabilite değeri bulmuşlardır.

Dulaimi ve arkadaşları [21], kaplama tabakaları karışımı için alkali aktifleştirilmiş ikili harmanlanmış çimento esaslı dolgu maddesi üreterek karışımların hızlı kürlenmesini ve çevre dostu soğuk asfalt beton geliştirilmeyi amaçlamışlardır. Üretilen bu dolgu malzemesinin karışımın mekanik özelliklerini ve nem hassasiyetine karşı performansını iyileştirmiştir.

Bu çalışmada ferrokrom tesislerinde kromit cevherinin zenginleştirilmesi sürecinde ortaya çıkan atık olivin malzemesinin esnek üstyapılarda filler olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. İlk aşamada geleneksel kırmataş kalker agregası tozu kullanılarak elde edilen gradasyonda sabit filler oranı %4.7 olarak alınmış ve bitüm oranı %3.5, %4.0, %4.5, %5.0 ve %5.5 alınarak optimum bitüm yüzdesi elde edilmiştir. İkinci aşamada, ilk aşamada bulunan optimum bitüm yüzdesi ile geleneksel kırmataş kalker agregası tozuna %0, %25, %50, %75 ve %100 oranlarında olivin ikame edilerek oluşturulan numunelere stabilite, akma, pratik özgül ağırlık, boşluk yüzdesi, asfalt dolu boşluk yüzdesi ve agregalar arası boşluk

yüzdesi deneyi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre geleneksel kırmataş kalker agregası filler malzemesiyle ikame edilen olivin yüzdelere göre asfalt betonunun mühendislik özelliklerinin değişimi karşılaştırılmıştır. Atık olarak kromit cevherinin zenginleştirilmesi sürecinde ortaya çıkan atık olivin malzemesinin esnek üstyapılarda filler olarak kullanılması, bu çalışmanın önceki çalışmalardan farklılığını ortaya koymaktadır.

II. MATERYAL VE METOD

A. MATERYAL

Bu çalışmada Mersin İli Aydınçık İlçesine bağlı Sipahili mevki taşı ocağından getirilen kırmataş kalker agregası mineral agregası olarak kullanılmıştır. Çalışmada kullanılmış olan No.4 üstü iri ve No.4 altı ince agreganın fiziksel ve mekanik özellikleri Karayolları Teknik Şartnamesine (KTS) [22] uygun olarak belirlenmiş olup özgül ağırlık ve su emme sonuçları Tablo 1, fiziksel ve mekanik özelliklerine ait deney sonuçları ise Tablo 2’de sunulmuştur.

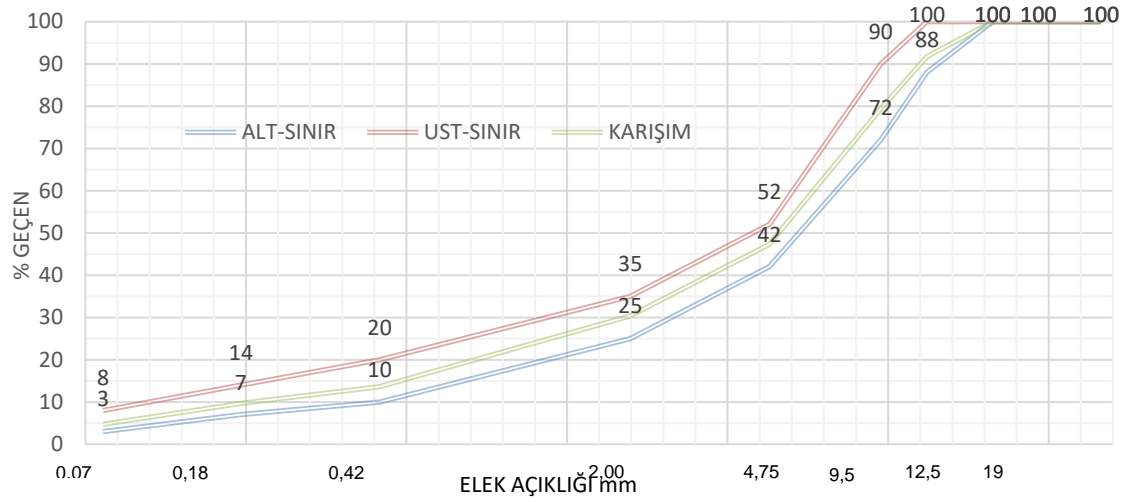
Tablo 1. İri ve ince agregaya yapılan deneyler

Deney	Sonuç	Standart
İri agregası zahiri özgül ağırlığı (gr/cm ³)	2,730	ASTM C 127 [23]
İri agreganın hacim özgül ağırlığı (gr/cm ³)	2,696	ASTM C 127 [23]
İri agreganın su absorpsiyonu (%)	0,47	ASTM C 127 [23]
İnce agreganın zahiri özgül ağırlığı (gr/cm ³)	2,742	ASTM C 128 [24]
İnce agreganın hacim özgül ağırlığı (gr/cm ³)	2,700	ASTM C 128 [24]
İnce agreganın su absorpsiyonu (%)	0,57	ASTM C 128 [24]

Tablo 2. Agregaların fiziksel ve mekanik özellikleri

Agrega Deneyleri	Sonuç	Şartname Değeri (KTS-2013) (Aşınma tabakası için)	Standart
Parçalanma Dayanımı Değeri, % Kayıp	24,9	≤27	TS EN 1097-2 [25]
Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık, %	2,1	16	TS EN 1097-1 [26]
Yassılık İndeksi, %	14,4	≤20	BS 812 [27]
Soyulma Mukavemeti, %	75	≥60	TS EN12697-11 [28]
Metilen mavisi, g/kg (ince agreganın 0/2 mm kısmına)	0,5	≤1,5	TS EN 933-9 [29]

Deneyisel çalışmada kullanılmış olan agregası gradasyonu Karayolları Teknik Şartnamesi aşınma tip-1 limitine göre seçilmiştir. Kullanılan gradasyon değerleri Şekil 1’de verilmiştir. Grafikte görüldüğü gibi referans karışım için kullanılan agreganın gradasyonu tüm elek setlerinde KTS’deki limitler arasında kalmıştır.



Şekil 1. Deneylerde kullanılan agrega gradasyonu grafiği

A.1. Bitüm

Batman rafinerisinden alınan ve Karayolları 5. Bölge Müdürlüğünden temin edilen 50-70 penetrasyon sınıfında, özgül ağırlığı $1,040 \text{ gr/cm}^3$ olan bitüm kullanılmıştır. Tablo 3'te bitümün özellikleri verilmiştir. Asfalt çimentosuna yapılan deneyler sonucunda bitümün, tasarımında kullanılabilirliğinin olduğu KTS 2013'ün belirlediği limit değerlere uygunluğuyla anlaşılmıştır.

Tablo 3. 50/70 Penetrasyon sınıfındaki bitümün özellikleri

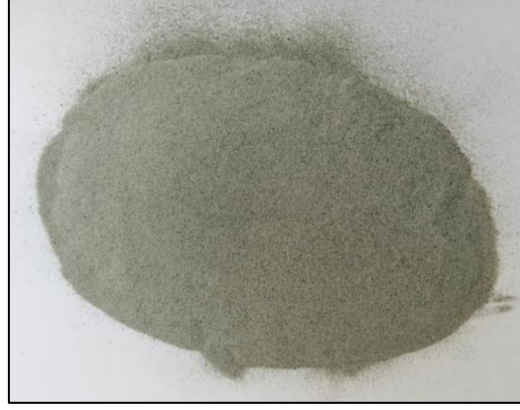
Deney Adı	Deney Sonucu	Şartname Değeri (KTS-2013)	Standart
Penetrasyon Deneyi, (25 °C) 0,1mm	55	50-70	TS EN 1426 [30]
Yumuşama Noktası, °C	50,5	46-54	TS EN 1427 [31]
Kalıcı Penetrasyon, %	52,7	≥ 50	TS EN 1426 [30]
Yumuşama Noktası Yükselmesi, °C	7,4	≤ 9	TS EN 1427 [31]
Parlama Noktası, °C	245	≥ 230	TS EN ISO 2592 [32]
Çözünürlük, %	99,5	$\geq 99,0$	TS EN 12592 [33]

A.2. Filler

Bu çalışmada Elazığ-Bingöl Karayolu 55. km'sinde bulunan Eti Krom işletmesinin kromit cevheri zenginleştirilmesi sonucu atık olarak depoladığı olivin mineralinin filleri ve Mersin İli Aydınçık İlçesine bağlı Sipahili taş ocağından temin edilen kırmataş kalker agregası tozu filler olarak kullanılmıştır. Asfalt betonunda kırmataş kalker agregası tozu ile yer değiştirilerek kullanılacak olan, kromit cevherinin zenginleştirilmesi sonucu ortaya çıkan olivin atıkları Elazığ-Bingöl Karayolu 55. kilometresinde bulunan Eti Krom atık sahasından temin edilmiştir. Olivin atıklarının kimyasal özellikleri Tablo 4'de verilmiştir. Kullanılan olivine ait bir görsel Şekil 2'de verilmiştir.

Tablo 4. Olivin analiz sonuçları [34]

Numune Cinsi	Cr ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	MgO (%)	CaO (%)	TiO ₂ (%)	NiO (%)
Olivin	1.68	6.76	33.20	1.29	44.99	0.29	0.039	1.20



Şekil 2. Eti Krom olivin filler agregası

Gerçekleştirilen ön deneylerde maksimum stabilite değerini veren optimum filler oranı %4.7 olarak belirlenmiştir. Olivin katkılı karışımlarda da %4.7 toplam filler oranı ile deneylere devam edilmiştir. Kırmataş kalker agregası tozu %25, %50, %75, %100 oranlarında kırmataş kalker agregası tozu ile yer değiştirilen olivine ait özgül ağırlık değeri Tablo 5’te verilmiştir.

Tablo 5. Kullanılan filler malzemelerinin özgül ağırlık değerleri

Filler Cinsi	Özgül Ağırlık Değeri (gr/cm^3)	Standart
Kırmataş kalker agregası filler (Taş tozu)	2,770	ASTM C 854 [35]
Olivin filleri	2,770	ASTM C 854 [35]

B. METOD

B.1. Marshall Stabilite Ve Akma Deneyi

Ülkemizde bitümlü karışım tasarımı olarak en yaygın kullanılan yöntemdir. Bu çalışmada da karışım tasarımı olarak Marshall yöntemi kullanılmıştır. Yöntem prensip olarak bitümlü kaplama karışımlarından elde edilen numunelerin Marshall stabilite deney aleti yardımıyla briket yan yüzeyine yükleme yapılarak akma direncinin ölçülmesini sağlar. Maksimum agregada dane boyutu 25 mm ya da daha küçük olan, viskozitesi, penetrasyonu belirlenmiş olan bitüm kullanılarak hazırlanan sıcak karışım asfalt kaplamalarına uygulanan bir yöntemdir.

Bu deney, farklı bitüm muhtevalarında hazırlanan silindirik numunelere Marshall Stabilite deney aleti (Ele Test-E) yardımıyla yanal yüzeylerine yükleme yaparak akmaya karşı direncin ölçümünü kapsar. Yükseklikleri ve gerekli ağırlıkları alınan numunelerin stabilite ve akma değerlerinin tayini için numuneler $60\pm 1^\circ C$ suda 30–40 dakika bekletilir. Sudan çıkarılan numune çelik bir halkanın iki segmanı arasına yerleştirilir ve akma çubuğu sabitlenir. Maksimum yüke erişinceye kadar dakikada 51mm’lik bir hızla yükleme yapılır. Marshall stabilite değeri (kN) yükleme boyunca kaydedilen maksimum kuvvet, akma değeri (mm) ise maksimum kuvvette kaydedilmiş deformasyon olarak alınır. Ayrıca bu deneyle karışımın birim ağırlığı, boşluk oranı ve bağlayıcı ile dolu bulunan agregada boşluğu yüzdesi de saptanır. Optimum bağlayıcı içeriğini belirlemek için; maksimum hacim özgül ağırlığı, maksimum stabilite, asfalt karışımındaki %4 hava boşluğu ve bağlayıcı ile dolu agregada karışımındaki % 80 boşluğundaki bağlayıcı içeriği değerleri kullanılır [36]. Hazırlanan Marshall stabilite deney numuneleri ve adı geçen deneyin uygulanışı Şekil 3’de görülmektedir.



(a)



(b)

Şekil 3. Marshall stabilite deney numuneleri ve deneyin uygulanışı

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

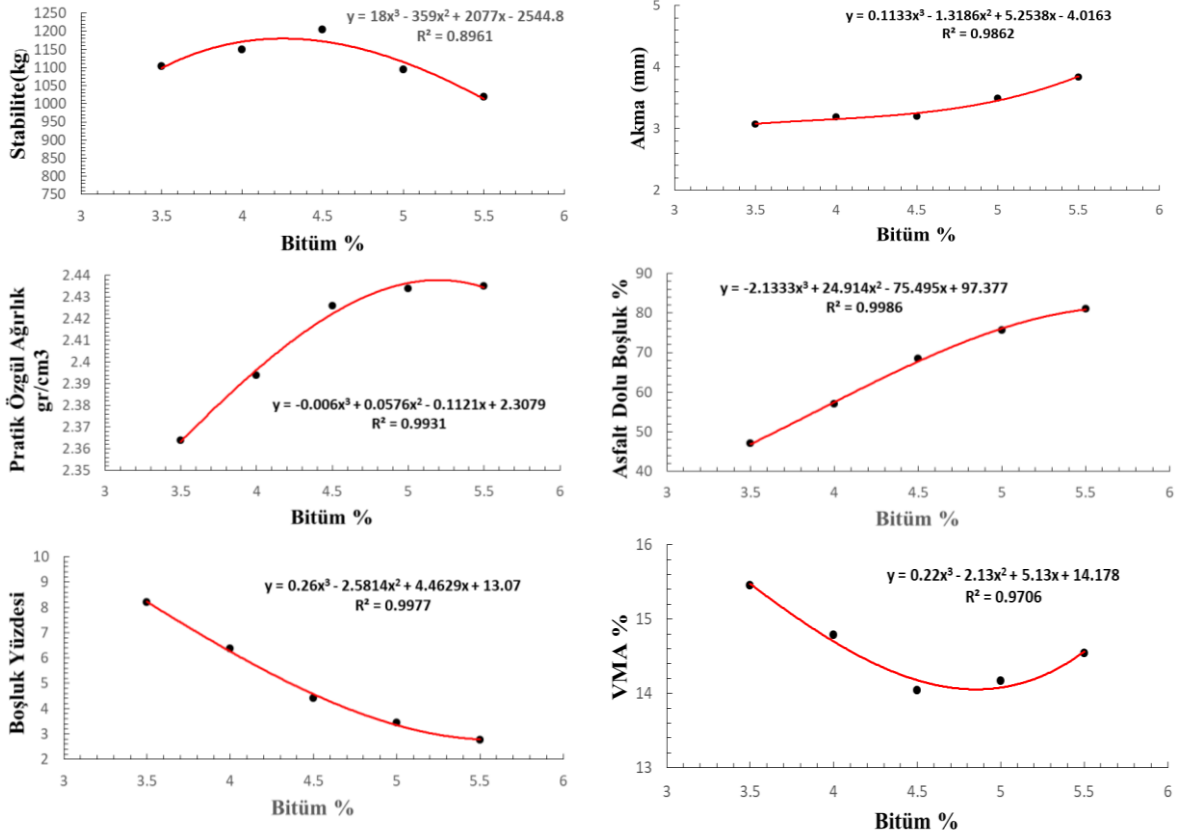
A. MARSHALL STABİLİTE TEST SONUÇLARI

Kırmataş kalker agregası filleri %25, %50, %75, %100 oranlarında olivin ile yer değiştirilerek her oranda 3 adet numune olmak üzere 15 adet Marshall numunesi elde edilmiştir. Elde edilen numunelere Marshall stabilite ve akma deneyi yapılmış, numunelerin sudaki, havadaki ve yüzey kuru suya doymun ağırlıkları hesaplanarak % stabilite % bitüm, % pratik özgül ağırlık – bitüm, % asfaltla dolu boşluk - bitüm, %boşluk - bitüm grafikleri çizilmiştir.

Agrega gradasyonu sabit tutulup %3.5- 4.0- 4.5- 5.0- 5.5 değerlerinde bitüm oranı kullanılarak numuneler hazırlanmış olup optimum bitüm yüzdesini belirlemek amacıyla stabilite, akma, pratik özgül ağırlık, boşluk yüzdesi, asfalt dolu boşluk yüzdesi ve agregalar arası boşluk yüzdesi grafikleri elde edilmiştir. Optimum bitüm yüzdesi tayin edilirken maksimum birim ağırlığa karşılık gelen bitüm yüzdesi %5.1 boşluk yüzdesi şartname sınırlarının ortalaması olan %4 e karşılık gelen bitüm yüzdesi %4.6, asfalt dolu boşluk yüzdesi %70 e denk gelen bitüm yüzdesi %4.5 ve maksimum stabilitesini veren bitüm yüzdesi %4.2 değerlerinin ortalaması alınarak optimum bitüm yüzdesi %4.6 olarak hesaplanmıştır.

Kırmataş kalker agregası tozu ile yapılan Marshall stabilite sonuçlarına göre yatay ekseninde değişen bitüm oranının yer aldığı, düşey ekseninde ise stabilite, akma, pratik özgül ağırlık, asfalt dolu boşluk yüzdesi, boşluk yüzdesi ve agregalar arası boşluk yüzdesi (VMA) değerlerinin değişimi Şekil 4'te verilmiştir.

Şekil 4'de görüldüğü üzere stabilite değeri bitüm yüzdesi arttıkça bir noktaya kadar artmış fakat daha sonra azalmıştır. Bitüm yüzdesinin artması akma değerini arttırmıştır. Fakat deney yapılan bütün briketlerde akma değeri aşınma tabakası limit değerleri (2- 4mm) arasında kalmıştır. Pratik özgül ağırlık değeri bitüm miktarının artmasıyla artmıştır. Maksimum birim ağırlık bitüm yüzdesinin %5.1 olduğu yerde elde edilmiş daha sonra pratik özgül ağırlık değeri düşüş göstermiştir. %3.5- 4.0- 4.5- 5.0- 5.5 değerlerinde bitüm oranı kullanılarak elde edilen briketlerin asfalt dolu boşluk yüzdesi değerinin sürekli olarak arttığı gözlenmiştir. Ancak alt sınır olan % 65 değerine % 4.2 bitüm yüzdesinde ulaşmış, üst sınır olan %75 A.D.B değerini ise % 5.0 lik bitümden sonra geçmiştir. Aşınma Tip-1 gradasyon kullanılarak yapılan asfalt betonlarında bir diğer faktör boşluk yüzdesi değeri olmakla birlikte, % 4 olarak alınan boşluk yüzdesi değeri asfalt betonunda istenen boşluk yüzdesidir. Grafikte de görüldüğü gibi %4'e karşılık gelen bitüm yüzdesi % 4.6 dır.



Şekil 4. Kırmataş kalker agregası tozunun filler olarak kullanıldığı numunelere ait grafikler

Optimum bitüm yüzdesi, filler olarak % 4.7 kırmataş kalker agregası tozu içeren referans karışımlarda belirlendikten sonra filler yerine olivin ikamesinin stabilite, akma, pratik özgül ağırlık (Dp), agregalar arası boşluk (VMA), boşluk yüzdesi (Vh) ve asfalt dolu boşluk (ADB) değerlerini nasıl etkilediğini belirlemek amacıyla fillere ağırlıkça %25, %50, %75 ve %100 oranlarında olivin ikame edilerek marshall briketleri hazırlanmıştır. Olivin ikame oranına bağlı olarak asfalt betonunun mühendislik özelliklerindeki değişimler % olivin fillere göre stabilite değişim grafiği, %olivin fillere göre akma değişim grafiği, % olivin fillere göre pratik özgül ağırlık değişim grafiği, % olivin fillere göre % (VMA) değişim grafiği, % olivin fillere göre boşluk yüzdesi (Vh) değişim grafiği ve % olivin fillere göre asfalt dolu boşluk (ADB) değişim grafiği Şekil 5'te verilmiştir.

Şekil 5'deki stabilite değerlerine göre referans karışımında 1067 kg olan stabilite %25, %50, %75 ve %100 olivin ikame oranlarında referansa göre sırasıyla %2.2, %4.5, %17 ve %32 oranlarında bir artış göstererek 1090kg, 1115kg, 1256 kg ve 1409 kg değerlerini almıştır. Bu artışlar dikkate alındığında olivin ikamesinin marshall stabilite değerlerini önemli derecede arttırdığı görülmektedir.

Şekil 5'deki akma sonuçları incelendiğinde olivin ikamesiyle akma davranışının ters orantılı olduğu görülmektedir. Olivin ikame miktarı %100 e çıkartıldığında bitümlü sıcak karışımın akma değeri 2.04 mm' ye kadar düştüğü görülmüştür.

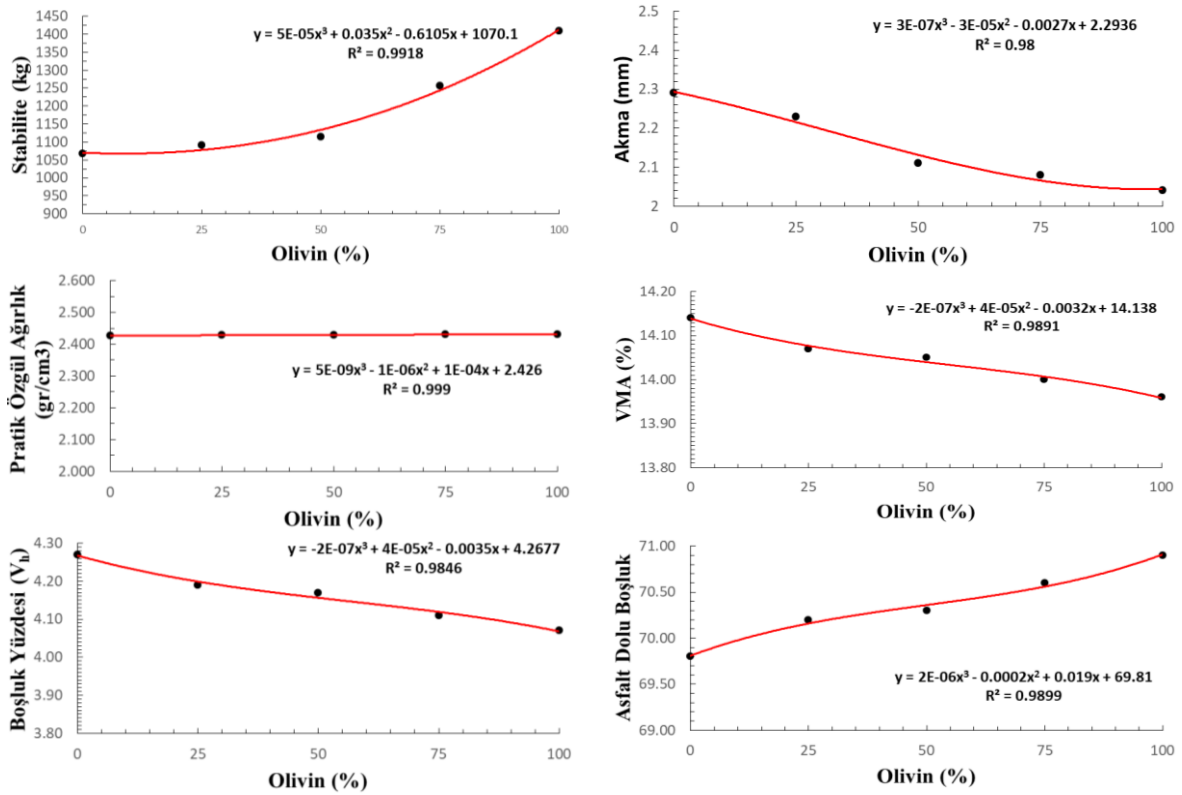
Elde edilen bu deneysel bulgular olivin ikamesinin, akma değerlerinde %11'lere varan azalma ile asfalt betonunu daha gevrek bir malzeme formuna dönüştürdüğü görülmektedir. Buradaki sonuçlara göre tüm değerler KTS de belirtilen sınırlar arasında (2-4 mm) arasında kalmıştır. Burada dikkat çekici olan, fillerin tamamen olivin olarak kullanılması, akma değerini KTS alt sınır değerine yaklaştırmıştır.

Olivin ikamesinin pratik özgül ağırlık değeri üzerindeki etkisi incelendiğinde, olivin ikameli tüm numuneler ile referans numune arasında anlamlı bir farkın oluşmadığı görülmektedir. Bu da olivin ve kırmataş kalker agregası tozunun özgül ağırlıklarının çok yakın olmasından kaynaklanmaktadır.

Asfalt karışımlarda agrega etrafındaki bitümlle kaplı hacim ile boşluk hacminin toplamı bize agregalar arası boşluk hacmi olan (VMA) değerini verir [37]. Agregaların bitüme daha iyi kenetlenebilmesi sonucu durabilite olumlu etkilenmekte ve bu durum agregalar arası boşluk değerinin önemini ortaya koymaktadır [38]. Şekil 5'deki VMA (%) değerlerine bakıldığında agregalar arası boşluk yüzdesi değerleri olivin ikame yüzdesi arttıkça azalmaktadır.

Uygun hava boşluğu yüzdesi, sıcak asfalt kaplamaların tekrarlı yüklere maruz kaldığı durumlarda sıkışmanın sağlanabilmesi için önemli bir faktördür. Boşluk yüzdesinin eksik olması, sıcaklığın yükselmesi durumunda, asfalt betonunda kusmalara ve stabilite kaybına neden olur. Şekil 5'de görüldüğü üzere artan olivin ikamesi yüzdelerinde boşluk yüzdesi (Vh) değerinin azaldığı gözlenmiş olsada sonuçlar KTŞ limit değerleri içerisinde kalmaktadır. Ayrıca olivin ikamesi, boşluk yüzdesinin azalmasına, birim ağırlığın artmasına ve geçirimsizliğin azalmasına neden olacağından asfalt betonunda kayda değer iyileşmelere sebep olacağı görülmektedir. Buna ek olarak olivin ikameli asfalt betonlarının sertleşme ve sökülme problemlerini azaltacağı da söylenebilir. Buradaki en önemli bulgu ise olivin ikameli asfalt betonlarının boşluk yüzdesinin KTŞ'de tanımlanan %2-4 aralığında kalmasıdır.

Bu çalışmada kırmataş kalker agregası tozu filleri yerine %25, %50, %75 ve %100 olivin ikamesi yapılmış ve asfalt dolu boşluk oranlarının sırasıyla %69.8, %70.2, %70.3, %70.6 ve %70.9 değerlerini aldığı gözlenmiştir. Olivin ikamesine bağlı olarak asfalt dolu boşluk oranındaki artışlar durabilite açısından yorumlanacak olursa, olivin ikamesi ve buna bağlı asfalt dolu boşluk oranının artması asfalt film kalınlığının artmasına neden olmakla birlikte, asfaltın hava boşluğunun azalmasına ve özellikle sıcak havalarda kusmasına sebep olacaktır. Asfalt film tabakasının gereğinden fazla kalın olmasına bağlı olarak da stabilite değerinin düşme ihtimali bulunmakta ve kaplama tabakasında plastik deformasyonların gözlenmesi riski ortaya çıkmaktadır. Ayrıca olivin ikamesine bağlı olarak ortaya çıkan bu artışlar asfalt film kalınlığını arttırabileceği için tekerlek izinde oturma vb. deformasyonların oluşma riski mutlaka göz önünde bulundurulmalı ve bu konuda deneysel çalışmalar yapılmalıdır.



Şekil 5. Kırmataş kalker agregası filleri ile farklı oranlarda yer değiştirilen olivinin kullanıldığı numunelere ait grafikler

IV. SONUC

Bu çalışma kapsamında yapılan deneysel çalışmalarda elde edilen bulgulara göre ulaşılan sonuçlar aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

- Stabilite değerlerine göre referans karışımında 1067 kg olan stabilite %25, %50, %75 ve %100 olivin ikame oranlarında referansa göre sırasıyla %2.2, %4.5, %17 ve %32 oranlarında bir artış göstererek 1090kg, 1115kg, 1256 kg ve 1409 kg değerlerini almıştır. Bu artışlar dikkate alındığında olivin ikamesinin marshall stabilite değerlerini önemli derecede arttırdığı görülmüştür.
- Akma sonuçları incelendiğinde ise olivin ikamesiyle akma davranışının ters orantılı olduğu görülmüştür. Olivin ikame miktarı %100'e çıkartıldığında bitümlü sıcak karışımın akma değeri 2.04 mm ye kadar düştüğü görülmüştür. Ancak bütün sonuçlarda akma değeri şartname limitleri içerisinde kalmıştır.
- Olivin ikamesinin pratik özgül ağırlık değeri üzerindeki etkisi incelendiğinde, olivin ikameli tüm numuneler ile referans numune arasında anlamlı bir farkın oluşmadığı görülmüştür. Bu da olivin ve kırmataş kalker agregası tozunun özgül ağırlık değerlerinin birbirine yakın olmasından kaynaklanmıştır.
- Agregalar arası boşluk (VMA) değerlerine bakıldığında tıpkı akma değerindeki gibi ters orantılı olarak olivin ikame yüzdesi arttıkça VMA değeri azalmıştır. Sonuçlar bütün briketlerde şartnamede istenen değer olan 14-16 arasındadır.
- Kırmataş kalker agregası tozu filleri yerine %25, %50, %75 ve %100 olivin ikamesi yapılmış ve asfalt dolu boşluk oranlarının sırasıyla %69.8, %70.2, %70.3, %70.6, %70.9 değerlerini aldığı gözlenmiştir.
- Bu çalışmada, asfalt betonunda filler yüzdesi daha önce yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen sabit filler yüzdesi % 4.7 olarak alındı. Atık olivin geleneksel kırmataş kalker agregası filler ile yer değiştirilerek çalışma tamamlandı. Bundan sonraki yapılacak çalışmalarda asfalt betonunda optimum atık olivin filleri tespit edildikten sonra, geleneksel kırmataş kalker agregası tozu yerine atık olivin filleri ikame edilmesi önerilmektedir.

V. KAYNAKLAR

- [1] F.G. Pratic`o, M. Giunta, M. Mistretta and T.M. Gulotta, "Energy and environmental life cycle assessment of sustainable pavement materials and technologies for urban roads," *Sustainability*, vol. 12, pp. 704-719, 2020.
- [2] A. M. Babalghaith, S. Koting, N. H. R. Sulong, M. R. Karim and B. M. Almashjary, "Performance evaluation of stone mastic asphalt (SMA) mixtures with palm oil clinker (POC) as fine aggregate replacement," *Construction and Building Materials*, vol. 262, 2020, Art. no: 120546.
- [3] J. Ma, G. Sun, D. Sun, Y. Zhang, A. C. Falchetto, A, T. Lu, M. Hu and Y. Yuan, "Rubber asphalt modified with waste cooking oil residue: Optimized preparation, rheological property, storage stability and aging characteristic," *Construction and Building Materials*, vol. 258, 2020, Art. no: 120372.
- [4] A. Balaguera, G.I. Carvajal, J. Albertí and P.F. Palmer, "Life cycle assessment of road construction alternative materials: A literature review," *Resources Conservation Recycling*, vol. 132, pp. 37-48, 2018.
- [5] C. Oreto, R. Veropalumbo, N. Viscione, S.A. Biancardo and F. Russo, "Investigating the environmental impacts and engineering performance of road asphalt pavement mixtures made up of jet grouting waste and reclaimed asphalt pavement," *Environmental Research*, vol. 198, 2021, Art. no 111277.

- [6] G. Sun, D. Sun, A. Guarin, J. Ma and F. Chen, and E. Ghafooriroozbahany, "Low temperature self-healing character of asphalt mixtures under different fatigue damage degrees," *Construction and Building Materials*, vol. 223, pp. 870–882, 2019.
- [7] A. Gedik, S. Selcuk and A.H. Lav, "Investigation of recycled fluorescent lamps waste as mineral filler in highway construction: A case of asphaltic pavement layers," *Resources, Conservation & Recycling*, vol. 168, 2021, Art. no: 105290.
- [8] A. Beycioğlu, O. Kaya, Z.B. Yıldırım, B. Bağrıaçık, M. Dobiszewska, N. Morova and S. Çetin, "Use of GRP Pipe Waste Powder as a Filler Replacement in Hot-Mix Asphalt," *Materials*, vol. 13, pp. 1-15, 2020.
- [9] Q. Chen, C. Wang and H. Fu, "Durability evaluation of road cooling coating," *Construction and Building Materials*, vol. 190, pp. 13–23, 2018.
- [10] A. H. Korayem, H. Ziari, M. Hajiloo, M. Abarghoosie and P. Karimi, "Laboratory evaluation of stone mastic asphalt containing amorphous carbon powder as filler material," *Construction and Building Materials*, vol. 243, 2020, Art. no: 118280.
- [11] S. S. Islam, G.D.R.N. Ransinchung and J. Choudhary, "Analyzing the effect of waste jarosite as an alternative filler on the engineering properties of asphalt mixes," *Construction and Building Materials*, vol. 270, 2021, Art. no: 121466.
- [12] J. Zhang, P. Li, M. Liang, H. Jiang, Z. Yao, X. Zhang and S. Yu, "Utilization of red mud as an alternative mineral filler in asphalt mastics to replace natural limestone powder," *Construction and Building Materials*, vol. 237, 2020, Art. no: 117821.
- [13] Y. Dua, M. Dai, H. Deng, D. Deng, T. Wei and L. Kong, "Laboratory investigation on thermal and road performances of asphalt mixture containing glass microsphere," *Construction and Building Materials*, vol. 264, 2020, Art. no: 120710.
- [14] H. Zhang, H. Li, A. Abdelhady, M. Jia and N. Xie, "Investigation on surface free energy and moisture damage of asphalt mortar with fine solid waste," *Construction and Building Materials*, vol. 231, 2020, Art. no: 117140.
- [15] H. Wang, H. Li, H. Zhang, X. Zhang, B. Guo, B. Yu, L. Liu and Y. Tian, "Experimental study on the aging behavior of modified asphalt with different types of fine solid wastes under different aging conditions," *Construction and Building Materials*, vol. 291, 2021, Art. no: 123308.
- [16] F. Li and Y. Yang, "Experimental investigation on the influence of interfacial effects of limestone and fly ash filler particles in asphalt binder on mastic aging behaviors," *Construction and Building Materials*, vol. 290, 2021, Art. no: 123184.
- [17] G. Tao, Y. Xiao, L. Yang, P. Cui, D. Kong and Y. Xue, "Characteristics of steel slag filler and its influence on rheological properties of asphalt mortar," *Construction and Building Materials*, vol. 201, pp. 439–446, 2019.
- [18] A. Wozuk, L. Bandura and W. Franus, "Fly ash as low cost and environmentally friendly filler and its effect on the properties of mix asphalt," *Journal of Cleaner Production*, vol. 235, pp. 493-502, 2019.
- [19] J. Wang, M. Guo and Y. Tan, "Study on application of cement substituting mineral fillers in asphalt mixture," *International Journal of Transportation Science and Technology*, vol. 7, pp. 189–198, 2018.

- [20] R. Mistry and T. K. Roy, “Effect of using fly ash as alternative filler in hot mix asphalt,” *Perspectives in Science*, vol. 8, pp. 307–309, 2016.
- [21] A. Dulaimi, H.A. Nageim, F. Ruddock and L. Seton, “High performance cold asphalt concrete mixture for binder course using alkaliactivated binary blended cementitious filler,” *Construction and Building Materials*, vol. 141, pp. 160–170, 2017.
- [22] Karayolları Genel Müdürlüğü. *Karayolu Teknik Şartnamesi*, Ankara, Türkiye, 2013. [Çevrimiçi]. Erişim: https://www.tamyol.com.tr/UserFiles/Content/KGM_Teknik_Sartnamesi_2013.pdf.
- [23] *Test method for specific gravity and absorption of coarse aggregate. annual books of ASTM standards designation*, ASTM C 127-88, 64-68, 1998.
- [24] *Test method for specific gravity and absorption of coarse aggregate. annual books of ASTM standards designation*, ASTM C 128-97, 69-72.
- [25] *Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler bölüm 2: parçalanma direncinin tayini için metotlar*, TS EN 1097-2, 2000.
- [26] *Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler-bölüm 1: aşınmaya karşı direncin tayini (Mikro-Deval)*, TS EN 1097-1, 2002.
- [27] *Testing aggregates, methods for determination of particle shape, Flakiness index*, British Standards Institution BS 812, Part 105-1, 1985.
- [28] *Bitümlü karışımlar-deney metotları*, TS EN 12697-11, 2012.
- [29] *Agregaların geometrik özellikleri için deneyler- Bölüm 9: İnce tanelerin tayini- Metilen mavisi deneyi*, TS EN 933-9, 2014.
- [30] *Bitümler ve bitümlü bağlayıcılar-İğne batma derinliği tayini*, TS 118 EN 1426, 2002.
- [31] *Bitümler ve bitümlü bağlayıcılar-Yumuşama noktası tayini-Halka ve bilya metodu*, TS 120 EN 1427, 2002.
- [32] *Petrol ve ilgili ürünler –parlama ve yanma noktasının tayini- Cleveland açık kap yöntemi*, TS EN ISO 2592, 2017.
- [33] *Bitümlü ve bitümlü bağlayıcılar-çözünürlük tayini*, TS 1090 EN 12592, 2002.
- [34] “AR-GE merkezi teknik raporları,” Etikrom AŞ, Türkiye, 2021.
- [35] *Standard test methods for specific gravity of soil solids by water pycnometer*, ASTM D854-14, 2014.
- [36] T. Alataş, T. Geçkil ve P. Ahmedzade, “Asfalt betonunda siyah karbonun filler olarak kullanımı,” *İMO Teknik Dergi*, c. 297, ss. 4493-4507, 2008.
- [37] S. Çetin, “Afyonkarahisar Bölgesi volkanik kayaların sıcak karışım asfalt kaplamalarında agrega olarak kullanılabilirliğinin araştırılması,” Yüksek Lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar, Türkiye, 2007.
- [38] C. Gürer, “Atık mermer parçalarının bitümlü yol kaplamalarında değerlendirilmesi,” Yüksek Lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar, Türkiye, 2005.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Betonarme Karma Taşıyıcı Sistemlerin TBDY 2018 ve ASCE 41-17'ye Göre Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemleri ile Performans Analizi ve Elde Edilen Sonuçların Karşılaştırması

 Rohullah JAMAL^{a,b*},  S. Bahadır YÜKSEL^a

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

^b Theoretical and Applied Mechanics department, Electromechanics Faculty, Kabul Polytechnic University, Kabul, AFGHANISTAN

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

DOI: 10.29130/dubited.927086

ÖZ

Bu çalışmada, ASCE 41-17'de tanımlanan ve TBDY 2018'e göre kullanıcı tarafından hesaplanan doğrusal olmayan elemanların plastik mafsallık özellikleri ve hasar sınırları ele alınarak itme analizi gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada dört açıklıklı üç, beş ve yedi katlı perdeli çerçevesel bina ele alınarak analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. Betonarme elemanların plastik mafsallık özelliklerinin etkili parametreleri plastik mafsallık uzunluğu ve enine donatı mesafesidir. Bu çalışmada artımsal eşdeğer deprem yükü ile itme analizi yöntemiyle BKTS-1, 2 ve 3 betonarme binaların analizleri ETABS 19-0.2 programı ile gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen analizlerin sonucunda iki farklı yönetmeliğe göre kapasite eğrileri elde edilmiştir. TBDY 2018'e göre elde edilen kapasite eğrilerinin sonucunda performans noktalarında elde edilen taban kesme kuvvetlerinin miktarı ve tepe yer değiştirme miktarı ASCE 41-17'ye göre daha fazla elde edilmiştir. İki farklı yönetmeliğe göre elde edilen sonuçlarında etkilenen faktörler; yapıya etkiyen düşey yük miktarı, betonarme elemanların efektif rijitliği ve plastik mafsallık özellikleridir.

Anahtar Kelimeler: İtme analizi, Kapasite eğrisi, Plastik mafsallık, Taban kesme kuvveti, Tepe yer değiştirme.

Obtaining and Comparison of Nonlinear Calculation Methods and Performance Analysis of Curtain Frame Systems According to TBDY 2018 and ASCE 41-17

ABSTRACT

In this study, pushover analysis was carried out by ASCE 41-17 and TBDY 2018 having default plastic hinge properties and considering the plastic hinge properties and damage limits of the nonlinear elements calculated by the user, respectively. In this study, four-span, 3, 5, and 7-storey shear wall-framed building is considered and the results of the analysis are compared. The effective parameters of plastic hinge properties of reinforced concrete elements are plastic hinge length and transverse reinforcement spacing. In this study, BKTS-1, 2 and 3 reinforced concrete buildings were analyzed with ETABS 19-0.2 program by pushover analysis methods. As a result of the analysis carried out, capacity curves were obtained according to two different standards. As a result of the capacity curves obtained according to TBDY 2018, the amount of base shear and peak displacement obtained at performance points were obtained more than ASCE 41-17. The factors affecting the results obtained according to two different standards are the amount of vertical load, the effective stiffness of the reinforced concrete elements and the plastic hinges properties.

Keywords: Base shear force, Capacity curves, Peak displacement, Plastic hinge, Pushover analysis.

I. GİRİŞ

Elastik olmayan davranışı amaçlanan, sık deprem yüklemesine maruz kalan, sismik etkiler altındaki yapıların davranışlarını belirleyebilmek için doğrusal olmayan analiz yöntemlerinin kullanılması gerekmektedir. Bu metodlar mevcut yapı sistemlerinin performansının belirlenmesi amacıyla kullanılmasının yanı sıra yeni yapılacak yapı sistemlerinin tasarımının yeterli düzeyde olup olmadığını belirlemek amacıyla da kullanılmaktadır. Hem mevcut yapı sistemleri için hem de yeni yapılacak yapı sistemleri için belirlenen iç kuvvet ve şekil değiştirme istemleri yönetmelikte verilen sınır değerler ile karşılaştırılarak performans değerlendirilmesi yapılmaktadır.

Sismik yer değiştirme tahminleri, doğrusal veya doğrusal olmayan analiz yöntemleri kullanılarak elde edilebilir. Binaların sismik tasarımı için doğrusal elastik analiz kullanılırken, elastik olmayan davranış, sık olmayan deprem yüklemelerine maruz kalan çoğu yapıda amaçlanmaktadır. Bu nedenle, sismik yükler altında binaların gerçek davranışını belirleyebilmek için doğrusal olmayan analizlerin kullanılması önemlidir [1].

Doğrusal olmayan statik yöntemler, yapıların gerçek davranışını daha iyi temsil etmektedir. Doğrusal olmayan analiz, mevcut ve yeni yapıların sismik performans değerlendirmesi için popüler bir araç haline gelmiştir. Doğrusal olmayan statik yöntemler belirli yer hareketi kayıtları altında olan yapıların analizleri yansıtmak için doğal olarak yetersiz kalmaktadır [2]. Bir diğer önemli noktada, doğrusal olmayan statik analizden gözlemlenen hasar modelinin, bazı durumlarda doğrusal olmayan dinamik analize kıyasla önemli ölçüde farklı olabileceğidir [3]. Doğrusal olmayan zaman tanım alanı analizinin, sismik talep tahminleri ve yapıların performans değerlendirmesi için daha doğru bir yöntem olduğunun bilinmesine rağmen, doğrusal olmayan statik analiz, basitliği nedeniyle yapı mühendisliğinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunları aşmak için farklı doğrusal olmayan statik analiz prosedürleri geliştirilmiştir [4]-[6].

Bu çalışmada, üç tip betonarme karma taşıyıcı sistemin doğrusal olmayan performans analizi iki farklı yönetmeliğe göre yapılmıştır. İki farklı yönetmelikte tanımlanmış ve hesaplanan doğrusal olmayan elemanların plastik mafsallık özellikleri kullanılarak itme analizlerinin sonuçlarındaki olası farklılıkların incelemesi ve karşılaştırması bu çalışmanın amacını oluşturmaktadır. Betonarme karma taşıyıcı sistemlerin tipik planı iki eksene göre simetrik olduğu için burulma etkisi olmamakta ve üç boyutlu olarak modellenmektedir. Betonarme taşıyıcı sistemlerin üç boyutlu olarak modellenmesi ve tasarımı ETABS 19-02 [7] programı ile gerçekleştirilmiştir. Farklı plastik mafsallık özelliklerine sahip üç, beş ve yedi katlı dört açıklıklı binalar ele alınmış ve elde edilen performans analizlerinin sonuçları karşılaştırılmıştır. Performans analizlerinde kullanılan malzeme özellikleri ve dayanımı, plastik mafsallık özellikleri ele alınarak matematiksel modelleme yapılmıştır. Matematiksel modelin analiz sonucunda iki farklı yönetmeliğe göre kapasite eğrileri çizilmiştir. Kapasite ve talep eğrileri aynı eksen takımına dönüştürülerek yapı sisteminin performans noktaları belirlenmiştir (TBDY 2018) [8]. ASCE 41-17 [9] yönetmeliğe göre performans noktasının belirlenmesinde kapasite eğrisi ve ideal kapasite eğrisi üst üste çizilmiş ve performans noktası elde edilmiştir. TBDY 2018 ve ASCE 41-17'ye göre hesaplanan kapasite eğrileri ve elde edilen performans noktalarındaki tepe yatay yer değiştirmesi, taban kesme kuvveti, kat kesme kuvvetleri ve kat ötelenmelerin miktarı karşılaştırılarak yorumlanmıştır.

A. TEKNİK LİTERATÜR ÖZETİ

Jamal ve Yüksel (2021), TBDY 2018 ve ASCE 41-17'de tanımlanan doğrusal olmayan performans değerlendirme yöntemlerinin karşılaştırılmasını yapmıştır. Çalışmada üç açıklıklı üç katlı betonarme çerçeveli taşıyıcı sistemin doğrusal olmayan analizleri iki farklı yönetmeliğe göre yapılmıştır. Bu kapsamda yapı sisteminin bilgi düzeyi, malzeme dayanımları ve elemanların plastik mafsallık özellikleri belirlenmiştir. Elemanların plastik mafsallık özellikleri ve malzeme dayanımları ele alınarak matematiksel modelleme yapılmıştır. Matematiksel modelin analiz sonucunda iki farklı yönetmeliğe göre kapasite eğrileri hesaplanarak çizilmiştir. Kapasite ve talep eğrileri aynı eksen takımına dönüştürülerek yapı

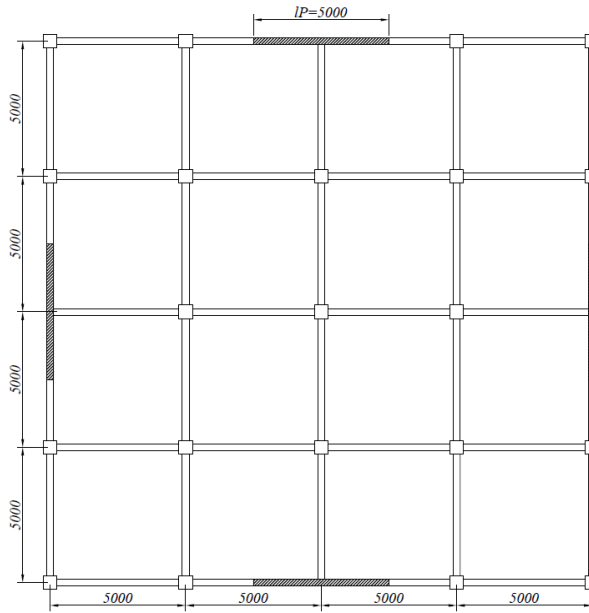
sisteminin performans noktası belirlenmiştir. TBDY 2018 ve ASCE 41-17'ye göre hesaplanan kapasite eğrileri ve elde edilen performans noktaları karşılaştırarak yorumlanmıştır [10].

Karabulut (2011), DBYBHY 2007 yönetmeliği ve FEMA 440 raporunda tanımlanan doğrusal olmayan analiz yöntemlerini kullanarak mevcut betonarme binalar için karşılaştırma yapmıştır. Çalışmada DBYBHY 2007 ve TS500 yönetmeliklerine uygun olarak boyutlandırılmış kat adedi ve taşıyıcı sistemlerinin özelliği bakımından farklı olan üç bina, iki farklı doğrusal olmayan statik analiz yöntemine göre incelenmiş, daha sonra elde edilen sonuçlar doğrusal olmayan dinamik analiz sonuçları ile karşılaştırılmıştır [11].

Sönmez (2012), DBYBHY 2007 ve ASCE 41-06'da tanımlanan doğrusal olmayan performans değerlendirme yöntemlerinin karşılaştırılmasını yapmıştır. Çalışmada farklı kat yüksekliğine sahip betonarme binaların doğrusal olmayan analizleri iki farklı yönetmeliğe göre yapılmıştır. Bu doğrultuda farklı kat adetlerine sahip yapılara ait deprem talep yerdeğiştirme durumu, her bir kesitin performans düzeyi, kesitlerin hasar durumları, farklı yönetmelikler açısından yapılan analizlerle karşılaştırılmıştır [12].

II. MATERYAL VE METOT

TBDY 2018 ve TS 500 [13]'e göre tasarlanan dört açıklıklı üç, beş ve yedi katlı betonarme karma taşıyıcı sistemler tasarlanmış ve taşıyıcı sistemlerin farklı yönetmeliklere göre analizleri yapılarak bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Şekil (1)'de gösterildiği gibi kolon eksenlerinin mesafesi 5m ve kat yüksekliği 3,5m'dir. Betonarme karma taşıyıcı sistemlerin tasarımında beton sınıfı C30 ve donatı sınıfı B420C olarak ele alınmıştır. Kullanılan malzeme özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Betonarme karma taşıyıcı sistemlerin tipik kat planı

Tablo 1. Kullanılan malzeme özellikleri

C30 betonun mekanik özellikleri					
	Karakteristik Basınç Dayanımı,	Eşdeğer Küp Basınç Dayanımı	Karakteristik Eksenel Çekme Dayanımı		28 Günlük Elastik Modülü, E_c
Beton Sınıfı	f_{ck} (MPa)	(MPa)	f_{ctk} (Mpa)		(MPa)
C30	30	37	1,9		32000
B420C donatı çeliğinin mekanik özellikleri					
	Minimum Akma Dayanımı, f_{yk}	Minimum Kopma Dayanımı, f_{su}	$\emptyset \leq 32$ İçin Minimum Kopma Uzaması, ϵ_{su} (%)	$32 < \emptyset \leq 50$ İçin Minimum Kopma Uzaması, ϵ_{su} (%)	Elastik Modülü, E_s
Donatı Sınıfı	(MPa)	(MPa)			(MPa)
B420C	420	550	8	8	200000

Binaların İstanbul ilinin Bakırköy ilçesi Yeşil köy mahallesinde olduğu varsayılmıştır. Hesaplamalarda TBDY 2018 ve TS 500'e göre tasarlanan binalar DD2 tasarım depremi (50 yılda aşılma olasılığı %10 ve tekrarlanma periyodu 475 yıl olan deprem yer hareketi düzeyi) için $S_s=1,27$ ve $S_1=0,329$ ele alınarak modellenmiştir. Betonarme taşıyıcı sistem modellerinde deprem ve zemin parametreleri AFAD (<http://tdth.afad.gov.tr>) web sayfasından parametreleri alınarak Tablo 2'de verilmiştir.

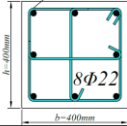
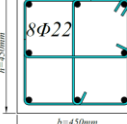
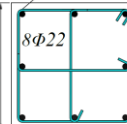
Tablo 2. Hesaplarda kullanılan deprem ve zemin parametreleri

Bina Önem Katsayısı	I=1
Bina Kullanım Sınıfı	BKS=3
Eksantriste Oranı	0,05
Süneklik Düzeyi	Yüksek
Deprem Yer Hareketi Düzeyi	DD2
Deprem Tasarım Sınıfı	DTS=1
Bina Yükseklik Sınıfı	BYS=7
Normal Performans Hedefi	Kontrollü Hasar
Zemin Tipi	ZC
Spektrum Karakteristik Periyotları	Ta= 0,06; Tb= 0,32
Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı	$S_s = 1,294$
1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı	$S_1 = 0,329$
Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı	$SD_s = 1,5528$
1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı	$SD_1 = 0,4935$

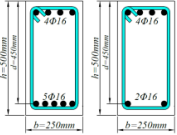
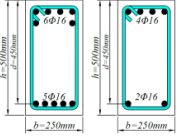
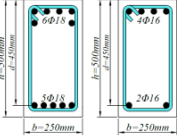
Çalışmaya konu olan göre tüm yapı sistemleri için, TS498'e göre normal kat döşemelerine etkiyen ilave sabit yükler $2,12 \text{ kN/m}^2$, çatı katı döşemelerine etkiyen ilave sabit yükler $1,5 \text{ kN/m}^2$ ve kirişlere etkiyen duvar yükü de $4,8 \text{ kN/m}$ olarak ele alınmıştır. Normal kat döşemelerine etkiyen hareketli yük $3,5 \text{ kN/m}^2$, çatı katı döşemelerine etkiyen hareketli yük ise $1,5 \text{ kN/m}^2$ olarak ele alınmıştır.

BKTS-1, BKTS-2 ve BKTS-3 bina tipleri için kolonların en-kesit boyutları sırasıyla $400 \times 400 \text{ mm}$, $450 \times 450 \text{ mm}$ ve $500 \times 500 \text{ mm}$ ve kirişlerin en-kesit boyutları $250 \times 500 \text{ mm}$ ve döşeme kalınlığı 160 mm olarak seçilmiştir. Betonarme elemanlarda, kolonlar ve kirişlerde pas payı 50 mm ve döşemelerde ise 20 mm olarak alınmıştır. Betonarme karma taşıyıcı sistemlerin tasarımı ETABS 19-0.2 programı ile TBDY 2018 ve TS 500'e göre yapılmıştır. Betonarme kolonların ve kirişlerin en-kesit boyutları ve donatı yerleşim planı sırasıyla Tablo 3 ve 4'te verilmiştir. Betonarme kolon ve kirişlerin boyuna ve enine donatılarının miktarı ASCE 41-17 performans analizinde hesaplanmış donatıları otomatik olarak programa tanımlanarak doğrusal olmayan analizi gerçekleştirilmiştir. Betonarme perde duvarların donatılarının miktarı ve donatı yerleşim planı Şekil 2'de verilmiştir.

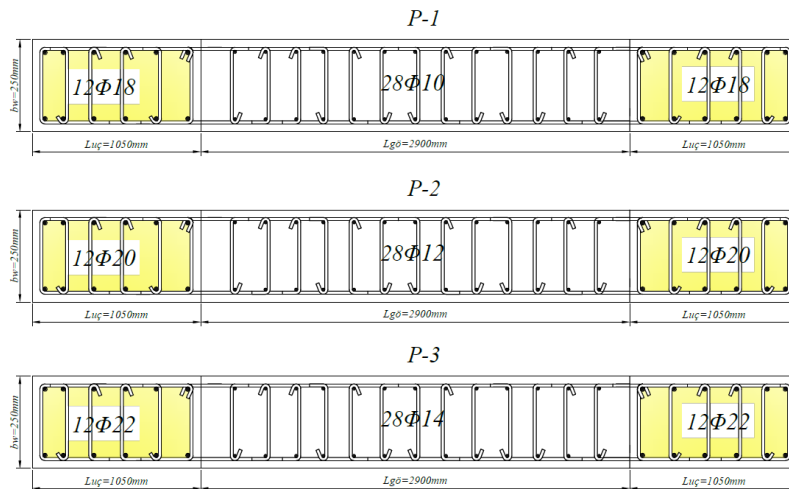
Tablo 3. Betonarme kolonların en-kesit boyutları ve donatılarının miktarı ve yerleşimi

Bina Tipi	Kolon	Boyut (mm)	Düşey Donatı	Enine Donatı	Boyuna Donatı Oranı
BKTS-1		400x400	8Φ22	Φ10/100	0,01900
BKTS-2		450x450	8Φ22	Φ10/100	0,01502
BKTS-3		500x500	8Φ22	Φ10/100	0,01216

Tablo 4. Betonarme kirişlerin en-kesit boyutları ve donatılarının miktarı ve yerleşimi

Bina Tipi	Kiriş	Katlar	Sol Mesnet	Açıklık	Sağ Mesnet
BKTS-1 	BN	Tüm katlar	Üst	4Φ16	4Φ16
			Alt	2Φ16	2Φ16
	BS-1		Üst	4Φ16	4Φ16
			Alt	5Φ16	5Φ16
BKTS-2 	BN	Tüm katlar	Üst	4Φ16	4Φ16
			Alt	2Φ16	2Φ16
	BS-2		Üst	6Φ16	6Φ16
			Alt	5Φ16	5Φ16
BKTS-3 	BN	Tüm katlar	Üst	4Φ16	4Φ16
			Alt	2Φ16	2Φ16
	BS-3		Üst	6Φ18	6Φ18
			Alt	5Φ18	5Φ18

Not: Tüm kat kirişlerinde Φ8/100 etriye kullanılmıştır.



Şekil 2. Betonarme perde duvarların en-kesit boyutları ve donatı yerleşim

Betonarme taşıyıcı sistemlerin modellenmesinde, kolonların ve perdelerin temel ile bağlantısının ankastre olduğu varsayılmıştır. Döşemelerin kendi düzlemleri içinde sonsuz rijit (diyafram) olarak varsayılmıştır. Betonarme taşıyıcı sistemlerin doğrusal olmayan statik analizlerinin yapılabilmesi için kolonlar, kirişler ve perde duvarların etkin eğilme rijitliklerinin belirlenmesi amacı ile TBDY 2018 ve ASCE 41-17’de verilen etkin eğilme rijitlik oranlarının belirlenmesi gerekmektedir. Eğilme altındaki betonarme elemanların etkin eğilme rijitlik oranları TBDY2018’e göre sabit bir katsayı olarak verilmiş Tablo 5’te özetlenmiştir. Betonarme kolonların etkin rijitlik oranlarının hesaplanması amacıyla, ASCE 41-17’ye göre iki eksenel yük sınırı verilmiştir. Betonarme kolonlarda uygulanan eksenel yük miktarı (N_D) iki sınır değerin arasında olduğu zaman etkin eğilme rijitliğinin çarpanı doğrusal enterpolasyon ile elde edilmektedir. Betonarme kirişlerin ve kolonların etkin rijitlik çarpanları ASCE 41-17’ye göre Tablo 5’te verilmiştir.

Tablo 5. Betonarme kolonların, kirişlerin ve perde duvarların etkin eğilme rijitliklerinin çarpanları

TBDY 2018’e göre		
Betonarme taşıyıcı sistem elemanı	Etkin kesit rijitliği çarpanı (ke)	
	Eğilme	Kesme
Çubuk elemanlarda		
Çerçeve kirişi	0,35	1,00
Çerçeve kolonu	0,70	1,00
Betonarme perde	0,25	1,00
ASCE 41-17’ye göre		
Öngerilmemiş kirişleri	0,30	0,40
Kolonlar için $N_D/(A_c f_{cm}) \geq 0.5$	0,70	0,40
Kolonlar için $N_D/(A_c f_{cm}) \leq 0.1$	0,30	0,40
Betonarme perde	0,35	0,40

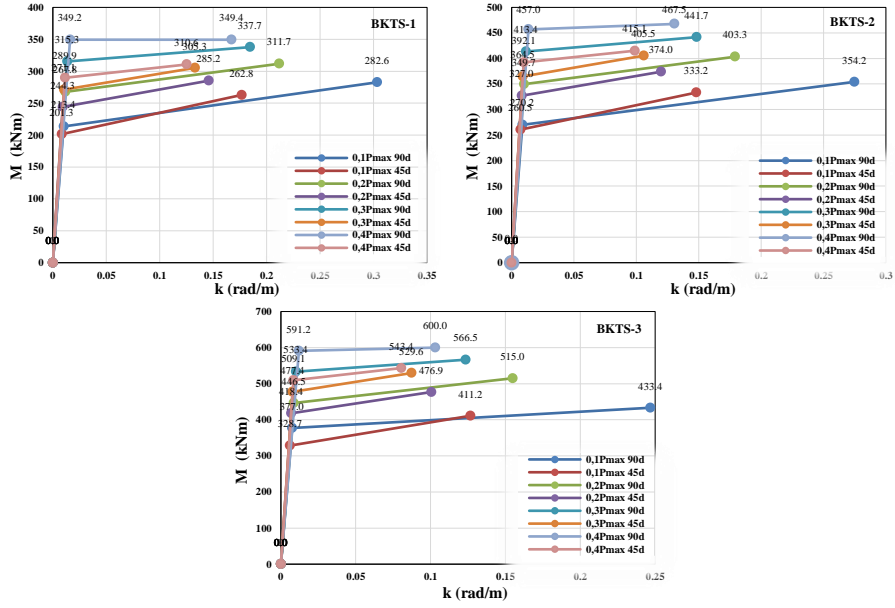
Tablo 5’te N_D , deprem hesabından elde edilmiş toplam etkilenen yük miktarı ve (EI_0) çatlamamış kolon en-kesitlerin eğilme rijitliği oranıdır. Betonarme kolonların etkin rijitlik çarpanlarının elde edilmesi için N_D deprem hesabında esas alınan bir ön düşey yük hesabı ile belirlenmektedir. Deprem hesabı için başlangıç durumunu oluşturan düşey yük hesabı ise, yukarıda belirtildiği şekilde elde edilen etkin eğilme rijitliği (EI)_e kullanılarak, deprem hesabında esas alınan kütlelerle uyumlu yüklere göre yeniden yapılmaktadır. Deprem hesabında aynı rijitlik çarpanları kullanılmaktadır. Betonarme elemanların etkin rijitlik çarpanları TBDY 2018’e göre sabit katsayı olarak verilmiştir (Tablo 5). Betonarme elemanların etkin rijitlik çarpanları ASCE 41-17’ye göre Tablo 5’te verilmiştir. Betonarme kolonların etkin rijitlik çarpanlarının hesaplanması ASCE 41-17’ye göre Tablo 5’te verilen denklemlere göre hesaplanarak analizlerde kullanılmıştır.

Betonarme taşıyıcı sistemlerin tasarımı, TS500 (2000)’e göre yapılmış ve betonarme elemanların donatılarının miktarı hesaplanmıştır. Tablo 2’de özellikleri verilen karma taşıyıcı sistemlerin analizleri ETABS 19-0.2 ile yapılmıştır. Betonarme taşıyıcı sistemlerin tasarımı yapıldıktan sonra itme analizi yapabilmek için elemanlara plastik mafsal tanımlanmıştır.

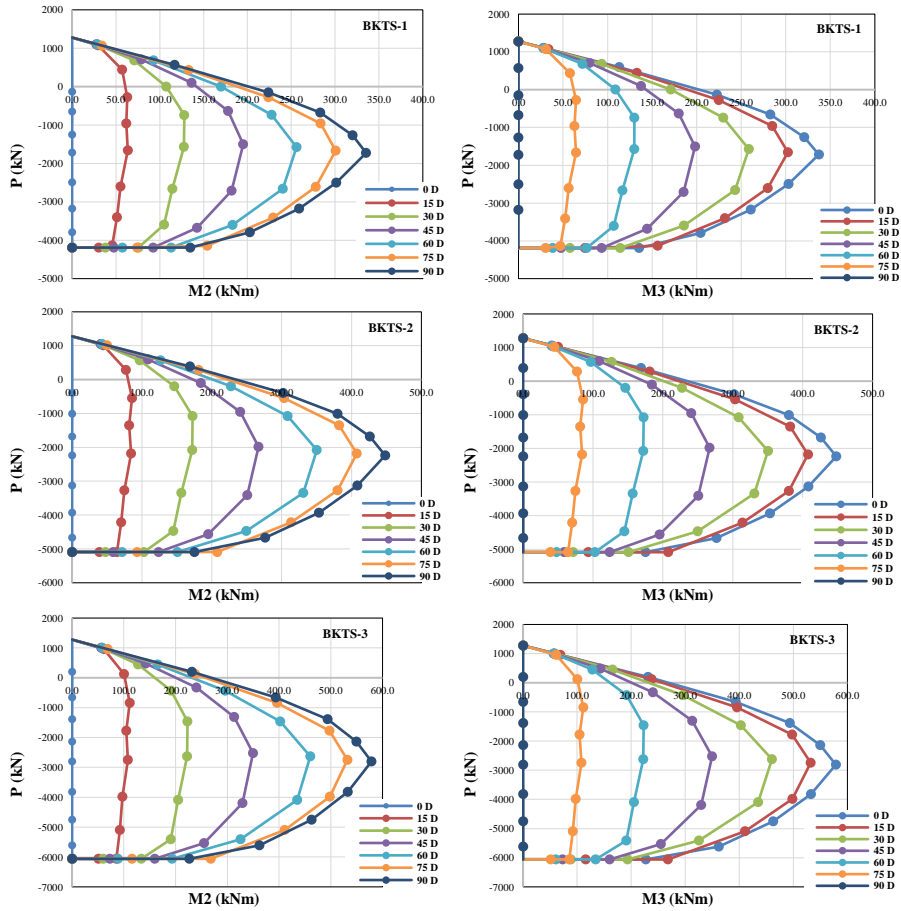
A. BETONARME KOLONLARIN KİRİŞLERİN VE PERDELERİN TBDY 2018’E GÖRE PLASTİK MAFSAL ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Betonarme taşıyıcı sistemlerin doğrusal olmayan statik analizinde, dört açıklıklı üç, beş ve yedi katlı betonarme karma taşıyıcı sistemlerin kolonlarında, kirişlerinde ve perde duvarlarında plastik mafsal özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Betonarme kirişlerin ve kolonların plastik mafsal özellikleri TBDY 2018’e göre SAP 2000 [14] programı ile hesaplanmıştır. Plastik mafsal özelliklerinin hesaplanması için, SAP 2000 programında beton için sargılı ve sargısız beton malzeme modelleri ve donatı çeliği malzeme modeli tanımlanmıştır. Kullanılan beton malzeme modeli Mander sargılı ve sargısız beton modeli [15] ve donatı çeliği malzeme modeli için ise Park modeli ele alınmıştır. Betonarme kolonların plastik mafsal özelliklerinin tanımlanması için, kolonların moment-eğrilik ilişkisi ve iki boyutlu normal kuvvet -moment etkileşim grafiklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Betonarme

kolonların moment–eğrilik ilişkisi ve normal kuvvet–moment etkileşim eğrilerinin hesaplanması SAP 2000 programı ile hesaplanarak eğrileri çizilmiştir. Çizilen grafikler Şekil 3 ve 4’te verilmiştir.

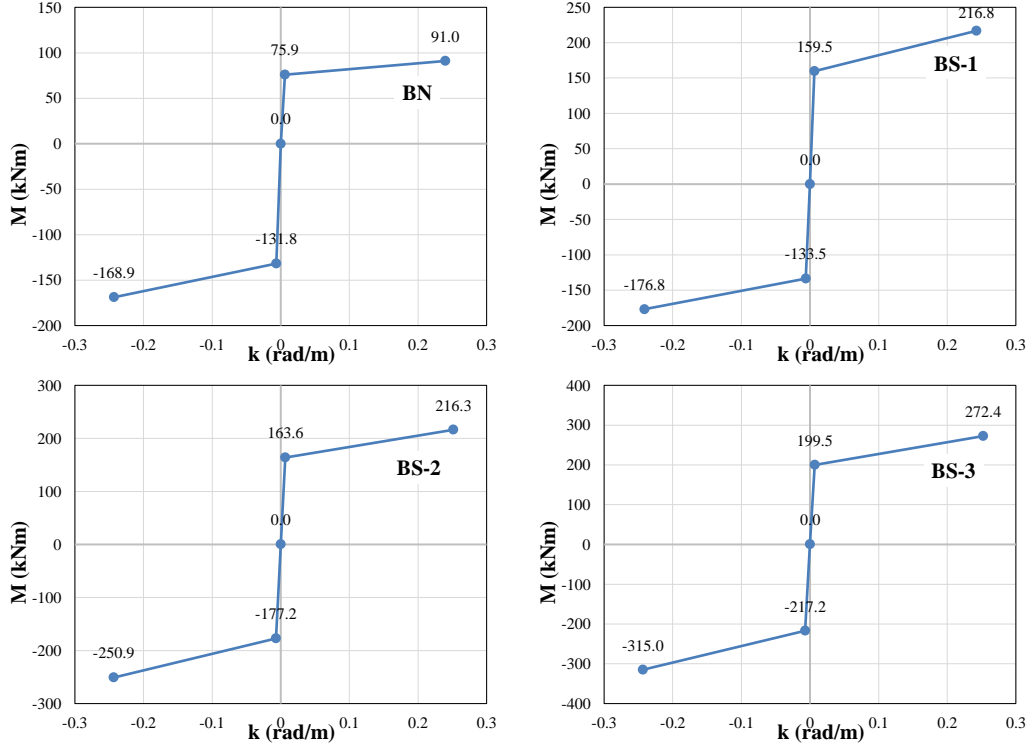


Şekil 3. TBDY 2018’e göre kolonların moment–eğrilik ilişkisi



Şekil 4. TBDY 2018’e göre kolonların 2 boyutlu normal kuvvet–moment etkileşim grafikleri

Betonarme taşıyıcı sistemlerin doğrusal olmayan analizinde, kirişlerin plastik mafsallık özelliklerinin tanımlanması gerekmektedir. Betonarme kirişlerin plastik mafsallık özelliklerinin tanımlanmasında kirişlerin moment–eğrilik ilişkilerinin belirlenmesi gerekmektedir. Kirişlerin moment–eğrilik ilişkilerinin değerleri SAP 2000 programı ile elde edilerek moment–eğrilik ilişkisinin grafikleri çizilmiştir. Çizilen moment–eğrilik ilişkisinin grafikleri Şekil 5’te verilmiştir.



Şekil 5. TBDY 2018’e göre betonarme kirişlerin moment–eğrilik ilişkisinin grafikleri

Betonarme taşıyıcı sistemlerdeki kolonların ve kirişlerin birleşim noktalarına yakın bölgelerinde plastik mafsallık oluştuğu kabul edilmekte ve betonarme perde duvarlarda ise en alt kattaki perdenin temele birleştiği noktaya yakın bölgede plastik mafsallık oluştuğu kabul edilmektedir. Ancak kirişlerde ise düşey yüklerden ötürü açıklık ortasında da plastik mafsallık oluşabilir. Tüm taşıyıcı sistemler karma (perdeli çerçevesi) olduğu için, plastik mafsallık özellikleri kolonların alt ve üst mesnetlerinde, kirişlerde ise sol ve sağ mesnetlerinde tanımlanmıştır.

Betonarme perde duvarlar yayılı plastik mafsallık (fiber hinge) kullanılarak modellenmiştir. Betonarme perdelerde Şekil 2’de verilen donatılar ETABS 19-0.2 programına tanımlanmıştır.

B. BETONARME KOLONLARIN KIRIŞLARIN VE PERDELERİN ASCE 41-17’YE GÖRE PLASTİK MAFSAL ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Betonarme taşıyıcı sistemlerin doğrusal olmayan analizlerini yapabilmek amacıyla ASCE 41-17’ye göre betonarme kirişlerin, kolonların ve perde duvarların plastik mafsallık özelliklerinin tanımlanması gerekmektedir. Bu amaçla betonarme kirişlerin ve kolonların plastik mafsallık özellikleri ASCE 41-17’de verilen özellikler sırasıyla Tablo 6 ve 7’de verilmiştir. Plastik mafsallık özellikleri ETABS 19-02’ tanımlı olduğu için default olarak tanımlanmaktadır. ASCE 41-17’ye göre betonarme perde duvarlar yayılı plastik mafsallık (fiber hinge) kullanılarak modellenmiştir.

Tablo 6. Doğrusal olmayan analizler için modelleme ve kabul kriterleri- betonarme kirişler [ASCE 41-17]

Durum	Modelleme değişkenleri			Kabul edilmiş kriterler				
	Enine donatı	Plastik Dönme Açılırları (Rad)	Artık Dayanım Oranı	Plastik Dönme Açısı (Rad)				
				Performans Seviyesi				
Durum 1: Eğilme davranışı kontrolündeki kirişler ^b								
$\frac{(\rho - \rho')}{\rho}$		$\frac{V}{b_w d \sqrt{f'_{CE}}}$	a	b	c	IO	LS	CP
≤ 0.0	C	≤ 3 (0.25)	0.025	0.050	0.2	0.0100	0.025	0.050
≤ 0.0	C	≥ 6 (0.5)	0.020	0.040	0.2	0.0050	0.020	0.040
≥ 0.5	C	≤ 3 (0.25)	0.020	0.030	0.2	0.0050	0.020	0.030
≥ 0.5	C	≥ 6 (0.5)	0.015	0.020	0.2	0.0050	0.015	0.020
≤ 0.0	NC	≤ 3 (0.25)	0.020	0.030	0.2	0.0050	0.020	0.030
≤ 0.0	NC	≥ 6 (0.5)	0.010	0.015	0.2	0.0015	0.010	0.015
≥ 0.5	NC	≤ 3 (0.25)	0.010	0.015	0.2	0.0050	0.010	0.015
≥ 0.5	NC	≥ 6 (0.5)	0.005	0.010	0.2	0.0015	0.005	0.010
Durum 2: kesme davranışı kontrolündeki kirişler ^b								
Etriye Aralığı $\leq d/2$			0.003	0.020	0.2	0.0015	0.010	0.020
Etriye Aralığı $\geq d/2$			0.003	0.010	0.2	0.0015	0.005	0.010
Durum 3: Açıklık boyunca yetersiz donatı ve bindirme boyu kontrolündeki kirişler ^b								
Etriye Aralığı $\leq d/2$			0.003	0.020	0.0	0.0015	0.010	0.020
Etriye Aralığı $\geq d/2$			0.003	0.010	0.0	0.0015	0.005	0.010
Durum 4: Kolon kiriş birleşim bölgesine yeterli derecede saplanmamış kirişler ^b								
			0.015	0.03	0.2	0.0100	0.020	0.030

Not: f'_{CE} in lb/in² ve (MPa) olarak verilmiştir.

^a Tabloda listelenenler arasındaki değerler doğrusal enterpolasyon ile belirlenir.

^b Durum i,ii,iii,iv'ten birden fazla halin sağlanması durumunda, minimum şartı sağlayacak değerler kullanılır.

^c Sırasıyla "C" ve "NC", uygun ve uygun olmayan enine donatıların kısaltmalarıdır. Enine donatının uygun olması için plastik mafsal bölgesinde, etriye aralığı d/3 ten küçük olmalı, orta ve yüksek süneklik talebine sahip elemanlar için, kesme donatıları tasarım kesme kuvvetlerinin ¾'ünü taşımalıdır. Aksi halde enine donatıların uygun olmadığı kabul edilir.

^d V, NSP veya NDP'nin tasarım kesme kuvvetidir.

Tablo 6. Doğrusal olmayan analizler için modelleme ve kabul kriterleri- betonarme kolonlar [ASCE 41-17]

Durum	Modelleme değişkenleri			Kabul edilmiş kriterler		
	Plastik Dönme Açılırları, a ve b (Rad).	Artık dayanım oranı, c	Net yükseklik boyunca yetersiz gelişme veya birleştirme ile kontrol edilmeyen kolonlar ^a	Plastik dönme açısı (Rad)		
				Performans seviyesi		
				IO	LS	CP
Net yükseklik boyunca yetersiz gelişme veya birleştirme ile kontrol edilmeyen kolonlar ^a						
	$a = \left(0.042 - 0.043 \frac{N_{UD}}{A_g f'_{CE}} + 0.63 \rho_t - 0.023 \frac{V_{yE}}{V_{CoIOE}} \right) \geq 0.0$					
	$\frac{N_{UD}}{A_g f'_{CE}} \leq 0.5$ için $b = \frac{0.5}{5 + 0.8 \frac{N_{UD}}{A_g f'_{CE}} \rho_t f_{yIE}} - 0.01 \geq a^a$			0.15 ^a	0.5b ^b	0.7b ^b
	$c = 0.24 - 0.4 \frac{N_{UD}}{A_g f'_{CE}} \geq 0.0$			≤ 0.005		
Net yükseklik boyunca yetersiz gelişme veya birleştirme ile kontrol edilen kolonlar ^c						
	$a = \left(\frac{1}{8} \frac{\rho_t \cdot f_{yIE}}{\rho_l \cdot f_{yIE}} \right) \geq 0.0$					
	$b = \left(0.012 - 0.085 \frac{N_{UD}}{A_g f'_{CE}} + 12 \rho_t^\theta \right) \geq 0.0$			0.0	0.5 ^b	0.7 ^b
	$c = 0.15 + 36 \rho_t \leq 0.4$					

Not: ρ_t , çekirdeğe yeterince sabitlenmediğinde hiçbir durumda 0.0175'ten fazla veya 0.0075'ten küçük alınmamalıdır. Tablodaki denklemler ρ_t değeri 0.0005'ten küçük olan kolonlar için geçerli değildir.

V_{yE} / V_{CoIOE} , 0.2'den az alınmamalıdır.

NUD, Denklemde (7-34)'te, açıklandığı gibi yanall kuvvetlerin etkilerini açıklayan maksimum basınç eksenel yük hesabı olacaktır. Alternatif olarak, NUD'un bir limit-durum analizine dayanarak değerlendirilmesine izin verilecektir.

^ab, $\frac{N_{UD}}{A_g f'_{CE}} > 0.5$ için $\frac{N_{UD}}{A_g f'_{CE}} = 0.5$ değerinden $\frac{N_{UD}}{A_g f'_{CE}} = 0.7$ değerinde lineer olarak azaltılacaktır, ancak a'dan küçük olmamalıdır

^b $\frac{N_{UD}}{A_g f'_{CE}}$, 0,1'den küçük alınmamalıdır.

^c Kolonların, ekteki hesaplanan çelik stresinin Denklem (10-1a) veya (10-1b) tarafından belirtilen çelik stresi aştığı yetersiz gelişme veya ek yerleri ile kontrol edildiği düşünülmektedir. Yetersiz gelişme veya birleştirme ile kontrol edilen kolonlar için modelleme parametresi, yetersiz gelişme veya birleştirme ile kontrol edilmeyen sütünların parametrelerini asla aşmayacaktır.

^a Yeterli gelişme veya birleştirme ile kontrol edilen kolonlar için, birleşme bölgesinde sıfır alınacak, uzunluğu boyunca en az iki bağ grubu tarafından geçilmeyecektir.

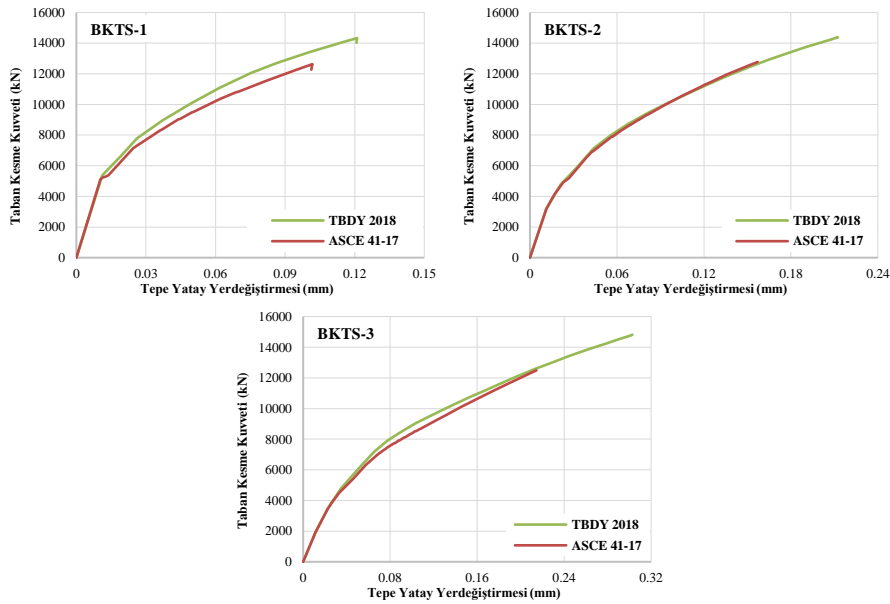
^c ρ_t , 0.0075'ten daha fazla alınmaz.

III. ARASTIRMA BULGULAR

Bu çalışmada üç tip betonarme karma taşıyıcı sistemlerin doğrusal olmayan analizi TBDY 2018 ve ASCE 41-17'ye göre yapılmıştır. Betonarme taşıyıcı sistemlerin basitleştirilmiş doğrusal olmayan statik analizlerinin yapılabilmesi için, etkin en-kesit rijitlikleri, eşdeğer deprem yükü dağılımları ve plastik mafsal özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Betonarme karma taşıyıcı sistemler için, taşıyıcı sistem elemanlarının etkin en-kesit rijitlik çarpanları ve eşdeğer deprem yükü dağılımları hesaplanarak ele alınmıştır. Plastik mafsal özellikleri ETABS 19-0.2 programında iki farklı yönetmeliğe göre analizlerde ele alınmıştır. Betonarme taşıyıcı sistemlerin doğrusal olmayan statik analizi TBDY 2018 ve ASCE 41-17'ye göre gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen itme analizinin sonuçları (kapasite eğrileri, performans noktaları, taban kesme kuvvetleri, kat kesme kuvvetleri ve kat ötelenmeleri) elde edilerek aşağıda verilmiştir.

A. KAPASİTE EĞRİLERİNİN ELDE EDİLMESİ

Betonarme karma taşıyıcı sistemlerinin artımsal eşdeğer deprem yükü itme analizlerinin kapasite eğrilerin elde edilmesi amacı ile üç tip BKTS-1, BKTS-2 ve BKTS-3 binaların analizi ETABS 19.02 programı ile gerçekleştirilmiştir. Betonarme taşıyıcı sistemlerin doğrusal olmayan analizleri TBDY 2018 ve ASCE 41-17 yönetmeliklere göre gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen analizlerin sonucunda yapı sistemlerinin kapasite eğrileri (tepe yatay yerdeğiştirmesi-taban kesme kuvveti eğrileri) elde edilmiştir. Betonarme karma taşıyıcı sistemlerin kapasite eğrilerin karşılaştırmalı grafiği Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. BKTS-1, BKTS-2 ve BKTS-3 binaların karşılaştırmalı kapasite eğrileri

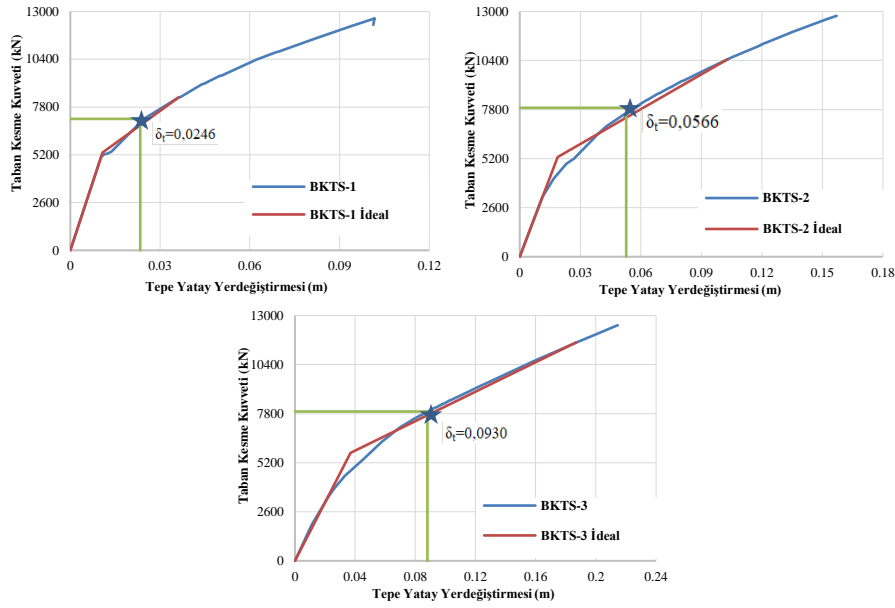
B. BKTS-1, 2 VE 3 PERFORMANS NOKTALARININ BELİRLENMESİ

Betonarme karma taşıyıcı sistemlerin (BKTS) performans noktalarının belirlenmesi için kapasite eğrilerinin (taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirme grafiğinin) spektral ivme (S_a)-spektral yerdeğiştirme (S_d) eksen takımına dönüştürülmesi gerekmektedir. Deprem etkisi ve talep eğrisi olarak adlandırılan, eksenleri spektral ivme (S_a)-periyot (s_n) olan elastik ivme spektrumu eğrisine de eksen dönüşümü uygulanmış ve spektral ivme (S_a)-spektral yerdeğiştirme (S_d) eksen takımına dönüşümü yapılmıştır. ASCE 41-17'ye göre performans noktasının belirlenmesinde kapasite eğrisi ve ideal kapasite eğrisi üst üste çizilmekte ve farklı katsayılar hesaplanarak performans noktası belirlenmektedir.

TBDY 2018'e göre performans noktaları belirlenerek Tablo 7'de verilmiştir. ASCE 41-17 yönetmeliğe göre performans noktaları belirlenerek Şekil 7'de verilmiştir.

Tablo 7. BKTS 1, 2 ve 3 tip binaların TBDY 2018'e göre x eksenı doğrultusunda performans noktalarının belirlenmesi

Performans noktası		
Bina tipi	Tepe yatay yerdeğiştirmesi (m)	Taban kesme kuvveti (kN)
BKTS-1	0,0261	7785
BKTS-2	0,0676	8719
BKTS-3	0,1031	9019



Şekil 7. BKTS 1, 2 ve 3 tip binaların ASCE 41-17'ye göre x eksenı doğrultusunda performans noktalarının belirlenmesi

BKTS-1, BKTS-2 ve BKTS-3 tip betonarme taşıyıcı sistemlerinin x eksenı doğrultusu için performans noktaları belirlenerek Tablo 7 ve Şekil 7'de verilmiştir. TBDY 2018'e göre ETABS 19-02 programı ile gerçekleştirilen artımsal itme analizlerinin sonucunda, BKTS-1 tipi binada üçüncü, BKTS-2 tipi binada altıncı ve BKTS-3 tipi binada dokuzuncu hesap adımı yapı sistemlerinin performans değerlendirilmelerinin yapılacağı hesap adımları olarak belirlenmiştir.

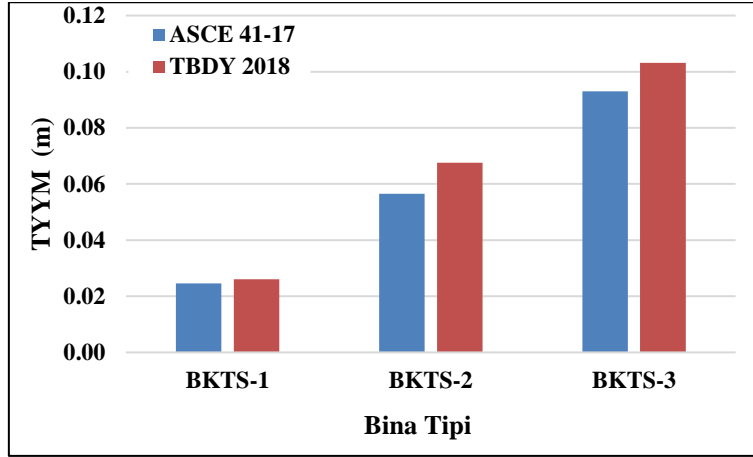
ASCE 41-17'ye göre ETABS 19-02 programı ile gerçekleştirilen artımsal itme analizlerinin sonucunda, BKTS-1 tipi binada beşinci, BKTS-2 tipi binada sekizinci ve BKTS-3 tipi binada on üçüncü hesap adımında performans noktasına ulaşılmıştır.

Yapı sistemlerinin performans noktasındaki deprem istemlerinin karşılaştırılması için tepe yatay yerdeğiştirmeleri, taban kesme kuvvetleri, kat kesme kuvvetleri, görelı kat ötelenmeleri ve hasar gören elemanların oranlarının iki farklı yönetmeliklerine göre karşılaştırılması gerekmektedir.

C. TEPE YATAY YERDEĞİŞTİRME MİKTARLARIN HESAPLANMASI (TYYM)

Betonarme karma taşıyıcı sistemlerinin TBDY 2018 ve ASCE 41-17 yönetmeliklerine göre performans noktalarında elde edilen tepe yatay yerdeğiştirmelerinin miktarı elde edilmiştir. Elde edilen Tepe Yatay Yerdeğiştirme Miktarının (TYYM) karşılaştırmalı grafiği Şekil 8'de verilmiştir. TBDY 2018'e göre

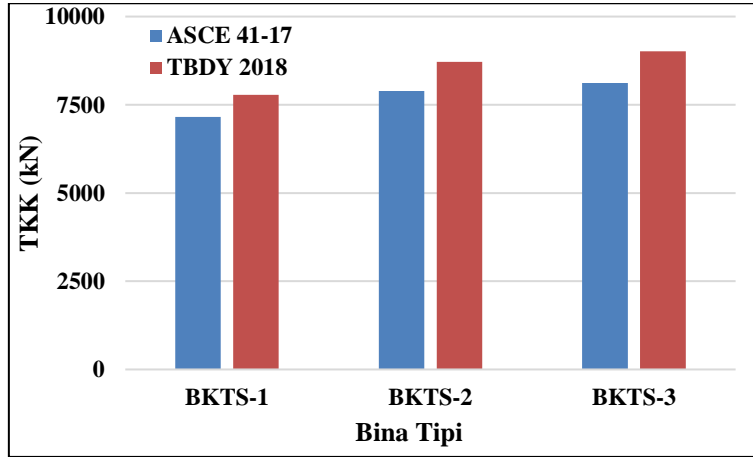
elde edilen tepe yatay yerdeğiştirme miktarı ASCE 41-17'ye göre hesaplanan tepe yatay yerdeğiştirme miktarından daha fazla elde edilmiştir (şekil 8).



şekil 8. İki farklı yönetmeliğe göre hesaplanan tepe yatay yerdeğiştirme miktarının karşılaştırılması grafiği

Ç. TABAN KESME KUVVETLERİNİN HESAPLANMASI (TKK)

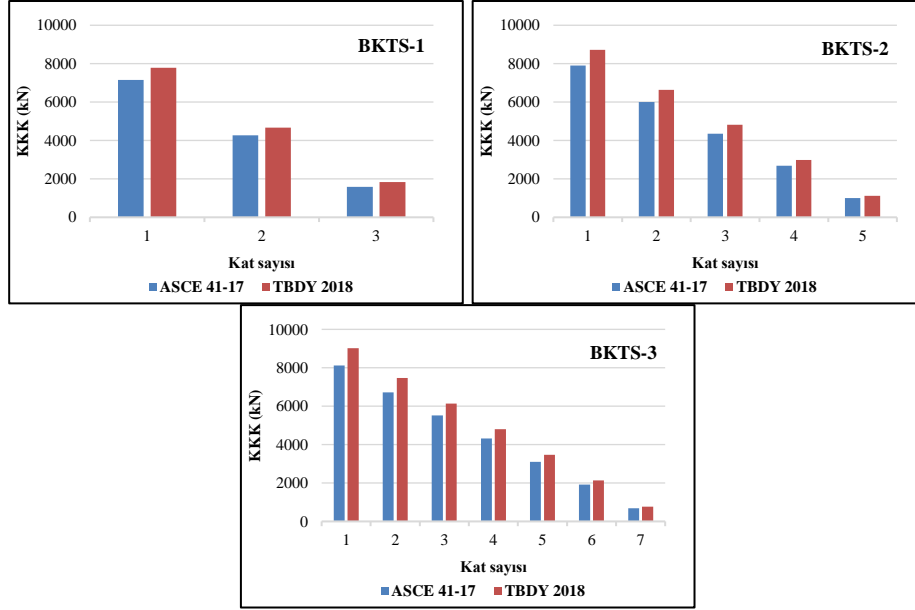
TBDY 2018 ve ASCE41-17 yönetmeliklerine göre ETABS 19-0.2 programı ile geręekleřtirilen betonarme karma taşıyıcı sistemlerin doğrusal olmayan analizlerinin sonucunda, performans noktasında Taban Kesme Kuvvetleri (TKK) elde edilmiştir. İki farklı yönetmeliğe göre hesaplanan taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırmalı grafiği şekil 9'de verilmiştir. TBDY 2018'e göre elde edilen taban kesme kuvvetlerinin miktarı ASCE41-17'ye göre hesaplanan taban kesme kuvvetlerin miktarından daha fazla elde edilmiştir (şekil 9).



şekil 9. Elde edilen taban kesme kuvveti karşılaştırılması grafiği

D. KAT KESME KUVVETLERİNİN HESAPLANMASI (KKK)

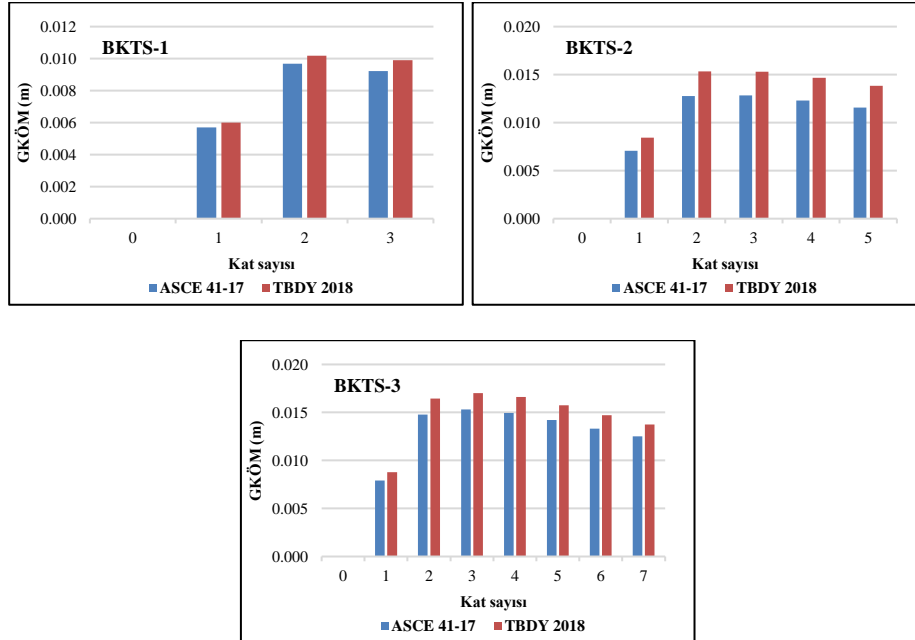
TBDY 2018 ve ASCE 41-17'ye göre lineer olmayan itme analizi ile Kat Kesme Kuvvetlerin (KKK) miktarı hesaplanmıştır. Hesaplanan kat kesme kuvvetlerin karşılaştırmalı grafiği şekil 10'da verilmiştir. TBDY 2018'e göre elde edilen kat kesme kuvvetlerin miktarı ASCE41-17'ye göre hesaplanan kat kesme kuvvetlerin miktarından daha fazla elde edilmiştir (şekil 10).



Şekil 10. Elde edilen kat kesme kuvveti karşılaştırması grafiği

E. GÖRELİ KAT ÖTELEMELERİN MİKTARI HESAPLANMASI (GKÖM)

TBDY 2018 ve ASCE 41-17 yönetmeliklere göre gerçekleştirilen doğrusal olmayan itme analizi sonuçlarından, performans noktasında elde edilen Görelî Kat Ötelemelerin Miktarı (GKÖM) elde edilmiştir. Elde edilen görelî kat ötelemelerinin karşılaştırmalı grafiği şekil 11’de verilmiştir. TBDY 2018’e göre elde edilen görelî kat ötelemelerin miktarı ASCE41-17’ye göre hesaplanan görelî kat ötelemelerin miktarından daha fazla elde edilmiştir (Şekil 11).

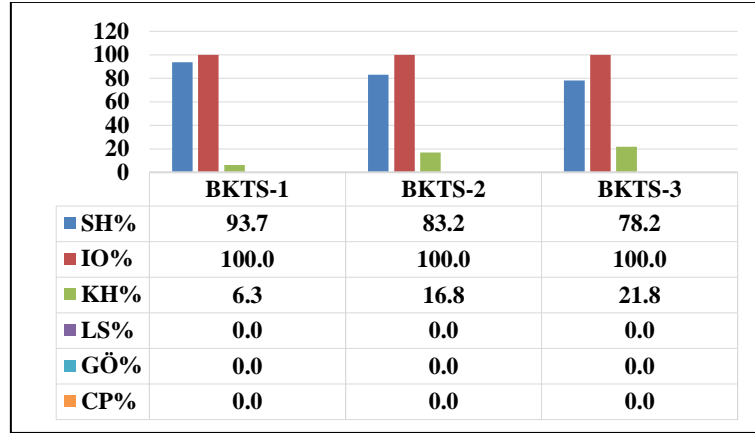


Şekil 11. Elde edilen görelî kat ötelemesi miktarının karşılaştırılması grafiği

F. HASAR GÖREN ELEMANLARIN ORANLARININ HESAPLANMASI

TBDY 2018 ve ASCE 41-17’ye göre betonarme karma taşıyıcı sistemlerinin performans noktalarında hasar gören elemanların oranları yüzde (%) olarak elde edilmiştir. Elde edilen hasar gören elemanların

oranları karşılaştırmalı grafiği Şekil 12’de verilmiştir. ASCE 41-17’ye göre analiz edilen taşıyıcı sistemlerin tüm elemanları Immediate Occupancy (IO) hemen kullanım hasarı gören elemanlardır. ASCE 41-17 yönetmelikteki hemen kullanım hasar sınırı TBDY 2018 yönetmelikteki sınırlı hasar sınırına karşı gelmektedir. TBDY 2018 yönetmeliğe göre analiz edilen taşıyıcı sistemlerin elemanları sınırlı hasar (SH) ve kontrollü hasar (KH) sınırlarına ulaşılmaktadır. Betonarme karma taşıyıcı sistemlerin performan analizlerin sonuçlarına göre hiçbir eleman göçme önlenmesi (GÖ) ve Collapse Prevention (CP) hasar sınırlarına ulaşılmamaktadır.



Şekil 12. Hasar gören elemanların yüzdeler oranları karşılaştırılması grafiği

IV. SONUÇLAR

TBDY 2018 ve ASCE 41-17’ye göre tanımlanan düşey yük miktarı, plastik mafsallı özellikleri ve çatlamış kesit rijitlik oranlarına göre elde edilen analiz sonuçları değişmektedir. Betonarme karma taşıyıcı sistemlerin doğrusal olmayan itme analizlerinden elde edilen verilerine göre aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

BKTS-1, 2 ve 3 tip binalarında, TBDY 2018’e göre hesaplanan tepe yatay yerdeğiştirme miktarı ASCE 41-17’ye göre hesaplanan tepe yatay yerdeğiştirme miktarından daha fazla elde edilmiştir. Tepe yatay yerdeğiştirme miktarının artışı kat sayısı az olan binalarda azalmaktadır. Kat sayısı arttığı zaman tepe yatay yerdeğiştirme miktarının yüzdeler artışı daha belirgindir.

Betonarme karma taşıyıcı sistemlerinde, TBDY 2018’e göre hesaplanan taban kesme kuvvetlerinin miktarı ASCE 41-17’ye göre hesaplanan taban kesme kuvvetlerinin miktarından daha fazla elde edilmiştir. Taban kesme kuvvetleri miktarının artışı kat sayısı fazla olan binalarda daha fazladır. Kat sayısı arttığı zaman taban kesme kuvvetlerinin miktarı yüzdeler artışı azalmaktadır.

TBDY 2018’e göre elde edilen kat kesme kuvvetlerinin miktarı ASCE41-17’ye göre hesaplanan kat kesme kuvvetlerinin miktarından daha fazla elde edilmiştir. Betonarme karma taşıyıcı sistemlerde, kat kesme kuvvetlerinin artışı birinci katta çok ve değer katlarda yüzdeler artışı miktarı azalmaktadır.

ASCE 41-17’ye göre elde edilen görel kat ötelenmelerinin miktarı TBDY 2018’e göre elde edilen görel kat ötelenmelerinin miktarından daha az elde edilmiştir. Görel kat ötelenme miktarının azalışı BKTS-1, 2 ve 3 binada birinci katta az ve kalan katlarda bu azalışın miktarı artırılmaktadır.

Betonarme taşıyıcı sistemlerinde hasar gören elemanların sayısı yüzde olarak verilmiştir (Şekil 12). TBDY 2018’e göre analiz edilen taşıyıcı sistemlerin elemanları sınırlı hasar ve kontrollü hasar gören elemanlardır. ASCE 41-17’ye göre analiz edilen taşıyıcı sistemlerin elemanları Immediate Occupancy (IO) hemen kullanım hasarı gören elemanlardır. ASCE 41-17 yönetmelikteki hemen kullanım hasar sınırı TBDY 2018 yönetmelikteki sınırlı hasar sınırına karşı gelmektedir.

Araştırma bulguları ve elde edilen verilere göre bu değişimler TBDY 2018 ve ASCE 41-17'ye göre tanımlanan farklı düşey yük miktarına, plastik mafsallık özelliklerine ve betonarme elemanların etkin rijitliklerine bağlıdır. Plastik mafsallık özellikleri farklı yönetmeliğe göre farklı plastik mafsallık özellikleri tanımlanmıştır.

VI. KAYNAKLAR



- [1] MJN. Priestley, "Myths and fallacies in earthquake engineering—conflicts between design and reality," *Bull N Z Natl Soc Earthq Eng*, vol. 26, no. 3, pp. 329–341, 1993.
- [2] W. Liao, C. H. Loh, and S. Wan "Earthquake responses of RC moment frames subjected to near-fault ground motions," *Struct Des Tall Spec Build*, vol. 10, no. 3, pp. 219–229, 2001.
- [3] S. D. Kim, and E. Amore "Push-over analysis procedure in earthquake engineering," *Earthq Spectra*, vol. 15, no. 6, pp. 417–434, 1999.
- [4] JM. Bracci, SK. Kunnath, and AM. Reinhorn "Seismic performance and retrofit evaluation of reinforced concrete structures," *J Struct Eng*, vol. 123, no. 1, pp. 3–10, 1997.
- [5] B. Gupta, and SK. Kunnath "Adaptive spectra-based pushover procedure for seismic evaluation of structures," *Earthq Spectra*, vol. 16, no. 2, pp. 367–391, 2000.
- [6] AK. Chopra, and RK. Goel "A modal pushover analysis procedure for estimating seismic demands for buildings," *Earthq Eng Struct Dyn*, vol. 31, no. 3, pp. 561–582, 2002.
- [7] Structural software for analysis and design ETABS 19-0.2, *Computer program*, Version 19.0.2. California (USA): CSI Computers & structures, 2019.
- [8] *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği*, T.C. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı TBDY 2018, 2018.
- [9] *ASCE 41-17. Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings*, ASCE 41-17 Standard, American Society of Civil Engineers, Reston, VA, USA, 2017.
- [10] R. Jamal, ve S. B. Yüksel, "TBDY 2018 ve ASCE 41-17'e Göre doğrusal olmayan hesap yöntemleri ile yapı sistemlerinin performans analizinin elde edilmesi ve karşılaştırması," *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi*, c. 8, s. 1, ss. 432-444, 2021.
- [11] A. Karabulut, "TDY 2007 yönetmeliği ve FEMA 440 raporunda tanımlanan doğrusal olmayan analiz yöntemlerinin mevcut betonarme binalar için karşılaştırılması," Yüksek Lisans tezi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2011.
- [12] M. Sönmez, "DBYBHY-07 ve ASCE 41-06'da tanımlanan doğrusal olmayan performans değerlendirme yöntemlerinin karşılaştırılması," Yüksek Lisans tezi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2012.
- [13] *Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları*, Türk Standartları Enstitüsü TS500, 2000.
- [14] Structural software for analysis and design SAP2000, *Computer program*, Version 20.0.0, California (USA): CSI Computers & structures, 2017.
- [15] J. B. Mander, M. J. N. Priestley, and R. Park, "Theoretical stress-strain model for confined concrete," *Journal of Structural Engineering ASCE*, vol. 114, no. 8, pp. 1804-1826, 1988.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

2,4 Diklorofenoksi Asetik Asit'in Sazanlarda (*Cyprinus carpio*) Kritik Yüzme Hızı ve Hematoloji Parametreleri Üzerine Etkilerinin Araştırılması

 Melek TUNA^a  Muhammed ATAMANALP^{a*}

^a Yetiştiricilik Bölümü, Su Ürünleri Fakültesi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: mataman@atauni.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.899795

ÖZ

2,4-D (Diklorofenoksi Asetik Asit) herbisiti klorlandırılmış fenoksi asit grubuna girmektedir. Halka açık alanlardaki çimlerde ve tarım arazilerinde, yol kenarlarında geniş yapraklı bitkilerle akuatik bitkilerin kontrolünde yaygın tercih edilir. Çok geniş bir yayılım alanı olduğu için insan ve çevre sağlığı açısından tehdit oluşturmaktadır. Bu çalışmada; 2,4-D Diklorofenoksi asetik asit pestisitinin farklı dozlarının (0,35 mg/lit ve 0,70 mg/lit) sazan (*Cyprinus carpio*) balıklarında 7-14 ve 21. günlerde sub-lethal etkileri hematolojik parametreler [hemoglobin (HGB), hematokrit (HCT), eritrosit (RBC), lökosit (WBC), trombosit (PLT), ortalama eritrosit hacmi (MCV), eritrosit başına düşen ortalama hemoglobin miktarı (MCH), eritrosit başına düşen ortalama hemoglobin konsantrasyonu (MCHC)] ve yüzme performansı analizleri ile araştırılmıştır. Hematolojik parametrelerden lökosit, trombosit, MCV ve MCHC değerleri için doz, zaman ve doz x zaman etkileşim etkileri önemli olarak belirlenmiş ($p < 0,05$) diğer parametreler için de ana varyasyon kaynaklarının etkileri önemli bulunmuştur ($p < 0,05$). Kritik yüzme hızı sonuçları değerlendirildiğinde ise kontrol ve uygulama grupları arasında değişimlerin olduğu ancak bu değişimlerin önemsiz olduğu belirlenmiştir ($p < 0,05$).

Anahtar Kelimeler: 2,4-D Diklorofenoksi asetik asit, Hematoloji, Kritik yüzme hızı

Investigation the Effects of 2,4 Dichlorophenoxyacetic acid on Critical Swimming Speed and Hematological Parameters of Carp (*Cyprinus carpio*)

ABSTRACT

2,4-D (Dichlorophenoxy Acetic Acid) herbicide belongs to the chlorinated phenoxy acid group. It is widely preferred for the control of aquatic plants, on public lawns, agricultural lands and the broad-leaved plants along roadsides. It poses threats to human and environmental health as it is a very wide spreading area. In this study; sub-lethal effects of 2,4-D dichlorophenoxy acetic acid pesticide different doses (0.35 mg / L and 0.70 mg / L) on the 7-14 and 21 days in carp (*Cyprinus carpio*) hematological parameters (hemoglobin (HGB), hematocrit (HCT), erythrocyte (RBC), leukocyte (WBC), platelet (PLT), mean erythrocyte volume (MCV), mean hemoglobin per erythrocyte (MCH), mean hemoglobin concentration per erythrocyte (MCHC)] and swimming performance were investigated. For leukocyte, thrombocyte, MCV and MCHC values among hematological parameters, dose, time and dose x time interaction effects were determined to be significant ($p < 0.05$). The effects of main variation sources were found to be significant among other parameters ($p < 0.05$). When the critical swimming speed results were evaluated, it was determined that there were changes between the control and application groups, but these changes were insignificant ($p < 0.05$).

Keywords: 2,4-D Dichlorophenoxy acetic acid, Hematology, Critical swimming speed,

I. GİRİŞ

Pestisitler zararlı organizmaları yok etmek, popülasyonları kontrol altında tutmak veya zararlı etkilerini en aza indirmek için yaygın olarak kullanılan kimyasallardır. Bu kimyasallar her ne kadar zararlı organizmalarla mücadele etmek amacıyla üretilmiş olsalar da başta toprak ve su olmak üzere bütün ortamlarda etkilerini hissettirmektedirler. İnsanoğlu her geçen gün artan nüfusun etkisiyle ihtiyaç duyulan gıda gereksinimlerini karşılayabilmek adına yeni tarım arazilerini açmakta ve zararlı organizmalarla mücadele ederek üretimde verimi artırmaya çalışmaktadır. Fakat bunu yaparken hem çevreye hem de kendisine zarar vermektedir. Çevreye bırakılan bütün kimyasal maddeler doğrudan veya dolaylı yollarla ekosistemlere ve insanlara ulaşmaktadır [1].

Pestisit–balık etkileşimli çalışmalar, pestisitlerin balık davranışları ve fizyolojisi hakkında değerlendirme yapılmasının yanı sıra, halk sağlığı, tarım ve çevre üzerindeki etkisinin bilimsel değerlendirmesini kolaylaştırmaktadır. Bu nedenle, pestisitlerin tatlı su sistemlerine kullanımını ve olası sızmasını kontrol etmek için düzenleyici ve bilinçlendirme araçlarına ihtiyaç vardır. Bu tür çabalar, öngörülebilir gelecek için bu ve diğer bölgelerdeki insanlar için bir gıda olarak balık kalitesini korumamıza yardımcı olabilir.

2,4-D zirai ve zirai olmayan alanlarda kullanılan bir herbisit olup ülkemizde de kullanılmaktadır. Tüm dünyada 300 milyon doları aşan ve büyük bir pazara sahip olduğu bildirilmiştir [2]. Halka açık alanlardaki çimlerde ve tarım arazilerinde, yol kenarlarında geniş yapraklı bitkilerle akuatik bitkilerin kontrolünde oldukça tercih edilir. Çok geniş bir yayılım alanı olduğu için insan ve çevre sağlığı açısından tehdit oluşturmaktadır [3].

Davranış değişiklikleri potansiyel toksik etkilerin en hassas göstergeleridir. Kirleticiler sinir sistemi ve duyu reseptörleri ile etkileşime girerek balıkların davranış biçimlerini etkileyebilir ve sonuç olarak balığın çevresel uyaranlara verdiği tepkilerde bozukluklara yol açabilir. Yüzme performansı ekolojik çevrede pek çok balık türünün hayatta kalabilmesini sağlayan önemli faktörlerden biridir. Yüzme performansı biyolojik ve fizyolojik faktörlerin çeşitliliğine bağlıdır. Türün özelliği, diğer bir deyişle vücut şekli, yüzgeç biçimi, kas fonksiyonu, yüzme modu ve balık büyüklüğü yüzme performansında etkilidir. Çevresel faktörler ise pH, oksijen, fotoperiyot ve çeşitli kirleticiler olarak belirlenmiştir [4].

Balıklar ve diğer akuatik canlılar için yüzme performansının ölçümünde kullanılan en yaygın metot kritik yüzme hızıdır. Kritik yüzme hızı balığın yüzme kabiliyetini belirlemek için standart bir ölçüdür (Plaut 2001). Bu metotta balık bir su tüneline yerleştirilir ve farklı hızlardaki su akışına karşı yüzme kabiliyeti değerlendirilir. Balıkların genellikle opto-motordan dolayı akıntıya karşı pozisyonlarını korumaları gereklidir. Kritik yüzme performansı değerlerinin toksikolojik çalışmalarda LD50 değerleri ile karşılaştırılabildiği için bu konuda bilgi temin ettiği ifade edilmiştir. Kritik yüzme hızı testleri yapılarak, kronik maruz kalma sonucunda balıklarda oluşan subletal etkilerin ölçülebildiği ve kirletilmiş habitat ortamı ile ilgili doğru bilgilerin sağlandığı bildirilmiştir [5].

Kirleticiler balığın yüzme kabiliyetini azaltarak mekanizmasının farklılaşmasına neden olmaktadır. Farklı maddelere maruz kalma sonucunda solungaçlar zarar gördüğünden dolayı solunum değişimi engellenmekte ve oksijen alımı ve dolayısıyla kritik yüzme hızı azalmaktadır. Kronik maruz kalma durumunda detoksifikasyon ve zararların giderilmesinde daha fazla metabolik aktiviteye ihtiyaç duyulmaktadır. Kronik maruz kalma sonucunda sinir fonksiyonlarında değişimler ortaya çıkabilmektedir. Kirleticilere maruz kalan balığın karbonhidrat depoları azalacağından maksimum yüzme hızında da önemli bir şekilde azalma görülmektedir [6].

Balıklarda spesifik olmayan tepki fiziksel, kimyasal ve algılanan stres etkeni ile uyandırılmakta ve balığın stres etkeni ile başa çıkmasını sağlamaktadır. Hücresel tepkileri davranış, kimyasal stres ve daha yüksek biyolojik organizasyon düzeyleri ile ilişkilendirmek önemlidir. Davranış, içsel ve dışsal işlemlerin bir sonucu olduğundan, bu tür parametrelerdeki değişiklikler, kirleticilere maruz kalan doğal popülasyonların sağlığını anlamaya yardımcı olmaktadır [7].

Hematolojik parametreler toksik maddenin mekanizmasını anlamak için temel belirteçlerdir. Hematolojik ve klinik kimya parametreleri hızlı bir şekilde belirlenebilir ve kirleticilerin toksisitesini tahmin ve teşhis edebilmek için kullanılabilir. Bu parametrelerdeki değişimler stres etkenine maruz kalan canlıların kan ve kanla bağlantılı organlarında stresin kantitatif ölçümünü göstermektedir [8].

Balıklarda kan indekslerinin analizi, metabolik bozukluklar, eksiklikler ve kronik stres durumu hakkında güvenilir bilgi sağlayan ve balığın sağlık durumunu belirlemek için değerli bir yaklaşımdır [9]. Hematolojik profil, balıkların fizyolojik durumunu ve sağlığını gösterebilir. Böylece diğer rutin teşhis yöntemleri ile birlikte kullanılan hematoloji, strese neden olan koşulları ve refah düzeyini etkileyen hastalıkları belirlemek ve değerlendirmek için kullanılabilir.

Bu çalışmada, kirleticilerin sucul canlılarda neden olduğu olumsuz etkiler kapsamında 2,4 diklorofenoksi asetik asit'in sazanlarda (*Cyprinus carpio*) kritik yüzme hızı ve hematoloji parametrelerindeki değişimlerin ortaya konulması hedeflenmiştir.

II. MATERYAL VE METOD

A. DENEME DİZAYNI

Kimyasal uygulaması, Atatürk Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Akvaryum Balıkları Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde bulunan Toksikoloji Deneme Ünitesi'nde yapılmıştır. Laboratuvar analizleri ise Su Ürünleri Fakültesi laboratuvarlarında yürütülmüştür.

B. DENEME MATERYALİ

90 adet sazan balığı (6,2±0,3 cm boy ve 9,5±0,7 gr), Atatürk Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi İçsu Balıkları Uygulama ve Araştırma Merkezi'nden temin edildi. Çalışmada kullanılan diklorofenoksi asetik asit ticari bir firmadan (Akdeniz Kimya, Erzurum, Türkiye) temin edilmiştir. Etkili maddesi; 500 g/l 2,4-D aside eşdeğer 2,4 diklorofenoksi asetik asit dimethyl amin tuzudur.

C. KİMYASAL UYGULAMASI

Balıklar aklimasyon periyodundan sonra kronik olarak pestisit 2 farklı konsantrasyonuna (0,35 mg/l ve diğerine 0,70 mg/l) 21 gün boyunca maruz bırakılmıştır. Deneme, 2 uygulama 1 kontrol olmak üzere 3 gruptan oluşmuştur. Kimyasalın uygulanan konsantrasyonları ön demeler sonucunda elde edilen veriler doğrultusunda belirlenmiştir.

D. KRİTİK YÜZME HIZI ÖLÇÜMÜ

Balıklar 21 gün sonunda buldukları ortam ile aynı su kalitesine sahip olan yüzme performansı ünitesinde kritik yüzme hızlarının ölçümü için yüzdürme tüneline alınmıştır. Yüzme performansı ölçüm sistemi, çevre uzunluğu 14,65 cm olan kenarları yuvarlatılmış tank sistemi ile içerisinde 1 m boy ve 40 cm çapında yüzdürme kabini bulunan bir tünelden ibarettir. Su sıcaklığı sistem tarafından doğrudan, debi ölçümleri ise muline cihazı (pemsantaş 9001-54) ile ölçülmüştür.

Kritik yüzme hızı aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır [10].

$$U_{crit} = U_i + (T_i / T_{ii}) U_{ii}$$

U_{crit} =Kritik yüzme hızı (cm/sn veya bl/sn)

U_i = Belirlenen zaman aralığının tamamında sürdürülebilir hız (cm/sn)

U_{ii} =Balığın yorgun düştüğü hız (cm/sn)

T_i =Balığın yorgun düştüğü hızda yüzebildiği süre (sn)

T_{ii} =Kritik yüzme hızı için belirlenen süre (30 dk)

E. HEMATOLOJİ ANALİZLERİ

Balıkların kan örnekleri, anüs yüzgecinin hemen arka kısmından, kana mukoza karışmaması için iyice kurulanıp temizlendikten sonra 10 ml'lik 21 numara iğneli plastik enjektörle kaudal venadan girilerek yaklaşık 4 ml civarında alındı. Kan parametreleri analizleri sazan balığına kalibre edilmiş Prokan PE 6800 isimli otoanalizör cihazında okunmuştur.

F. İSTATİSTİK ANALİZLER

Mevcut araştırmadan elde edilen veriler SPSS yazılımı ile analiz edilmiştir. Duncan tarafından test edilen gruplar arasındaki farklılıklar ve önem düzeyleri $p < 0.05$ aşamasında belirlenmiştir.

III. ARAŞTIRMA BULGULARI

A. KRİTİK YÜZME HIZI

2,4- Diklorofenoksi Asetik Asit'in iki farklı dozuna maruz bırakılan sazan balıklarında kritik yüzme hızına ait sonuçlar değerlendirildiğinde kontrol grubuna göre değişimler olmasına rağmen istatistik açıdan önemli olmadığı belirlenmiştir ($p > 0,05$) (Tablo 1).

Tablo 1. 2.4-D Diklorofenoksi Asetik Asitin Cyprinus carpio 'nun kritik yüzme hızı (bl/sn) üzerine etkisi

Grup	Ucrit (bl/sn)
0,35 mg/lit (D1)	2,47±0,144 ^a
0,70 mg/lit (D2)	2,55±0,570 ^a
Kontrol	2,43±0,178 ^a

* a: Aynı harfle gösterilen ortalamalar arasında istatistiki olarak fark yoktur.

B. HEMATOLOJİ İNDEKSLERİ

Araştırmada hematoloji parametreleri olarak; hemoglobin miktarı (HGB), eritrosit sayısı (RBC), eritrosit başına düşen ortalama hemoglobin miktarı (MCH), eritrosit başına düşen ortalama hemoglobin konsantrasyonu (MCHC), ortalama eritrosit hacmi (MVC), lökosit sayısı (WBC), trombosit sayısı (PLT), hemotokrit sayısı (HCT) çalışılmıştır. Söz konusu parametrelere ait bulgular Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. 2.4-D Diklorofenoksi Asetik Asitin *Cyprinus carpio* 'nun hematoloji indeksleri üzerine etkisi

Hematoloji İndexleri	Grup Gün	Kontrol	0,35 mg/lit (D1)	0,70 mg/lit (D2)
Hemoglobin (HGB) (g/100ml)	7	9,367±0,931 ^a	9,170±0,721 ^a	7,033±0,760 ^a
	14	7,475±0,988 ^b	15,600±0,884 ^a	13,430±0,884 ^a
	21	16,167±1,234 ^a	16,411±1,007 ^a	13,500±0,956 ^a
Hemotokrit (HCT)	7	8,200±0,714 ^a	7,150±0,553 ^{ab}	5,656±0,583 ^b
	14	6,200±0,739 ^b	11,990±0,661 ^a	10,340±0,661 ^a
	21	12,267±0,869 ^a	12,333±0,710 ^a	9,970±0,673 ^b
MCH (pg)	7	69,400±2,895 ^a	68,520±2,242 ^a	65,800±2,364 ^a
	14	68,000±0,853 ^a	68,160±0,763 ^a	68,330±0,763 ^a
	21	70,773±0,965 ^a	70,156±0,788 ^a	69,050±0,747 ^a
MCHC (g/ml)	7	116,233±4,691 ^a	128,460±3,634 ^a	120,989±3,830 ^a
	14	120,950±1,437 ^b	129,890±1,286 ^a	129,570±1,286 ^a
	21	131,733±1,464 ^a	132,878±1,196 ^a	134,710±1,134 ^a
MCV (µm ³)	7	60,333±1,116 ^a	53,710±0,865 ^b	55,100±0,911 ^b
	14	56,600±0,721 ^a	52,770±0,645 ^b	53,070±0,645 ^b
	21	54,033±0,828 ^a	53,100±0,676 ^b	51,600±0,641 ^b
Eritrosit (RBC) (10 ⁶ /mm ³)	7	1,342±0,139 ^a	1,349±0,107 ^a	1,047±0,113 ^a
	14	1,098±0,139 ^b	2,256±0,125 ^a	1,965±0,125 ^a
	21	2,283±0,167 ^a	2,336±0,136 ^a	1,942±0,129 ^a
Lökosit (WBC) (10 ⁴ /mm ³)	7	3,000±0,437 ^a	2,680±0,338 ^a	1,767±0,356 ^a
	14	1,875±0,604 ^b	6,710±0,540 ^a	5,120±0,540 ^a
	21	6,767±0,721 ^{ab}	6,811±0,588 ^a	5,250±0,558 ^a
Trombosit (PLT) (10 ³ /mm ³)	7	127,667±15,239 ^a	117,800±11,804 ^{ab}	86,111±12,443 ^b
	14	64,250±13,192 ^b	145,400±11,799 ^a	143,900±11,799 ^a
	21	142,000±14,849 ^a	164,444±12,124 ^a	139,500±11,502 ^a

a, b, Aynı harfle gösterilen grup ortalamaları arasında istatistiki olarak fark yoktur (p<0.05)

IV. TARTIŞMA ve SONUÇ

A. KRİTİK YÜZME HIZI

Önemli değerlerden biri olan kritik yüzme hızı için tespit edilen kriterler toksikolojik çalışmalarda LC₅₀ değerleri ile mukayese edildiğinden dolayı yapılan çalışmada söz konusu parametre ele alınmıştır. Farklı dozların uygulandığı sazan balıklarında (*C. carpio*) kritik yüzme hızı değerleri bakımından kontrol ve uygulama grupları arasında meydana gelen farklar grup içinde önemsiz, gruplar arasında önemli bulunmuştur (p<0,05). Kritik yüzme hızı ile ilgili ortalama değerler: kontrol grubu için 2,47±0,14 bl/sn, D1 grubu için 2,55±0,57 bl/sn, D2 grubu için 2,43±0,17 bl/sn olarak tespit edilmiştir.

Brett ve Glosal [11], *Oncorhynchus nerka* larda kritik yüzme hızının 3,3±4,4 bl/sn, Peterson [12] *Salvelinus fontinalis* balıklarında kritik yüzme hızının 4,63±4,86 bl/sn aralığında değiştiğini bildirmişlerdir.

Asetoklar ve glifosat kimyasallarının sub-letal dozlarının uygulandığı gökkuşağı alabalığında (*O. mykiss*) kritik yüzme hızı değerlerinin gruplar arasındaki farkları istatistikî açıdan önemli bulunmuştur. Pestisitlere maruz bırakılan balıkların ortalama yüzme sürelerinin, kontrol grubundaki balıklara nazaran uzun olduğunu rapor etmiştir [10].

Yaptığımız çalışmada sazan balıkları (*C. carpio*) kirleticilerin etkisine maruz bırakıldığında yüzme performansına etkisinin önemsiz olduğu belirlenmiştir. Farklı çalışmalar ile kıyaslandığında bu değişimin araştırmalarda kullanılan balıkların vücut şekli, kas fonksiyonu, yüzgeç biçimi, yüzme

metodu ve balığın büyüklüğünden kaynaklandığı, yüzme performansı üzerinde oksijen, pH, tuzluluk, sıcaklık ve kirleticilerinde fazlaca önemli olduğu belirlenmiştir.

Yeğin [13], bakır sülfat pentahidrat'ın iki farklı dozuna maruz kalan gökkuşuğu alabalığında (*O. mykiss*) kritik yüzme hızı değerleri bakımından gruplar arasındaki farkın önemli olduğunu bulmuştur. Kritik yüzme hızı ile ilgili ortalama değerleri: K grubu için $3,550\pm 1,62$ bl/sn, D1 grubu için $3,74\pm 2,03$ bl/sn ve D2 grubu için $5,06\pm 0,34$ bl/sn olarak tespit etmiştir.

Esenbuğa [14], SDS (Sodyum Dodesil Sülfat) nin iki farklı dozuna maruz kalan gökkuşuğu alabalığında (*O. mykiss*), incelenen kritik yüzme hızı değerleri bakımından gruplar arasında oluşan farkı önemli bulmuştur. Çalışmaya ait parametrelerin ortalama değerleri: K grubu için $4,93\pm 0,50$ bl/sn, D1 grubu için $2,43\pm 0,81$ bl/sn ve D2 grubu için $1,09\pm 0,47$ bl/sn olarak belirlemiştir.

Sucul ekosisteme ulaşan kimyasallar su ile tepkimeye girerek kimyasal kirliliğe neden olmaktadır. Sucul ortamda meydana gelen kimyasal kirlilik sonucu balıkların yüzme performansında azalmalara, ani hareketlere ve solunum frekanslarını artırmaya neden olabilmektedir [15].

Sonuçlarımıza benzer olarak yapılan başka bir çalışmada bakırın sub-letal dozlarının uygulandığı gökkuşuğu alabalığı (*O. mykiss*) ve sazangillerde (*C. carpio*) yüzme performansının araştırıldığı çalışmada sazangillerin (*C. carpio*) bakır kimyasalına karşı alabalıklardan (*O. mykiss*) daha dirençli olduğu tespit edilmiştir [16].

Sucul ekosisteme karışan kimyasallar balıkların maksimum yüzme performansında azalmalara neden olmaktadır. Pestisitlere kısa süreli maruz bırakılan balıkların solungaçları zarar gördüğünden dolayı solunum alışverişini engellediği ve kritik yüzme hızını etkilediği, kronik maruziyet sonucunda sinirsel bozukluklar meydana geldiği rapor edilmiştir [17].

B. HEMATOLOJİ PARAMETRELERİ

Sucul ekosistemde yaşamını sürdüren canlıların toksik etkiye sahip materyallerle etkileşimi sonucunda organ ve dokularda kimyasal birikimine neden olmakta, etkileşiminin sürekli olduğu durumlarda ise moleküler düzeyde kalıcı hasarların oluşmasına ortam hazırlamaktadır [14].

Balıklarda toksik etkiye sahip kimyasallar gastrointestinal ve solungaç sistemi ile vücuda temas ettikten sonra kan aracılığı ile doku ve organlara taşındığından dolayı ilk önce kan hücreleri ve eritropoietik dokularda yapısal ve işlevsel hasarlara neden olduğu rapor edilmiştir [18].

Sazan balığında (*C. carpio*) kimyasalın farklı doz ve sinerjik etkisinin belirlenmesine yönelik yaptığımız çalışmada hemotokrit sayısı, hemoglobin %'si, lökosit sayısı, trombosit sayısı, eritrosit sayısı, ortalama eritrosit hacmi, eritrosit başına düşen ortalama hemoglobin miktarı ve eritrosit başına düşen ortalama hemoglobin konsantrasyonu gibi kan değerleri belirlenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde araştırılan değerlerde, kimyasal dozu ve zamana bağlı artış ve azalışlar gözlemlenmiştir.

Canlıların hayati fonksiyonlarını sürdürebilmek için ihtiyaç duydukları oksijen, bazı durumlarda yüksek toksik etkiye sahip serbest radikallere dönüşebilmektedir. Serbest radikaller, dış halkalarında en az bir eşleşmemiş elektron bulunan, kısa ömürlü reaktif atom, molekül veya iyonlar olarak tanımlanabilir. Serbest radikaller mutasyon, kanser, biyolojik yaşlanma ve hücrel hasarlara neden olabilirler [19]. Balıklarda serbest radikallerin oluşumunda çevre kirliliği, ağır metaller ve pestisitler büyük ölçüde rol oynamaktadırlar [20]. Ayrıca çevre kirliliği, ağır metaller ve pestisitler sucul organizmalarda biyokimyasal ve fizyolojik parametrelere girişimde bulunmakla birlikte balıklar üzerinde toksik etkiye neden olarak balık sağlığının ve fizyolojik durumlarının kontrolünde kullanılmakla beraber balık hastalıklarının teşhisinde önem arz etmektedir.

Hemoglobin; vücuda oksijeni taşımakla görevli bir solunum pigmentidir. Hemoglobinin bir diğer görevi de hücrelerdeki karbondioksiti alıp, solungaçlara geri götürmektir [21],[22]. 24-D Diklorofenoksi asetik

asit uygulaması sonucunda hemoglobin değerinde kontrol grubunda 7-14. günler arasında azalma belirlenmiş, 21. günde ise artış kaydedilmiştir. Çalışmada düşük dozun ve yüksek dozun kontrole göre farklı günlerdeki hemoglobin miktarına etkisi değerlendirildiğinde, her iki doz 7-14-21. günlerinde hemoglobini artırmıştır. Hemoglobin değerindeki azalmalar pestisitte yer alan zararlı etki sebebiyle hücrelerin yıkımı ile alakalıdır. Hemoglobin ve hematokrit değerindeki azalma anemi varlığını göstermektedir. Hemoglobin seviyesindeki artış bir çeşit adaptasyon olarak görülmektedir. Hemoglobin seviyesindeki artışa neden olan başka bir faktör ozmoregülasyon dengesinin bozulması, kan akışkanlığı ve hipoksinin azalmasıdır [23].

Hematokrit sayısı, kırmızı kan hücrelerinden oluşan kanın hacimce oranıdır. Ayrıca kanın oksijen taşıma kapasitesini yansıması bakımından oldukça önemli bir parametredir [24]. Hematokrit yüzdesi, hemoglobin miktarı ve eritrosit sayısının yanı sıra eritrosit indeksinin de bir parametresidir [10]. Çalışmamızda, hematokrit bakımından yapılan varyans analizi sonucunda en yüksek hematokrit miktarı düşük dozun 21. gününde %12,333 belirlenirken, en az yüksek dozun 7. gününde %5,656 olarak belirlenmiştir.

O. niloticus' ta hematokrit düzeyinde meydana gelen azalmaların kan dokusunda yer alan su hacminin artmasının bir sonucu olabileceği, kirletici etkisinde hematokrit düzeyindeki azalmanın ozmoregülasyondaki bozukluğa bağlı hemodilüsyondan, eritrositlerin ozmotik hemolizinden veya demir metabolizmasını etkileyerek hemoglobin sentezindeki bozukluktan kaynaklanabileceği bildirilmiştir [24],[25].

Balıklarda eritrositler, böbrek ve dalakta şekillenerek dokulardan solungaçlara CO₂ ve solungaçlardan dokulara oksijen taşımaktadırlar [26]. Kimyasal uygulaması sonrasında kontrol grubuna göre en yüksek eritrosit sayısı 21. gün en düşük değer ise 14. günde tespit edilmiştir. Muamele grupları değerlendirildiği zaman en yüksek değer düşük dozun 14. gününde belirlenirken en düşük değer ise yüksek dozun 7. gününde belirlenmiştir. Çalışmamıza benzer olarak gökkuşuğu alabalığında (*O. mykiss*) 2,4-D Diklorofenoksi asetik asit pestisitinin farklı doz ve zamanlarda uygulanan eritrosit düzeyine etkisi çalışılmıştır. Yapılan çalışma sonunda zaman düzeyinin eritrosit sıralaması: Kontrol grubunda 48.saat >24.saat >96.saat >0.saat, D1 grubunda 96.saat >24.saat >48.saat >0.saat ve D2 grubunda 48.saat >24.saat >96.saat >0.saat olarak bildirilmiştir [27].

Akut stres ortamında bulunan balıklarda, fizyolojik sistemin gereği olarak dalak sürekli kasılarak eritrosit üretiminin artışı teşvik edeceğinden eritrosit sayısında artış meydana gelebilir. Daha sonraki periyotlarda yeterli sayıda eritrosit oluşumunun gerçekleşmemesi bu sistemin zarar gördüğü anlamına gelmektedir [28].

Lökosit değerine bakıldığında, zaman seviyelerinin önem sırası kontrol grubunda 7 >21 > 14, D ve Y grubunda ise 21 >14 >7 olarak bulunmuştur (Tablo 2). Doz seviyesi D >K >Y olarak belirlenmektedir. Trichlorfon kimyasalının sub-letal dozlarına maruz bırakılan sazan balıklarında (*C. carpio*) bazı hematolojik değerler araştırılmıştır. Trichlorfonun sazan balıklarında (*C. carpio*) hematokrit sayısı (HCT), hemoglobin miktarı (HGB) ve lökosit sayılarında (WBC) kontrol grubuna nazaran düşüşler meydana geldiğini rapor etmiştir [26].

Balıkların lökosit miktarında gözlemlenen farklılıkların nedeni bağışıklık sisteminin baskı altına alınması ve hastalıklara karşı duyarlılıklarının artmasıdır. Lökosit sayısındaki artış, kirleticilere maruz kalan balığın hayatta kalabilmesine ve fizyolojik durumun bütünlüğünü koruyabilmesine yardımcı olan antikorların artışıyla paralellik göstermektedir [29].

Trombosit, kanama sırasında kanın pıhtılaşmasını sağlayan hücre parçalarıdır. Trombosit oranının düşük olması kanamaya yatkınlaştırırken, yüksek seviyelerdeki trombosit oranı da damarlarda ki kanın pıhtılaşmasını hızlandırmaktadır. Çalışmamızda 7. gün yüksek doz grubunda azalma gözlemlenmiştir. Kan hücrelerindeki oksijen miktarının azalması ve dalakta meydana gelen olumsuz faktörler trombosit eksikliğinden kaynaklanabilir. Çalışmamıza benzer olarak trombosit değerinin (PLT) stresten önemli

derecede etkilendiği ve gökkuşuğu alabalıklarında (*O. mykiss*) stresten önce $2,1 \times 10^4/\text{mm}^3$ olarak tespit edilen bu değerin stresten sonra $4,3 \times 10^4/\text{mm}^3$ 'e arttığını açıklamıştır [30].

MCV ortalama eritrosit hacmidir. Yaptığımız çalışma sonucunda, MCV olarak doz uygulamaları arasında en yüksek parametre 7. gün kontrol grubundan elde edilmiştir. Hematoloji parametrelerinde, çevresel değişikliklere bağlı olarak farklılıklar oluşabilir, balığın kanında bulunan eritrosit hacmindeki değişiklikler balıkların doku ve organlarında hasarlara yol açtığı bilinen bir gerçektir.

Gökkuşuğu alabalığında (*O. mykiss*) iki farklı kimyasalın karşılaştırılmasına yönelik yapılan çalışmada bazı kan parametre değerleri belirlenmiştir. Çalışma sonucunda trombosit sayısı (PLT) ve ortalama eritrosit hacmi (MCV) değerleri istatistik açıdan önemli olduğunu belirtmiştir [10].

MCH, eritrosit başına düşen ortalama hemoglobinin miktarıdır. Çalışmamızda, MCH bakımından zaman ve doz faktörlerinin değerleri önemli bulunmuştur. MCH düzeyi kontrol grubunda 69,400-70,733 pg arasında bulunmaktadır. Düşük doz grubunda 21. gün hariç diğer günlerde azalırken yüksek doz grubunda 14. günde azalırken 7 ve 21. günlerde artışlar tespit edilmiştir.

Atamanalp vd. [31], lambda-cyhalothrin'in dere alabalığı (*Salmo trutta fario*) yaptıkları çalışmada; eritrosit sayısı (RBC), hematokrit sayısı (HCT), ortalama eritrosit hacmi (MCV) ve eritrosit başına düşen ortalama hemoglobinin miktarı (MCH) gibi parametrelerde kimyasala maruz kalan gruplarda azalış olduğunu, lökosit sayısı (WBC), trombosit sayısı (PLT) ve eritrosit başına düşen ortalama hemoglobinin konsantrasyonu (MCHC) parametrelerinde ise artış olduğunu rapor etmişlerdir.

Kimyasallar sucul ekosistemde yaşayan canlıların biyokimyasal ve fizyolojik parametrelerini etkilemekte ayrıca balık sağlığını tehdit etmektedir [20]. MCHC, eritrosit başına düşen ortalama hemoglobinin konsantrasyonudur. Herbisit uygulamaları sonucunda, en yüksek değer yüksek doz grubunda 21. gün $134,710 \text{ g/dL}$ olarak belirlenirken en düşük değer kontrol grubunda 7. gün $116,233 \text{ g/dL}$ olarak belirlenmiştir.

Atamanalp ve Yanık [32], mancozebin kimyasalının sub-letal dozuna maruz bırakılan gökkuşuğu alabalığı (*O. mykiss*) üzerinde bazı kan parametre değerleri incelenmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde kullanılan kimyasalın eritrosit başına düşen ortalama hemoglobinin miktarı (MCH), eritrosit başına düşen ortalama hemoglobinin konsantrasyonu (MCHC) ve ortalama eritrosit hacminde (MCV) azalışların meydana geldiğini rapor etmişlerdir.

Çelik vd [33], farklı türdeki balıklar ile kan parametre değerleri üzerine yapılan araştırmada; kimyasalların, stresin, su kalitesi kriterlerinin ve çevresel faktörlerin balıklardaki fizyolojik fonksiyonları etkilendiğini, elde edilen sonuçlara göre kan parametrelerinin minimum ve maksimum değerleri; eritrosit sayısı (RBC), $0,128-4,005 \times 10^6/\text{mm}^3$, lökosit sayısı (WBC), $1,435571-107,000 \times 10^3/\text{mm}^3$, hemoglobinin değeri (HGB), $1,300-16,000 \text{ g}100\text{ml}^{-1}$, hematokrit oranı (HCT), %4,800-58,800 ortalama eritrosit hacmi (MCV), $31,600-894,940 \mu\text{m}^3$, eritrosit başına düşen ortalama hemoglobinin miktarı (MCH), $17,300-406,250 \mu\text{g}/\text{hücre}$ ve eritrosit başına düşen ortalama hemoglobinin konsantrasyonu (MCHC), $8,700-65,000 \text{ g}100\text{ml}^{-1}$ olduğunu bildirmişlerdir. Yaptığımız çalışmada bulduğumuz parametrelerin, literatürdeki bilinen değerlerden farklılık göstermesi, araştırmada kullanılan balıkların türleri, yaşları, cinsiyetleri ve ortam koşullarının farklı olmasından kaynaklanabilir.

V. KAYNAKLAR

[1] Z. Hansoy, "Bir herbisit olan 2,4-D (Diklorofenoksi asetik asit)'nin *Poecilia reticulata* (Teleostei, poeciliidae)'da testis dokusu üzerine etkisinin araştırılması," Yüksek Lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ege Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 2010.

- [2] EPA. (2021, May 5). *Health Effects Div. Toxicology Disciplinary Chapter for the Reregistration Eligibility Decision Document* [Online]. Available: <http://docket.epa.gov/edkpub/do/EDKStaffItemDetailView?objectId=090007d4802c9067>.
- [3] EPA. (2021, May 5). Reregistration Eligibility Decision for 2,4 [Online]. Available: https://ethw.org/Category:Environment?gclid=CjwKCAjwjZmTBhB4EiwAynRmD-6LQBefdFPMbJgUMcMgfTmu4d2xI_WDm4JP5Plgymo2mZbMpFun2BoCpKsQAvD_BwE
- [4] C. Wolter and R. Arlinghaus, "Navigation impacts on freshwater fish assemblages: the ecological relevance of swimming performance," *Rev. Fish Biol. Fish*, vol. 13, pp. 63–89, March, 2003.
- [5] C. Hammer, "Fatigue and exercise tests with fish," *Comp. Biochem. Physiol*, vol. 112, pp. 1–20, 1995.
- [6] A. Ucar, M. Atamanalp, E.M. Kocaman, G. Alak, A. Topal, O. Fakioglu, V. Parlak, and T. Yanik, "Effects of dietary bentonite on improvements in hematology and enzyme in copper exposed rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)," *J. Appl. Phys.* vol. 5, no. 2, pp. 67-72, June, 2019.
- [7] M. Sharma, "Behavioural responses in effect to chemical stress in fish: A Review," *Int. J. Fish. Aquat. Stud*, vol. 7, no. 1, pp. 01-05, Jan, 2019.
- [8] M. Banaee, "Physiological dysfunction in fish after insecticides exposure, insecticides exposure," Insecticides, London, UK: IntechOpen, 2013.
- [9] M. Bahmani, K. Rezvan and P. Donskaya. "A comparative study of some hematological features in young reared sturgeons (*Acipenser persicus and Huso huso*)," *Fish Physiol. Biochem*, vol. 24, no. 2, pp. 135-140, Feb, 2001.
- [10] H. Arslan, "Pestisit sinerjisinin; gökkuşağı alabalıklarında (*oncorhynchus mykiss*) yüzme performansı, biyokimyasal hematolojik, histopatolojik ve genotoksik etkilerinin araştırılması," Doktora tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, Türkiye, 2015.
- [12] J. R. Brett, and N. R. Glosal, "Metabolic rates and critical swimming speeds of sockeye salmon, *oncorhynchus nerka*, in relation to size and temperature," *J Fish Res Board Can*, vol. 30, pp. 379- 387, March, 1973.
- [13] R. H. Peterson, "Influence of fenitrothion on swimming velocities of brook trout (*Salvelinus fontinalis*)," *J. Fish Res Board Can*, vol. 31, pp. 1757–1762, Nov, 1974.
- [14] Y. Yeğin, "Farklı dozlarda uygulanan bakır sülfat pentahidrat'ın gökkuşağı alabalığı (*oncorhynchus mykiss*)'nin kritik yüzme hızı ve hematoloji parametreleri üzerine etkilerinin araştırılması," Yüksek Lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, Türkiye, 2013.
- [15] H. Esenbuğa, "SDS (Sodium dodecyl sulphate)'nin farklı dozlarının gökkuşağı alabalığının (*o. mykiss*) yüzme performansı, hematoloji parametreleri ve bazı antioksidan enzim aktiviteleri üzerine etkileri," Yüksek Lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, Türkiye, 2013.
- [16] M. Ural, H. Yüksel, M. Sarıeyyüpoğlu ve A. Ulucan, "Düşük pH'lı suların aynalı sazanlar (*Cyprinus carpio* L. 1758) üzerindeki klinik ve patolojik etkileri," *Kocatepe Vet. J*, vol. 2, no. 1, pp. 19-22, March, 2009.
- [17] G. D. Boeck, K. Van der Ven, J. Hattink, R. "Blust, swimming performance and energy metabolism of rainbow trout, common carp and gibel carp respond differently to sublethal copper exposure," *Aquat. Toxicol*, vol. 80, no.1, pp. 92–100, Oct, 2006.

- [18] A.G. Heath, *Water Pollution and Fish Physiology*, 2nd ed., Florida, USA: CRC Press Inc., 1995.
- [19] M. Witeska, and I. Baka, "The effect of long term cadmium exposure on common carp blood," *Fresenius Environm. Bulletin*, vol. 11, no. 12A, pp. 1059-1065, 2002.
- [20] E. Büyükgüzel, "Biochemical and molecular mechanisms of protein," *Karaelmas Sci. Eng. J.*, vol. 3, no. 1, pp. 40-51, 2013.
- [21] Ş. Gökpınar, T. Koray, E. Akçiçek, T. Göksan, Y. Durmaz, "Algal Antioxidants," *Ege J Fish Aqua Sci*, vol. 23(Suppl 1/1), pp. 85-89, Sep, 2006.
- [22] B. Berkarda ve H. Eyüpoğlu, *Hematoloji Laboratuvar Yöntemleri*, Türkiye: Ar Yayım ve Dağıtım. 1983.
- [23] M. Atamanalp, "Farklı yetiştirme sistemlerinin (Havuz ve Kafes) gökkuşığı alabalığı (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum, 1792) hemoglobini, hematokrit ve sediment seviyeleri üzerine etkileri," *E.Ü. Su Ürünleri Dergisi*, c. 20, s. 1-2, ss. 81-86, Dec, 2003.
- [24] C.S. Jawale, L.B. Dama, "hematological changes in the fresh water fish, *Cyprinus carpio* exposed to sub-lethal concentration of piscicidal compounds from cestrum species," *National Journal of Life Sci*, vol. 7, no. 1, pp. 81-84, Jan, 2010.
- [25] M. Witeska, "Stress in fish hematological and immunological effects of heavy metals," *Electronic Journal of Ichthyology*, vol. 1, pp. 35-41, Jan, 2005.
- [26] S. Duran, "Bakır (Cu), Çinko (Zn), Kadmiyum (Cd) ve karışımlarının *Oreochromis niloticus*'ta bazı hemotolojik parametreler üzerine etkileri," Yüksek Lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye, 2011.
- [27] A. Pala, "Trichlorfon uygulanan pullu sazan (*Cyprinus carpio*)'da asetilkolinesteraz (AChE) enzim aktivitesi ve bazı kan parametrelerinin araştırılması," Yüksek Lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye, 2013.
- [28] N. F. Karadaş, "2,4-D Diklorofenoksi asetik asit herbisitine maruz bırakılan gökkuşığı alabalıklarında (*Oncorhynchus mykiss*) bazı hematolojik ve biyokimyasal değişimlerin belirlenmesi," Yüksek Lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, Türkiye, 2016.
- [29] V. Parlak, "Gökkuşığı Alabalıklarında (*Oncorhynchus mykiss*) akut ve kronik alfa sipermetrin uygulamalarının hematotoksik, hepatotoksik ve nefrotoksik etkilerinin araştırılması," Doktora tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, Türkiye, 2016.
- [30] S.O. Ayoola, "Acute toxicity and histopathology of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fingerlings exposed to aqueous and ethanolic extracts of *Euphorbia poissonii* leaves," *New Clues Sci.*, vol. 1, pp. 55-68, Jan, 2011.
- [31] M. Atamanalp, "Bir sentetik piretroit insektisitinin (Cypermethrin) subletal dozlarının gökkuşığı alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*)'na histopatolojik, hematolojik ve biyokimyasal etkileri," Doktora tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, Türkiye, 2000.
- [32] M. Atamanalp, E. Aksakal, E. M. Kocaman, A. Uçar, T. Şişman ve H. Türkez, "Kobalt klorite maruz kalan gökkuşığı (*O. mykiss*)'nın kan parametrelerindeki değişimler," *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, c. 17, ss. 573-576, Mart, 2011.

[33] M. Atamanalp and T. Yanık, "Alterations in hematological parameters of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) exposed to mancozeb," *Turk J. Vet. Anim. Sci*, vol. 27, pp. 1213-1217, Jan, 2003.

[34] E.Ş. Çelik, M. Akbulut, S. Sağır Odabaşı, D. Anıl Odabaşı, "Farklı tür balıklarda hematolojik indekslerin referans değerleri," *Anadolu University Journal of Science and Technology*, c. 7, s. 2, ss. 277-293, 2006.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Ahşap Levha Endüstrisinde Çalışanların Kişilik Özelliklerinin Örgütsel Vatandaşlık Boyutları ve Tükenmişlik Düzeyleri Üzerine Etkisi

Nadir ERSEN ^{a,*}, İlker AKYÜZ ^b, Mustafa KARAMANLI ^a, Bahadır Çağrı BAYRAM ^c

^a Ormanlık Bölümü, Artvin Meslek Yüksekokulu, Artvin Çoruh Üniversitesi, Artvin, TÜRKİYE

^b Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Orman Fakültesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, TÜRKİYE

^c Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Orman Fakültesi, Kastamonu Üniversitesi, Kastamonu, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: nadirersen20@artvin.edu.tr

DOI:10.29130/dubited.963124

ÖZ

Çalışmada odun esaslı levha sanayinde çalışanların kişilik özellikleri, örgütsel vatandaşlık davranış gösterme sıklıkları ve tükenmişlik düzeyleri belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca, kişilik boyutları ile örgütsel vatandaşlık davranış ve tükenmişlik boyutları arasında bir ilişki olup olmadığı ve kişilik boyutlarının örgütsel vatandaşlık ve tükenmişlik boyutlarına etkisi araştırılmıştır. 140 anket değerlendirmeye alınmıştır. Yüz yüze anket yöntemi kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, kişilik ve örgütsel vatandaşlık davranış boyutlarının puan ortalaması orta-yüksek ve tükenmiş düzeyi orta düzeyde çıkmıştır. Beş faktör kişilik ile örgütsel vatandaşlık davranış ve tükenmişlik arasında sırasıyla “orta düzeyde ve pozitif” ve “orta düzeyde ve negatif” yönlü bir ilişki bulunmuştur. Kişilik örgütsel vatandaşlık davranışı üzerinde olumlu yönde etkiye sahipken, tükenmişlik düzeyini ise olumsuz yönde etkilemektedir.

Anahtar Kelimeler: Orman ürünleri endüstrisi, Beş faktör kişilik, Örgütsel vatandaşlık davranışı, Tükenmişlik

The Effect of Personality Traits of Employees in the Wood Panel Industry on Organizational Citizenship Dimensions and Burnout Levels

ABSTRACT

In the study, it was tried to determine the personality traits, frequency of organizational citizenship behavior and burnout levels of the employees in the wood-based board industry. In addition, it was investigated that whether there is a relationship between personality dimensions and organizational citizenship behavior and burnout dimensions, and the effect of personality dimensions on organizational citizenship and burnout dimensions. 140 surveys were evaluated. Face-to-face survey method was used. As a result of the study, the average score of the personality and organizational citizenship behavior dimensions was medium-high and the average score of the burnout level was moderate. A "moderate and positive" and "moderate and negative" relationship was found between the five-factor personality and organizational citizenship behavior and burnout, respectively. While personality has a positive effect on organizational citizenship behavior, personality has a negative effect on the level of burnout.

Keywords: Forest products industry, Five factor personality, Organizational citizenship behavior, Burnout

*Bu çalışma Mustafa KARAMANLI'nın Artvin Çoruh Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı'ndaki “Kişilik Özellikler ile Örgütsel Davranış Boyutları ve Tükenmişlik Düzeyi Arasındaki İlişki: Orman Ürünleri İşletmesi Örneği” isimli yüksek lisans tezinden türetilmiştir.

Geliş: 06/07/2021, Düzeltme: 24/09/2021, Kabul: 29/09/2021

I. GİRİŞ

Sürekli değişen rekabet ortamında işletmelerin hayatta kalabilmeleri için her ne kadar gelişen ve değişen teknolojiye ayak uydurması gerekse de, işletmelerin rekabet ortamında devamlılığını sağlayabilmeleri için nitelikli kişileri ya işletmeye çekmeli ya da bu kişileri işletmelerinde kalmalarını sağlamaları gerekmektedir. Bu niteliklerden birisi olarak kişilik özellikleri görülmektedir. Kişilik özellikleri kişilerin davranışları üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Kişilerin çalışma hayatında karşılaştıkları olayları farklı biçimde yorumlamaları, sorunlara karşı farklı çözüm teknikleri bulmaları ve sorunlara farklı tepkiler vermeleri kişilerin sahip olduğu kişilik özellikleri ile alakalıdır. Sonuç olarak, kişilik özellikleri, kişilerin pozitif veya negatif örgütsel davranışlar sergilemelerine neden olan güç olarak gösterilmektedir [1]. Çalışanın nasıl bir kişiliğe sahip olduğu kolayca anlaşılan bir durum değildir. Kişilik genetik olan ve insandan insana geçen ve fiziksel özellikler gibi dışarıdan bakıldığından anlaşılmayan bir özelliktir. Kişilik kişiden kişiye göre farklılık göstermekte ve çevresel faktörlerden kolayca etkilenebilmektedir. Bireylerin nasıl bir kişiliğe sahip olduğu bilinmesi kişilerin birbiri ile olan haberleşmenin gelişmesine ve işletme yönetimin etkin hale gelmesine katkıda bulunabilir [2].

Örgütsel vatandaşlık davranışlarına sahip olan işletmelerde ise sosyal mekanizmanın işleyişi daha kolaylaşmakta ve çalışanlar arasındaki çatışmalar azalmaktadır. Bununla birlikte, vatandaşlık davranışı işletmedeki bölümlerarası ve kişilerarası eşgüdümlemenin sağlanmasına yardımcı olacak ve işletmedeki nitelikli kişileri elinde tutmasını sağlayacaktır. Vatandaşlık davranışı sayesinde örgüt içindeki çalışanların performansları artacak ve işletmenin değişime karşı uyum sağlanmasına yardımcı olacaktır [3,4].

Ayrıca, değişen Dünya'daki yoğun rekabetten dolayı işletme yöneticileri çalışanlarından daha fazla şeyler istemektedir. Bu artan isteklerden dolayı çalışanlarda strese girebilmekte ve girdikleri bu stresten dolayı çalışanlarından performansında düşüşler olabilmekte ve arkadaşlarına ve çevrelerine karşı olumsuz tavırlar gösterebilmektedirler. Sonuç olarak, bu kişiler tükenmişlik sendromu içine girmiş olabilir. Tükenmişlik sendromu içine giren kişiler arkadaşlarına ve çevrelerine karşı olumsuz davranışlar sergileyebilmekte, yaptıkları işlerde sürekli hata ve kazalar yapmakta, işletmeye ve işe karşı ilgisi azalmaktadır [5,6].

Yapılan bu çalışmada ise çalışanların kişilik özellikleri, örgütsel vatandaşlık davranış gösterme sıklıkları ve tükenmişlik düzeyleri belirlenmeye çalışılmıştır. Kişilik özelliklerinin örgütsel vatandaşlık davranışı ve tükenmişlik üzerine etkisi olup olmadığı araştırılmıştır.

II. GENEL BİLGİLER

A. KİŞİLİK KAVRAMI

Kökene Latince'deki "persona" kelimesinden gelen kişilik ile ilgili fikir birliğine varılmış herhangi bir tanım bulunmamaktadır [7]. Kişilik ile ilgili farklı yaklaşımlar bulunmaktadır. Biyolojik, psikanalitik, insancıl kişilik kuramı, sosyal öğrenme ve özellikli yaklaşımları kişilik yaklaşımlarının en önemlileridir [8,10].

Çalışmada özellikli yaklaşım içerisinde bulunan beş faktörlü kişilik modeli kullanılmıştır. Kullanılan bu model en yaygın kullanılan kişilik modelidir. Model nevroitiklik, dışadönüklük, vicdanlılık, uyumluluk ve deneyime açıklık olmak üzere beş boyuttan oluşmaktadır [11].

Nevrotiklik, bir kişinin duygusal istikrarını ifade etmektedir. Nevrotikliği yüksek olan kişiler genellikle kendilerini endişeli, kızgın ve üzgün hissederler ve o kişiler stresle zayıf bir şekilde baş ederler. Nevrotikliği düşük olan kişiler ise kararlı, sinirsiz ve stresi iyi bir şekilde yönetir [11].

Dışadönüklük, sosyal, girişken, dışa dönük, sıcak yürekli ve konuşkan olma eğilimini ifade etmektedir. Dışa dönüklüğü yüksek olan kişiler, enerjilerini işyerindeki diğer insanlar da dahil olmak üzere dış uyaranlara yönlendirme eğilimindedir. Dışadönüklüğü düşük olanlar ise daha içe odaklanmış ve çekingendir [12].

Vicdanlılık, "harekete geçmeden önce düşünme, hazzı erteleme, normlara ve kurallara uyma ve görevleri planlama, organize etme ve önceliklendirme gibi göreve ve hedefe yönelik davranışları kolaylaştıran sosyal olarak öngörülen dürtü kontrolü anlamına gelmektedir [13]. Vicdanlılık düzeyi yüksek olanlar, başarılı, azimli, planlı ve hareket etmeden önce düşünür. Vicdanlılık düzeyi düşük olanlar ise düzensiz, disiplinsiz, tembelliğe meyilli, görevine bağlı değildir [14].

Uyumluluk da sosyal davranışın önemli bir yönüdür. Uyumluluğu yüksek olan kişiler başkalarına yardım etmeye ve affetmeye ve başkalarına saygılı davranmaya daha isteklidir. Uyumluluğu düşük kişiler ise başkalarını küçümseme, tartışma çıkarma ve kin tutma eğilimindedir [15].

Deneyime açıklık, bir kişinin yeni durumları keşfetmeye ne kadar istekli olduğu anlamına gelmektedir. Deneyime açık kişiler genellikle çeşitliliği, yeni deneyimleri tercih etmektedirler ve entelektüel olarak da meraklı kişilerdir. Açıklığı düşük olan kişiler ise tipik olarak muhafazakârdır, tekdüzeliği tercih ederler ve entelektüel olarak ilgisiz kişilerdir [11].

B. ÖRGÜTSEL VATANDAŞLIK DAVRANIŞI KAVRAMI

Örgütsel vatandaşlık davranış boyutları ilk olarak 1983 yılında Bateman ve Organ tarafından tanımlanmıştır [16] ve farklı akademisyenlerin örgütsel vatandaşlık davranış boyutları hakkında farklı görüşleri bulunmaktadır [17], [18]. Organ'ın geliştirdiği beş boyut genel olarak kabul görmektedir. Diğer araştırmacılar tarafından geliştirilen boyutlar ise doğası gereği örtüşmektedir ve bazı durumlarda boyutlar örgütsel vatandaşlık davranışının tüm çerçevesini tanımlamak için yetersizdir [19]. Bu yüzden bu çalışmada özgecilik, insafılık, sportmenlik, nezaket ve sivil erdemden oluşan beş boyut kullanılmıştır.

Smith ve arkadaşları [20], özgeciliği, bir kişinin problemi olan başka bir kişiye, görevini olağanüstü şartlar altında bitirmesi amacıyla yardım sağladığı gönüllü davranışlar olarak tanımlamaktadır.

İnsafılık, bir çalışanın kurallara ve düzenlemelere uyma, ofiste düzenli olma, ofis malına herhangi bir zarar vermeme bilincinde olma gibi çeşitli alanlarda asgari tahsis edilen görev ve sorumlulukların çok ötesine geçen gönüllü eylem veya davranışını ifade etmektedir [21].

Organ [17] sportmenliği, örgütteki rahatsızlıklara ılımlı bir şekilde katlanma davranışı olarak tanımlamıştır.

Nezaket, kişilere telkin eden ve kişilerarası çatışmaları ve örgütteki sorunları önlemeye yardımcı olan bir özelliktir [21].

Sivil erdem, örgütün siyasal yaşamına ikincil katılım ve örgütün idari işlevini desteklemek olarak tanımlanmaktadır [22,23].

C. TÜKENMİŞLİK KAVRAMI

Tükenmişlik kavramı ilk olarak Selye'nin 1936 yılında yayınladığı Genel Adaptasyon Sendromunda ortaya atılmış olup, bu kavram ilk kez 1970'li yılın ortasına doğru psikanalist Herbert Freudenberger tarafından ifade edilmiştir. Freudenberger'in tanımına göre tükenmişlik "başarısızlık, yıpranma, enerji ve güç kaybı ile insanın iç kaynakları üzerinde, karşılanamayan istekler sonucunda ortaya çıkan bir tükenme durumu" dur [24,25].

Maslach ve Jackson tarafından yapılmış olan tanıma göre ise tükenmişlik "hizmet sektöründe görülen duygusal tükenme, duyarsızlaşma ve kişisel başarısızlık hissi ile karakterize bir sendromdur." Maslach ve Jackson tarafından yapılan bu tanım şuan en çok kabul gören tanım olarak görülmektedir [25,26]. Tükenmişliğin en yaygın kabul gören tanımı, Maslach ve Jackson tarafından kullanılan üç bileşenli kavramsallaştırmadır: (1) duygusal tükenme, (2) duyarsızlaşma ve (3) azalan kişisel başarı [27].

Duygusal tükenme üzerinde en çok çalışma yapılmış ve en kapsamlı analiz edilenidir. Duygusal tükenme, basitçe deneyimlenen bir şey olmayıp, kişinin işinden duygusal ve bilişsel olarak uzaklaşmasına yol açmaktadır [28].

Duyarsızlaşma, insanları benzersiz kılan nitelikleri aktif olarak görmezden gelerek kendisi ile hizmet alıcıları arasında mesafe koyma girişimidir [28]. Bu aşamada, bireyler iş arkadaşlarına, müşterilere ve kuruma karşı alaycı, duygusuz, umursamaz ve olumsuz bir tutum sergileyebilir [27]. Ayrıca, işine ve örgütüne karşı katı, kuralcı davranış ve tutum içerisindedir ve kendi harici diğer kişileri bir nesne (makine) gibi görüp o kişilerden maksimum seviyede faydalanmak isterler [29].

Azalan kişisel başarı, kişinin kendisini olumsuz değerlendirme eğilimi ile karakterizedir [27]. Bazı durumlarda, bir dereceye kadar ya duygusal tükenme veya duyarsızlaşma ya da ikisinin bir kombinasyonu gibi görünmektedir [30,31].

III. MATERYAL VE YÖNTEM

Araştırma evrenini, orman ürünleri sanayi sektöründe faaliyet gösteren ve ulusal ve uluslararası alanda küresel bir güç olan şirketin odun esaslı levha üretimi yapan tesisindeki çalışanlar oluşturmaktadır. Bu kapsamda ahşap levha üretimi yapan tesiste 450 kişi çalışmaktadır. Araştırmada, 450 kişiden 200'den fazla kişiye ulaşmak hedeflenmiştir. Ancak, Türkiye ve Dünya'yı etkisi altına Covid-19 hastalığından dolayı çalışma kapsamında 153 çalışana ulaşılmıştır. Mantıksal hatalardan ve eksik ifadelerden dolayı 140 anket değerlendirmeye alınmıştır. Genellikle ulaşılan çalışanlara anket formu yüz yüze şeklinde uygulanmıştır. Yüz yüze olarak ulaşılamayan çalışanlara ise e-mail yolu ile ulaşılmaya çalışılmıştır.

Çalışma kapsamından hazırlanan anket formu dört bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm çalışmaya katılan çalışanların demografik özelliklerini belirlemek amacı ile sorulan sorulardan oluşmaktadır. İkinci bölüm katılımcıların kişilik özelliklerini belirleyen ifadeler yer almaktadır ve bunun için Beş Faktör Kişilik ölçeği kullanılmıştır. Diğer bölümlerde ise sırasıyla katılımcıların örgütsel vatandaşlık davranışlarını ve tükenmişlik düzeylerini ölçmek için kullanılan ifadeler yer almaktadır. Örgütsel vatandaşlık davranışları için örgütsel vatandaşlık davranış ölçeği ve tükenmişlik düzeyi için ise tükenmişlik ölçeği kullanılmıştır. Kişilik özellikleri, örgütsel vatandaşlık davranışı ve tükenmiş düzeyi ile ilgili hazırlanan ifadeler Beşli Likert ölçeğine göre hazırlanmıştır.

Beş Faktör Kişilik Ölçeği: Beş faktör kişilik ölçeği olarak Benet-Martinez ve John [32] tarafından geliştirilen ve Schmitt ve arkadaşları [33] tarafından farklı ülkelerdeki kişilerin kendilerini tanıması amacıyla yapılan çalışmada kullanılan ölçek kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan bu ölçek 44 sorudan ve beş boyuttan (dışadönüklük, uyumluluk, sorumluluk, nevrokliklik (duygusal denge/dengesizlik) ve deneyime açıklık oluşmaktadır. Dışadönüklük boyutunda 8 ifade, uyumluluk boyutunda 9 ifade, sorumluluk boyutunda 9 ifade, duygusal denge boyutunda 8 ifade ve deneyime

açıklık boyutunda 10 ifade yer almaktadır. Kişilik ölçeğinin Cronbach Alpha değeri 0.879 çıkmıştır. Dışadönüklük, uyumluluk, sorumluluk, nevroitiklik ve deneyime açıklık boyutlarının Cronbach Alpha değerleri ise sırasıyla 0.715, 0.655, 0.614, 0.628 ve 0.788 olarak bulunmuştur. Cronbach Alpha katsayısının 0.60'dan büyük olması ölçeğin güvenilir olduğunu göstermektedir [33]. Kişiliği belirlemek amacı ile beş faktör kişilik modeli çerçevesinde uyarlanan veya geliştirilen ülkemizde birçok kişilik ölçeği bulunmaktadır [34-40].

Örgütsel Vatandaşlık Davranışı Ölçeği: Bolat ve Bolat'ın [41] otel işletmelerine yönelik yaptığı çalışmada kullandığı örgütsel vatandaşlık davranışı ölçeğinden yararlanılmıştır. Ölçek, özgecilik, vicdanlılık, centilmenlik, nezaket ve sivil erdem olmak üzere beş boyuttan oluşmaktadır. Her bir boyut 4 ifadeden oluşmakta olup, toplam olarak örgütsel vatandaşlık davranış ölçeği 20 ifade içermektedir. Örgütsel vatandaşlık davranışının alt boyutlarının güvenilirlik değerleri şu şekildedir: özgecilik boyutu 0.934, vicdanlılık boyutu 0.882, centilmenlik boyutu 0.538, nezaket boyutu 0.831 ve sivil erdem boyutu 0.804'tür. Tüm ölçeğin güvenilirlik değeri ise 0.930 olarak hesaplanmıştır.

Tükenmişlik Ölçeği: Tükenmişlik ölçeği olarak ülkemizde ve dünyada tükenmişlik ölçümünden en fazla kullanılan ve Maslach ve Jackson [26] tarafından geliştirilen "Maslach'ın Tükenmişlik Envanteri" kullanılmıştır. Maslach'ın Tükenmişlik Envanteri 22 maddeden ve üç alt boyuttan (duygusal tükenme, duyarsızlaşma ve kişisel başarısızlık) oluşmaktadır. Duygusal tükenme boyutu 9 ifadeden, duyarsızlaşma boyutu 5 ifadeden ve kişisel başarı boyutu 8 ifadeden oluşmaktadır. Maslach ve Jackson [20] tarafından geliştirilen tükenmişlik ölçeği yedili Likert ölçeğine göre hazırlanmıştır. Duygusal tükenme ve duyarsızlaşma alt boyutlarında yüksek değerler yüksek tükenmişliğe sahip olduğunu ifade ederken, kişisel başarı alt boyutunda düşük değerler ise yüksek tükenmişliğe sahip olduğunu ifade etmektedir [42]. Tükenmişlik ölçeğinin genel güvenilirlik katsayısı 0.906 olarak hesaplanmıştır. Alt boyut açısından duygusal tükenme boyutunun Alpha değeri 0.925, duyarsızlaşma boyutu 0.873 ve kişisel başarı boyutu 0.902 çıkmıştır. Maslach'ın Tükenmişlik Envanteri'nin ülkemizde çeşitli araştırmacılar tarafından geçerliği ve güvenilirliği yapılmıştır [43-46].

Araştırma kapsamında test edilecek hipotezler ise şu şekildedir:

- H₁: Dışa dönüklük özgecilik üzerinde etkilidir.
- H₂: Dışa dönüklük vicdanlılık üzerinde etkilidir.
- H₃: Dışa dönüklük centilmenlik üzerinde etkilidir.
- H₄: Dışa dönüklük nezaket üzerinde etkilidir.
- H₅: Dışa dönüklük sivil erdem üzerinde etkilidir.
- H₆: Uyumluluk özgecilik üzerinde etkilidir.
- H₇: Uyumluluk vicdanlılık üzerinde etkilidir.
- H₈: Uyumluluk centilmenlik üzerinde etkilidir.
- H₉: Uyumluluk nezaket üzerinde etkilidir.
- H₁₀: Uyumluluk sivil erdem üzerinde etkilidir.
- H₁₁: Sorumluluk özgecilik üzerinde etkilidir.
- H₁₂: Sorumluluk vicdanlılık üzerinde etkilidir.
- H₁₃: Sorumluluk centilmenlik üzerinde etkilidir.
- H₁₄: Sorumluluk nezaket üzerinde etkilidir.
- H₁₅: Sorumluluk sivil erdem üzerinde etkilidir.
- H₁₆: Nevrotiklik özgecilik üzerinde etkilidir.
- H₁₇: Nevrotiklik vicdanlılık üzerinde etkilidir.
- H₁₈: Nevrotiklik centilmenlik üzerinde etkilidir.
- H₁₉: Nevrotiklik nezaket üzerinde etkilidir.
- H₂₀: Nevrotiklik sivil erdem üzerinde etkilidir.
- H₂₁: Deneyime açıklık özgecilik üzerinde etkilidir.
- H₂₂: Deneyime açıklık vicdanlılık üzerinde etkilidir.
- H₂₃: Deneyime açıklık centilmenlik üzerinde etkilidir.
- H₂₄: Deneyime açıklık nezaket üzerinde etkilidir.
- H₂₅: Deneyime açıklık sivil erdem üzerinde etkilidir.

- H₂₆: Dışa dönüklük duygusal tükenme üzerinde etkilidir.
H₂₇: Dışa dönüklük duyarsızlaşma üzerinde etkilidir.
H₂₈: Dışa dönüklük kişisel başarı üzerinde etkilidir.
H₂₉: Uyumluluk duygusal tükenme üzerinde etkilidir.
H₃₀: Uyumluluk duyarsızlaşma üzerinde etkilidir.
H₃₁: Uyumluluk kişisel başarı üzerinde etkilidir.
H₃₂: Sorumluluk duygusal tükenme üzerinde etkilidir.
H₃₃: Sorumluluk duyarsızlaşma üzerinde etkilidir.
H₃₄: Sorumluluk kişisel başarı üzerinde etkilidir.
H₃₅: Nevrotiklik duygusal tükenme üzerinde etkilidir.
H₃₆: Nevrotiklik duyarsızlaşma üzerinde etkilidir.
H₃₇: Nevrotiklik kişisel başarı üzerinde etkilidir.
H₃₈: Deneyime açıklık duygusal tükenme üzerinde etkilidir.
H₃₉: Deneyime açıklık duyarsızlaşma üzerinde etkilidir.
H₄₀: Deneyime açıklık kişisel başarı üzerinde etkilidir.

IV. BULGULAR VE TARTIŞMA

Tablo 1'deki tanımlayıcı analiz sonuçlarına göre, odun esaslı levha tesisindeki çalışanların dışadönüklük ($\bar{x}=3.67$) ve deneyime açıklık ($\bar{x}=3.70$) kişilik boyutlarının puan ortalamaları orta-yüksek düzeyde; uyumluluk ($\bar{x}=3.30$), sorumluluk ($\bar{x}=3.39$) ve nevrotiklik ($\bar{x}=2.85$) kişilik boyutlarının puan ortalamaları ise orta düzeyde olduğu görülmektedir. Kişilik boyutunu genel olarak değerlendirildiğinde puan ortalamasının orta-yüksek düzeyde olduğu görülmektedir.

Çalışanların örgütsel vatandaşlık davranışı boyutlarından özgecilik ($\bar{x}=4.23$), vicdanlılık ($\bar{x}=4.25$) ve nezaket ($\bar{x}=4.32$) boyutlarının puan ortalamaları yüksek düzeyde iken, centilmenlik ($\bar{x}=3.68$) ve sivil erdem ($\bar{x}=4.05$) boyutlarının puan ortalamaları orta-yüksek düzeyde çıkmıştır. Örgütsel vatandaşlık davranışı ($\bar{x}=4.11$) boyutu ise orta-yüksek düzeydedir.

Duygusal tükenme ($\bar{x}=2.62$) boyutunun puan ortalamasının orta düzeyde; duyarsızlaşma ($\bar{x}=2.38$) boyutunun puan ortalamasının düşük-orta düzeyde; kişisel başarı ($\bar{x}=3.69$) boyutunun puan ortalamasının orta-yüksek düzeyde olduğu görülmektedir.

Tablo 1. Ölçeklerin ve alt boyutların tanımlayıcı istatistikleri

Ölçek ve Alt Boyutlar	Min.	Mak.	\bar{X}
Beş Faktör Kişilik Ölçeği	1	5	3.3956
Dışadönüklük	1	5	3.6657
Uyumluluk	1	5	3.3039
Sorumluluk	1	5	3.3882
Nevrotiklik	1	5	2.8535
Deneyime açıklık	1	5	3.7005
Örgütsel Vatandaşlık Davranışı Ölçeği	1	5	4.1088
Özgecilik	1	5	4.2287
Vicdanlılık	1	5	4.2540
Centilmenlik	1	5	3.6779
Nezaket	1	5	4.3226
Sivil erdem	1	5	4.0483
Tükenmişlik Ölçeği	1	5	2.9560
Duygusal tükenme	1	5	2.6243
Duyarsızlaşma	1	5	2.3805
Kişisel Başarı	1	5	3.6888

Tablo 2 ve 3'te değişkenler arasındaki korelasyon sonuçları görölmektedir. Genellikle, r değeri 0.70' ten büyük ise değişkenler arasında "güçlü" bir ilişki", r değeri 0.40 ile 0.70 arasında ise "orta düzeyde" bir ilişki ve r değeri 0.20 ile 0.40 arasında ise "zayıf" bir ilişki olduğu kabul edilmektedir. Ayrıca r değeri 0.20'den küçük ise "ihmal edilecek" bir ilişki olarak vasıflandırılmaktadır [47].

Beş faktör kişilik boyutu ile örgütsel vatandaşlık davranış boyutu arasında orta düzeyde ($r = 0.442$) ve pozitif bir ilişki bulunmuştur. Beş faktör kişilik boyutu ile örgütsel vatandaşlık davranış alt boyutları arasında ilişki şu şekildedir: özgecilik ($r = 0.362$), sivil erdem ($r = 0.328$), vicdanlılık ($r = 0.312$) ve nezaket ($r = 0.317$) boyutları ile pozitif ve zayıf ve centilmenlik boyutu ($r = 0.468$) ile pozitif ve orta düzeydedir.

Kişilik boyutunun alt boyutları ile örgütsel vatandaşlık davranış boyutu ve alt boyutları arasındaki ilişki incelendiğinde, örgütsel vatandaşlık davranış boyutu ile dışadönüklük ($r = 0.627$) ve deneyime açıklık ($r = 0.509$) boyutları arasında pozitif ve orta düzeyde; örgütsel vatandaşlık davranış boyutu ile uyumluluk ($r = 0.272$) boyutu arasında pozitif ve zayıf; örgütsel vatandaşlık davranış boyutu ile sorumluluk ($r = 0.199$) boyutu arasında ihmal edilecek bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Örgütsel vatandaşlık davranış boyutu ile nevroitiklik boyutu arasında ise anlamlı bir ilişki bulunmamaktadır.

Dışadönüklük boyutu ile özgecilik ($r = 0.585$), vicdanlılık ($r = 0.541$), nezaket ($r = 0.497$) ve sivil erdem ($r = 0.479$) boyutları arasında pozitif ve orta düzeyde; centilmenlik boyutu ($r = 0.399$) ile pozitif ve zayıf bir ilişki bulunmaktadır.

Uyumluluk boyutu ile centilmenlik ($r = 0.324$) ve özgecilik ($r = 0.294$) boyutları arasında pozitif ve zayıf; nezaket ($r = 0.178$) ihmal edilecek bir ilişki bulunmaktadır.

Sorumluluk boyutu ile centilmenlik boyutu ($r = 0.270$) arasında zayıf; vicdanlılık boyutu ($r = 0.176$) arasında pozitif ve ihmal edilecek bir ilişki bulunmaktadır ve özgecilik, nezaket ve sivil erdem boyutları arasında anlamlı bir ilişki bulunmamaktadır.

Nevrotiklik boyutu ile centilmenlik ($r = 0.231$) boyutu arasında pozitif ve zayıf bir ilişki bulunurken, özgecilik, vicdanlılık, nezaket ve sivil erdem boyutları arasında bir ilişki bulunmamaktadır.

Deneyime açıklık boyutu ile sivil erdem ($r = 0.456$), centilmenlik ($r = 0.428$) ve özgecilik ($r = 0.405$) boyutları arasında pozitif ve orta düzeyde; vicdanlılık ($r = 0.367$) ve nezaket ($r = 0.393$) boyutları arasında pozitif ve zayıf bir ilişki bulunmuştur.

Altay'ın [48] yaptığı çalışma sonuçlarına göre, örgütsel vatandaşlık davranışı ile kişilik özellikleri arasında orta dereceli anlamlı bir ilişki saptanmıştır. Kişiliğin alt boyutu bakımından ise örgütsel vatandaşlık davranışı ile sorumluluk, dışa dönüklük, uyumluluk ve gelişime açıklık boyutları arasında pozitif anlamlı bir ilişki ve nevroitiklik boyutu ile örgütsel vatandaşlık davranışı arasında çok düşük negatif yönlü anlamlı bir ilişki bulunmuştur. Ceyhan ve Yıldırım [49] otel çalışanlarının dışadönüklük, uyumluluk, özdisiplin ve gelişime açıklık düzeyleri arttıkça çalışanların örgütsel vatandaşlık davranış gösterme eğilimlerinin artacağını ve duygusal denge düzeyi arttıkça ise çalışanların örgütsel vatandaşlık davranışı sergileme sıklığının azalacağını söylemişlerdir. Da'as ve arkadaşları [50] okul yöneticilerinin kişilik özellikleri ile örgütsel vatandaşlık davranış sergileme eğilimleri arasında anlamlı ilişkiler bulmuşlardır. Bu ilişkiler alt boyutlar olarak incelendiğinde dışadönüklük, uyumluluk, sorumluluk ve deneyime açıklık boyutu ile örgütsel vatandaşlık davranışı arasındaki ilişki pozitif iken nevroitiklik ile vatandaşlık davranışı arasındaki ilişki negatiftir. Udin ve Yuniawan [51] elektrik sektöründe çalışanların örgütsel vatandaşlık davranışlarında kişilik özelliklerinin önemli bir role sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Yapılan çalışmaların sonuçları ile bu çalışmanın arasında benzerliklerin olduğu görölmektedir.

Tablo 2. Beş faktör kişilik ve örgütsel vatandaşlık davranışı boyutları ve alt boyutları arasındaki korelasyon değerleri

Değişkenler	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1: Dışadönüklük	1										
2: Uyumluluk	0.517**	1									
3: Sorumluluk	0.325**	0.475**	1								
4: Nevrotiklik	0.160	0.483**	0.457**	1							
5: Deneyime açıklık	0.509**	0.329**	0.369**	0.301**	1						
6: KÖ (Genel)	0.702**	0.780**	0.715**	0.665**	0.719**	1					
7: Özgecilik	0.585**	0.294**	0.111	-0.120	0.405**	0.362**	1				
8: Vicdanlılık	0.541**	0.163	0.176*	-0.144	0.367**	0.312**	0.759**	1			
9: Centilmenlik	0.399**	0.324**	0.270**	0.231**	0.428**	0.468**	0.472**	0.426**	1		
10: Nezaket	0.497**	0.178*	0.143	-0.096	0.393**	0.317**	0.688**	0.793**	0.450**	1	
11: Sivil erdem	0.479**	0.141	0.112	-0.040	0.456**	0.328**	0.531**	0.528**	0.329**	0.560**	1
12: ÖVDÖ (Genel)	0.627**	0.272**	0.199*	-0.050	0.509**	0.442**	0.869**	0.880**	0.651**	0.873**	0.734**

**p<0.01; *p<0.05

Tablo 3'teki korelasyon analizi sonuçları incelendiğinde ise, kişilik boyutu ile tükenmişlik boyutu arasında negatif ve orta düzeyde bir ilişki tespit edilmiştir. Tükenmişlik boyutu ile kişilik boyutunun alt boyutlarından nevroitiklik boyutu ($r = 0.462$) arasında pozitif ve orta düzeyde bir ilişkinin olduğu; uyumluluk ($r = 0.335$) ve sorumluluk ($r = 0.307$) boyutları arasında negatif ve zayıf bir ilişkinin olduğu; dışadönüklük ve deneyime açıklık boyutları arasında bir ilişkinin olmadığı bulunmuştur.

Dışadönüklük ve deneyime açıklık boyutları ile kişisel başarı boyutu ($r = 0.292$ ve $r = 0.332$) arasında pozitif ve zayıf; uyumluluk ve sorumluluk boyutları ile duygusal tükenme ($r = 0.304$ ve $r = 0.261$) ve duyarsızlaşma ($r = 0.337$ ve $r = 0.308$) boyutları arasında negatif ve zayıf; nevroitiklik boyutu ile duygusal tükenme ($r = 0.441$) ve duyarsızlaşma ($r = 0.489$) boyutları arasında pozitif ve orta düzeyde bir ilişki bulunmaktadır. Dışadönüklük ve deneyime açıklık boyutları ile duygusal tükenme ve duyarsızlaşma boyutları arasında ve uyumluluk, sorumluluk ve nevroitiklik boyutları ile kişisel başarı boyutu arasında anlamlı bir ilişkinin olmadığı bulunmuştur.

Bu çalışmadaki sonuçlar ile daha önceden yapılan çalışmalar paralellik göstermektedir. Joseph ve diğerleri [52] Hint Ruhban sınıfları arasında kişilik ve tükenmişlik arasındaki ilişki belirlemeye çalışmış ve çalışma sonucunda duygusal tükenme ve duyarsızlaşma ile dışadönüklük, uyumluluk ve sorumluluk arasındaki ilişki negatif iken, nevroitiklik arasındaki ilişki pozitif; kişisel başarı ile dışadönüklük, uyumluluk ve sorumluluk arasındaki ilişki pozitif iken, nevroitiklik arasındaki ilişki negatif olarak bulunmuştur. Sadoughi [53] kişilik özelliklerinin alt boyutları olan dışadönüklük, uyumluluk ve sorumluluk ile iş tükenmişliği arasında negatif ve nevroitiklik (duygusal denge/dengesizlik) ile pozitif bir ilişki bulmuşken, deneyime açıklık ile iş tükenmişlik arasında anlamlı bir ilişki bulunmamıştır. Molavynejad ve arkadaşları [54] onkoloji hemşirelerinin önemli bir kısmının tükenmişliğin en şiddetli evresini yaşadığı ve kişilik özelliklerinin tükenmişlik sendromunu önlemek amacıyla dikkate alınması gerektiğini söylemişlerdir. Benzer sonuçlar birçok çalışmada da bulunmuştur [55-57].

Tablo 3. Beş faktör kişilik ve tükenmişlik boyutları ve alt boyutları arasındaki korelasyon değerleri

Değişkenler	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1: Dışadönüklük	1								
2: Uyumluluk	0.517**	1							
3: Sorumluluk	0.325**	0.475**	1						
4: Nevrotiklik	-0.160	-0.483**	-0.457**	1					
5: Deneyime açıklık	0.509**	0.329**	0.369**	-0.301**	1				
6: KÖ (Genel)	0.702**	0.780**	0.715**	0.665**	0.719**	1			
7: Duygusal tükenme	-0.012	-0.304**	-0.261**	0.441**	-0.026	-0.286**	1		
8: Duyarsızlaşma	-0.110	-0.337**	-0.308**	0.489**	-0.038	-0.268**	0.689**	1	
9: Kişisel başarı	0.292**	0.100	0.117	-0.084	0.332**	0.262**	-0.182*	-0.006	1
10: Tükenmişlik (Genel)	-0.089	-0.335**	-0.307**	0.462**	-0.136	-0.367**	0.900**	0.748**	-0.516**

**p<0.01; *p<0.05

Korelasyon analizi sonuçlarına göre kişilik boyutu ve alt boyutları ile örgütsel vatandaşlık davranışı boyutu ve alt boyutları ve tükenmişlik boyutu ve alt boyutları arasında anlamlı ilişkilerin olduğu tespit edildikten sonra kişilik boyutlarının örgütsel vatandaşlık ve tükenmişlik boyutlarına etkisini belirlemek için regresyon analizi kullanılmıştır. Kullanılan regresyon analizinde kişilik boyutları bağımsız değişkeni gösterirken, örgütsel vatandaşlık davranışı ve tükenmişlik boyutları bağımlı değişkeni göstermektedir. Analiz sonucunda toplam 8 adet regresyon modeli oluşturulmuştur ve bu modellerin 5'i örgütsel vatandaşlık davranışı boyutları ile ilişkiliyken (Tablo 4), 3'ü tükenmişlik boyutları ile ilişkilidir (Tablo 5). Modellerden kullanılan değişkenler arasında otokorelasyon olup olmadığını belirlemek için ise Durbin-Watson testi kullanılmıştır. Tablo 4 ve 5 incelendiğinde, Durbin-Watson değerleri 1.5 ile 2.5 arasında olduğu için bulunan modellerde otokorelasyon olmadığı anlaşılmaktadır [33].

Birinci model incelendiğinde, bağımsız değişkenlerden dışadönüklük, nevroitiklik ve deneyime açıklık boyutları %95 güven aralığında istatistiksel olarak anlamlı olup, bağımlı değişken olan özgecilik boyutu üzerinde sırasıyla % 58.9 oranında pozitif, % 41.2 oranında negatif ve % 34.1 oranında pozitif yönde bir etkide bulunmaktadır. Yani, dışadönüklük ve deneyime açıklığın özgeciliğin gelişmesinde olumlu ve nevroitikliğin olumsuz bir etkiye sahip olduğu ifade edilebilir. Modelde kullanılan bağımsız değişkenlerin (dışadönüklük, uyumluluk, sorumluluk, nevroitiklik ve deneyime açıklık) bağımlı değişkende (özgecilik) meydana gelen değişimi açıklama oranı % 43.9 olarak gerçekleşmiştir. Uyumluluk ve sorumluluk boyutunun ise istatistiksel olarak özgecilik boyutu üzerinde anlamlı bir etkisinin olmadığı bulunmuştur.

Regresyon analizi kullanılarak oluşturulan modellerden ikincisi incelendiğinde, kişiliğin dışadönüklük, uyumluluk, sorumluluk, nevroitiklik ve deneyime açıklık boyutlarının örgütsel vatandaşlık davranışının vicdanlılık boyutunda meydana gelen değişimi açıklama oranı % 38.6 olarak gerçekleşmiştir. Birinci modelde olduğu gibi dışadönüklük, nevroitiklik ve deneyime açıklık boyutları istatistiksel olarak anlamlıdır ve dışadönüklük ve deneyime açıklık boyutları örgütsel vatandaşlık davranışının vicdanlılık boyutu üzerinde pozitif bir etkiye sahiptir. Vicdanlılık üzerinde nevroitiklik ise negatif yönlü bir etkiye sahiptir. İkinci modeldeki diğer değişkenlerin (uyumluluk ve sorumluluk) vicdanlılık üzerinde anlamlı bir etkisi bulunmamaktadır.

Örgütsel vatandaşlık davranışının centilmenlik boyutu için oluşturulan modelde, centilmenlik boyutu üzerinde sadece deneyime açıklık boyutunun istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi bulunmaktadır. Deneyime açıklığın etki oranı ise % 30.3 olup, bu etki pozitif yöndedir. Yani, kişilik özelliklerinden olan deneyime açıklık boyutundaki bir birimlik artışın diğer kişilik boyutları sabit olması koşulu ile centilmenlik boyutu üzerinde 303 birimlik artışa neden olacağını söylemektedir. Modelde kullanılan

bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkende (centilmenlik) meydana gelen değişimi açıklama oranı % 24.5 olarak bulunmuştur.

Dördüncü modelde, nezaket boyutunun % 32.6'sı bağımsız değişken olan kişilik özelliklerinden dışadönüklük, uyumluluk, sorumluluk, nevroitiklik ve deneyime açıklık boyutları tarafından açıklanmaktadır. Nezaket boyutunu açıklayan bağımsız değişkenlerden dışadönüklük ve deneyime açıklığın nezaket boyutuna etkisi olumluyken, nevroitiklik boyutunun etkisi ise olumsuzdur. Bu üç değişkenin nezaket boyutuna etkisi istatistiksel açıdan da anlamlıdır. Uyumluluk ve sorumluluk boyutlarının örgütsel vatandaşlık davranışının nezaket boyutu üzerine anlamlı bir etkisi bulunmamaktadır.

Sivil erdem boyutu için oluşturulan beşinci modelde, sivil erdem boyutu üzerinde % 43 oranı ile dışadönüklük ve % 42.7 oranı ile deneyime açıklık boyutları bir pozitif etkiye sahip olup, bu etki de istatistiksel olarak anlamlıdır. Dışadönüklük, uyumluluk, sorumluluk, nevroitiklik ve deneyime açıklık boyutlarının sivil erdem boyutunda meydana gelen değişimi açıklama oranı ise % 33.1 olarak gerçekleşmiştir.

Kumar ve diğerleri [58] hiyerarşik regresyon analizi ile sorumluluk, dışadönüklük, uyumluluk ve nevroitikliğin örgütsel vatandaşlık davranışı için geçerli yordayıcılar olduğu bulmuşlardır. Phipps ve diğerleri [59] kişilik özelliklerinin örgütsel vatandaşlık davranışı üzerinde olumlu bir etkisi olduğu sonucuna varmışlardır. Altay [48] kişilik özelliklerinin örgütsel vatandaşlık davranışı üzerinde etkisi olduğunu ve kişiliğin örgütsel vatandaşlık davranışını açıklama oranı %17 olarak gerçekleştiğini bulmuştur. Tayland Ubon Ratchathani Rajabhat Üniversitesi'ndeki destek personeline üzerine yapılan çalışmada da kişilik özelliklerinin örgütsel vatandaşlık davranışı üzerinde etkisi olduğu belirlenmiştir [60].

Tablo 4. Kişilik boyutlarının örgütsel vatandaşlık davranışı boyutları üzerindeki etkisine ilişkin regresyon sonuçları

Değişkenler (Model 1)	Özgecilik				
	B	Standart Hata	β	t	p
Sabit	1.529	0.445		3.435	0.001
Dışadönüklük	0.589	0.113	0.447	5.235	0.000
Uyumluluk	0.230	0.123	0.164	1.861	0.065
Sorumluluk	-0.088	0.126	-0.055	-0.698	0.486
Nevrotiklik	-0.412	0.103	-0.318	-3.986	0.000
Deneyime açıklık	0.341	0.113	0.240	3.034	0.003
R= 0.663	R ² = 0.439	F= 20.983	Durbin Watson= 1.630		0.000
Değişkenler (Model 2)	Vicdanlılık				
	B	Standart Hata	β	t	p
Sabit	1.955	0.416		4.698	0.000
Dışadönüklük	0.574	0.105	0.487	5.456	0.000
Uyumluluk	-0.074	0.115	-0.060	-0.646	0.520
Sorumluluk	0.164	0.118	0.115	1.396	0.165
Nevrotiklik	-0.350	0.097	-0.302	-3.618	0.000
Deneyime açıklık	0.238	0.105	0.187	2.265	0.025
R= 0.622	R ² = 0.386	F= 16.877	Durbin Watson= 1.869		0.000
Değişkenler (Model 3)	Centilmenlik				
	B	Standart Hata	β	t	p
Sabit	1.148	0.409		2.804	0.006
Dışadönüklük	0.204	0.103	0.195	1.971	0.051
Uyumluluk	0.097	0.113	0.087	0.855	0.394
Sorumluluk	0.050	0.116	0.039	0.427	0.670
Nevrotiklik	0.060	0.095	0.059	0.632	0.528
Deneyime açıklık	0.303	0.104	0.268	2.926	0.004
R= 0.495	R ² = 0.245	F= 8.707	Durbin Watson= 2.342		0.000

Tablo 4 (devamı). Kişilik boyutlarının örgütsel vatandaşlık davranışı boyutları üzerindeki etkisine ilişkin regresyon sonuçları

Değişkenler (Model 4)	Nezaket				
	B	Standart Hata	β	t	p
Sabit	2.083	0.435		4.787	0.000
Dışadönüklük	0.471	0.110	0.401	4.283	0.000
Uyumluluk	-0.013	0.121	-0.010	-0.105	0.917
Sorumluluk	0.054	0.123	0.038	0.440	0.660
Nevrotiklik	-0.288	0.101	-0.249	-2.846	0.005
Deneyime açıklık	0.322	0.110	0.253	2.923	0.004
R= 0.571	R ² = 0.326	F= 12.977		Durbin Watson= 1.876	0.000
Değişkenler (Model 5)	Sivil erdem				
	B	Standart Hata	β	t	p
Sabit	1.846	0.419		4.405	0.000
Dışadönüklük	0.430	0.106	0.379	4.060	0.000
Uyumluluk	-0.097	0.116	-0.081	-0.837	0.404
Sorumluluk	-0.044	0.119	-0.032	-0.370	0.712
Nevrotiklik	-0.170	0.097	-0.152	-1.742	0.084
Deneyime açıklık	0.427	0.106	0.348	4.028	0.000
R= 0.575	R ² = 0.331	F= 13.268		Durbin Watson= 2.019	0.000

Kişilik boyutlarının tükenmişlik boyutları üzerine etkisini belirlemek amacıyla oluşturulan modellerde ise şu sonuçlar çıkmıştır:

Nevrotiklik % 95 güven aralığında istatistiksel olarak anlamlı olup, duygusal tükenme boyutu üzerinde % 53.2 oranında pozitif yönde bir etkiye sahiptir. Yani, levha sanayinde çalışanların nevroitiklik kişilik özelliğine sahip olması duygusal tükenmeye uğramalarını artırıcı bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Dışadönüklük, uyumluluk, sorumluluk, nevroitiklik ve deneyime açıklık boyutlarının duygusal tükenmede meydana gelen değişimi açıklama oranı % 23.5 olarak gerçekleşmiştir. Diğer kişilik özelliklerinin istatistiksel olarak duygusal tükenme boyutu üzerinde anlamlı bir etkisi bulunmamaktadır.

Kişiliğin alt boyutlarından Dışadönüklük, uyumluluk, sorumluluk, nevroitiklik ve deneyime açıklık boyutlarının tükenmişliğin alt boyutu olan duyarsızlaşma boyutundan meydana gelen değişimi açıklama oranı % 36.3 olarak gerçekleşmiş olup, dışadönüklük ve uyumluluk duyarsızlaşmayı olumsuz ve nevroitiklik olumlu yönde etkilemektedir. Dışadönüklük, uyumluluk ve nevroitiklik boyutlarının istatistiksel açıdan etkisi anlamlıdır. Diğer kişilik boyutlarının (sorumluluk ve deneyime açıklık) etkisi istatistiksel olarak anlamlı değildir.

Kişisel başarı boyutunu istatistiksel açıdan anlamlı etkileyen kişilik özellikleri olarak dışadönüklük ve deneyime açıklık bulunmuştur. Dışadönüklüğün etki oranı % 25.1 iken deneyime açıklığı etki oranı % 31.4 çıkmıştır. Her iki kişilik boyutu da kişisel başarılığı pozitif yönde etkilemektedir. Dışadönüklük uyumluluk, sorumluluk ve nevroitiklik ve deneyime açıklık boyutlarının kişisel başarıdaki değişimi açıklama oranı % 13.8 olarak gerçekleşmiştir.

Farklı sektörlerde daha önceden yapılan araştırmalarda ise şu sonuçlar çıkmıştır: Sağlık çalışanlarına yapılan çalışmada, nevroitiklik boyutu duygusal tükenme boyutunu, özgecilik, uyumluluk ve deneyime açıklık boyutları duyarsızlaşma boyutunu ve özgecilik ve deneyime açıklık boyutları azalan başarı boyutunu etkilediği belirlenmiştir [61]. Morgan ve Bruin'in [62] Güney Afrika'daki üniversite öğrencilerine yönelik yaptığı araştırmada, nevroitiklik boyutunun duygusal tükenmeyi olumlu yönde etkilediğini tespit etmişlerdir. 2019 yılında Çiçek ve Aknar [63] tarafından yapılan çalışmada, banka çalışanlarının tükenmişlik düzeyini beş faktör kişilik özelliğinin alt boyutlarından nevroitiklik anlamlı ve pozitif ve uyumluluk negatif yönde etkilediğini tespit etmişlerdir.

Tablo 5. Kişilik boyutlarının tükenmişlik boyutları üzerindeki etkisine ilişkin regresyon sonuçları

Değişkenler (Model 7)	Duygusal tükenme				
	B	Standart Hata	β	t	p
Sabit	0.953	0.578		1.647	0.102
Dışadönüklük	-0.154	0.146	-0.105	-1.052	0.295
Uyumluluk	-0.278	0.160	-0.178	-1.732	0.086
Sorumluluk	0.155	0.164	0.087	0.949	0.344
Nevrotiklik	0.532	0.134	0.369	3.960	0.000
Deneyime açıklık	-0.195	0.146	-0.123	-1.334	0.184
R= 0.485	R ² = 0.235	F= 8.252	Durbin Watson= 2.079		0.000
Değişkenler (Model 8)	Duyarsızlaşma				
	B	Standart Hata	β	t	p
Sabit	0.839	0.554		1.515	0.132
Dışadönüklük	-0.442	0.140	-0.287	-3.151	0.002
Uyumluluk	-0.461	0.154	-0.282	-2.998	0.003
Sorumluluk	0.284	0.157	0.152	1.811	0.072
Nevrotiklik	0.568	0.129	0.375	4.412	0.000
Deneyime açıklık	-0.256	0.140	-0.154	-1.827	0.070
R= 0.602	R ² = 0.363	F= 15.257	Durbin Watson= 2.102		0.000
Değişkenler (Model 9)	Kişisel başarı				
	B	Standart Hata	β	t	p
Sabit	1.985	0.484		4.098	0.000
Dışadönüklük	0.251	0.122	0.217	2.047	0.043
Uyumluluk	0.127	0.134	0.104	0.946	0.346
Sorumluluk	0.014	0.137	0.010	0.101	0.919
Nevrotiklik	-0.032	0.113	-0.028	-0.286	0.775
Deneyime açıklık	0.314	0.123	0.251	2.561	0.012
R=0.371	R ² =0.138	F=4.273	Durbin Watson=2.089		0.000

Oluşturulan modeller yardımıyla test edilen hipotezlerin sonuçları Tablo 6’da verilmiştir.

Tablo 6. Hipotez test sonuçları

Hipotezler	P değeri	Sonuç
H ₁ : Dışa dönüklük özgecilik üzerinde etkilidir	0.000	Kabul
H ₂ : Dışa dönüklük vicdanlılık üzerinde etkilidir	0.000	Kabul
H ₃ : Dışa dönüklük centilmenlik üzerinde etkilidir	0.051	Red
H ₄ : Dışa dönüklük nezaket üzerinde etkilidir	0.000	Kabul
H ₅ : Dışa dönüklük sivil erdem üzerinde etkilidir.	0.000	Kabul
H ₆ : Uyumluluk özgecilik üzerinde etkilidir	0.065	Red
H ₇ : Uyumluluk vicdanlılık üzerinde etkilidir	0.520	Red
H ₈ : Uyumluluk centilmenlik üzerinde etkilidir	0.394	Red
H ₉ : Uyumluluk nezaket üzerinde etkilidir	0.917	Red
H ₁₀ : Uyumluluk sivil erdem üzerinde etkilidir	0.404	Red
H ₁₁ : Sorumluluk özgecilik üzerinde etkilidir	0.486	Red
H ₁₂ : Sorumluluk vicdanlılık üzerinde etkilidir	0.165	Red
H ₁₃ : Sorumluluk centilmenlik üzerinde etkilidir	0.670	Red
H ₁₄ : Sorumluluk nezaket üzerinde etkilidir	0.660	Red
H ₁₅ : Sorumluluk sivil erdem üzerinde etkilidir	0.712	Red
H ₁₆ : Nevrotiklik özgecilik üzerinde etkilidir	0.000	Kabul
H ₁₇ : Nevrotiklik vicdanlılık üzerinde etkilidir	0.000	Kabul

Tablo 6 (devamı). Hipotez test sonuçları

H ₁₈ : Nevrotiklik centilmenlik üzerinde etkilidir	0.528	Red
H ₁₉ : Nevrotiklik nezaket üzerinde etkilidir	0.005	Kabul
H ₂₀ : Nevrotiklik sivil erdem üzerinde etkilidir	0.084	Red
H ₂₁ : Deneyime açıklık özgeçilicilik üzerinde etkilidir	0.003	Kabul
H ₂₂ : Deneyime açıklık vicdanlılık üzerinde etkilidir	0.025	Kabul
H ₂₃ : Deneyime açıklık centilmenlik üzerinde etkilidir	0.004	Kabul
H ₂₄ : Deneyime açıklık nezaket üzerinde etkilidir	0.004	Kabul
H ₂₅ : Deneyime açıklık sivil erdem üzerinde etkilidir	0.000	Kabul
H ₂₆ : Dışadönüklük duygusal tükenme üzerinde etkilidir	0.295	Red
H ₂₇ : Dışadönüklük duyarsızlaşma üzerinde etkilidir	0.002	Kabul
H ₂₈ : Dışadönüklük kişisel başarı üzerinde etkilidir	0.043	Kabul
H ₂₉ : Uyumluluk duygusal tükenme üzerinde etkilidir	0.086	Red
H ₃₀ : Uyumluluk duyarsızlaşma üzerinde etkilidir	0.003	Kabul
H ₃₁ : Uyumluluk kişisel başarı üzerinde etkilidir	0.346	Red
H ₃₂ : Sorumluluk duygusal tükenme üzerinde etkilidir	0.344	Red
H ₃₃ : Sorumluluk duyarsızlaşma üzerinde etkilidir	0.072	Red
H ₃₄ : Sorumluluk kişisel başarı üzerinde etkilidir	0.919	Red
H ₃₅ : Nevrotiklik duygusal tükenme üzerinde etkilidir	0.000	Kabul
H ₃₆ : Nevrotiklik duyarsızlaşma üzerinde etkilidir	0.000	Kabul
H ₃₇ : Nevrotiklik kişisel başarı üzerinde etkilidir	0.775	Red
H ₃₈ : Deneyime açıklık duygusal tükenme üzerinde etkilidir	0.184	Red
H ₃₉ : Deneyime açıklık duyarsızlaşma üzerinde etkilidir	0.070	Red
H ₄₀ : Deneyime açıklık kişisel başarı üzerinde etkilidir	0.012	Kabul

Tablo 6'da görüldüğü gibi 18 hipotezin (H₁, H₂, H₄, H₅, H₁₆, H₁₇, H₁₉, H₂₁, H₂₂, H₂₃, H₂₄, H₂₅, H₂₇, H₂₈, H₃₀, H₃₅, H₃₆, H₄₀) %5 anlamlılık düzeyinde kabul edildiği belirlenmiştir.

IV. SONUÇ

Yapılan bu çalışmada asıl olarak levha sektöründe çalışanların kişilik özelliklerinin, örgütsel vatandaşlık davranış gösterme düzeylerinin ve tükenmişlik düzeylerinin belirlenmesi ve bu kişilik özelliklerinin örgütsel vatandaşlık davranış ve tükenmişlik ile olan ilişkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Verileri değerlendirilmesi sonucunda, kişilik boyutun genel ortalaması orta-yüksek düzeyde çıkmıştır. Kişilik boyutu alt boyut olarak incelendiğinde, en yüksek puan ortalaması deneyime açıklık ve dışadönüklük boyutunda olduğu görülmektedir. En düşük ortalamaya sahip kişilik boyutu ise nevroitiklik çıkmıştır. Bu durum anket katılanların genellikle sosyal, girişken, sıcak yürekli, konuşkan, yeni bir şeyler keşfetmeyi seven, meraklı, kararlı ve stresi iyi bir şekilde yöneten kişiler olduğunu söyleyebiliriz. Katılımcıların örgütsel vatandaşlık davranış gösterme eğilimi yükseğe yakın düzeyde çıkmıştır. Örgütsel vatandaşlık davranış boyutu alt boyut bakımında incelendiğinde, nezaket ve vicdanlılık boyutları en fazla puana sahipken, centilmenliğin en az puana sahip olduğu bulunmuştur. Diğer bir ifade ile katılımcıların çalışma arkadaşlarına yardım etme, örgütteki kurallara ve düzenlemelere uyma, gönüllü eylem ve davranışlar sergileme, örgütteki mallara zarar vermekten kaçınma, düzenli ve tertipli olma gibi davranışlar sergilediğini söyleyebiliriz. Katılımcıların tükenmişlik düzeyi ise çok düşük düzeyde değildir. Tükenmişlik boyutu alt boyut olarak incelendiğinde, duygusal tükenme düzeyi orta düzey, duyarsızlaşma düzeyi düşük-orta düzeyde ve kişisel başarı düzeyi ise orta düzeye yakın bulunmuştur. Katılımcıların tükenmişlik düzeylerinin çok düşük çıkmamasının çalıştıkları örgütteki iş yükünün fazla ve kişilerarası iletişimin yüksek olmasından kaynaklandığını söyleyebiliriz.

Yapılan korelasyon analizi sonucunda, kişilik özellikler ile örgütsel vatandaşlık davranış gösterme eğilimleri arasında pozitif bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Kişilik özellikleri ile örgütsel vatandaşlık

davranışı boyutları arasında pozitif bir ilişki bulunmakta olup, centilmenlik boyutunun kişilik özellikleri olan ilişkisi diğer örgütsel vatandaşlık davranışı boyutlarına göre daha yüksek çıkmıştır. Örgütsel vatandaşlık davranış sergileme eğilimi ile kişilik özelliklerinin boyutları arasındaki ilişki incelendiğinde, nevroitiklik haricinde diğer dört kişilik boyutları ile örgütsel vatandaşlık davranış gösterme eğilimi arasında anlamlı ve pozitif bir ilişki bulunmuştur. Örgütsel vatandaşlık davranış gösterme eğilimi ile ilişki düzeyi en yüksek kişilik boyutu dışadönüklük çıkmıştır. Kişiliğin alt boyutları ile örgütsel vatandaşlık davranışını alt boyutları incelendiğinde şu sonuçlar çıkmıştır:

- Dışadönüklük boyutu ile özgecilik, vicdanlılık, nezaket, sivil erdem ve centilmenlik boyutları arasında,
- Uyumluluk boyutu ile centilmenlik, özgecilik ve nezaket boyutları arasında,
- Sorumluluk boyutu ile centilmenlik ve vicdanlılık boyutları arasında,
- Nevrotiklik boyutu ile centilmenlik boyutu arasında ve
- Deneyime açıklık boyutu ile sivil erdem, centilmenlik, özgecilik, vicdanlılık ve nezaket boyutları arasında pozitif ve anlamlı ilişkiler tespit edilmiştir.

Katılımcıların kişilik özellikleri ile tükenmişlik düzeyleri arasında ise negatif bir ilişki bulunmuştur. Tükenmişlik düzeyi ile nevroitiklik arasında pozitif bir tespit edilmişken, tükenmişlik düzeyi ile sorumluluk ve uyumluluk boyutları arasında negatif bir ilişki tespit edilmiştir. Son olarak, kişiliğin alt boyutları ile tükenmişlik düzeyinin alt boyutları incelendiğinde şu sonuçlar çıkmıştır:

- Dışadönüklük ve deneyime açıklık boyutları ile kişisel başarı boyutu arasında ve
- Nevrotiklik boyutu ile duygusal tükenme ve duyarsızlaşma boyutları arasında pozitif ve anlamlı bir ilişki bulunmuştur.
- Uyumluluk ve sorumluluk boyutları ile duygusal tükenme ve duyarsızlaşma boyutları arasında negatif ve anlamlı bir ilişki bulunmuştur.

Korelasyon analizi sonuçlarına göre kişilik özellikleri ile örgütsel vatandaşlık davranışı gösterme eğilimleri ve tükenmişlik düzeyleri arasında anlamlı ilişkilerin olduğu tespit edildikten sonra kişilik özelliklerinin örgütsel vatandaşlık davranış ve tükenmişlik düzeyleri üzerine etkisini belirlemek için regresyon analizi yapılmıştır.

Regresyon analizi sonucunda oluşturulan model sonuçları ise şu şekilde çıkmıştır ve aşağıda verilen bütün sonuçlar istatistiksel olarak anlamlıdır.

- Dışadönüklük ve deneyime açıklığın özgecilik, vicdanlılık, nezaket ve sivil erdem boyutları üzerinde pozitif bir etkiye,
- Nevrotiklik özgecilik, vicdanlılık, nezaket boyutları üzerinde negatif bir etkiye,
- Deneyime açıklık boyutu centilmenlik boyutu üzerinde pozitif bir etkiye,
- Nevrotiklik duygusal tükenme üzerinde pozitif bir etkiye,
- Dışadönüklük ve uyumluluk duyarsızlaşma boyutu üzerinde negatif bir etkiye,
- Nevrotiklik duyarsızlaşma üzerinde pozitif bir etkiye ve
- Dışadönüklük ve gelişime açıklık kişisel başarı boyutu üzerinde pozitif bir etkiye sahiptir.

Kişilik özellikleri başkaları tarafından anlaşılması zor olduğundan dolayı yöneticilerin çalışanlarının ve işe birini istihdam ederken kişinin nasıl bir kişiliğe sahip olduğunu bilmeli ve bunun için gerekli çalışmaları yapmalıdır. Çünkü verilen bir işe o çalışanın kişiliği uygun olmayabilir. Çalışanların kişilik özelliklerinin yöneticiler ve çalışma arkadaşları tarafından bilinmesi yönetici ile çalışan ve çalışan ile çalışma arkadaşları arasındaki iletişimin gelişmesine ve örgüt yönetiminin daha çalışır hale gelmesinde katkı sağlayabilir.

Çalışmada çalışanların örgütsel vatandaşlık davranışı gösterme eğilimleri iyi düzeyde olsa da yöneticiler çalışanların örgütsel vatandaşlık davranışı gösterme eğilimlerini daha arttırması için etkin ve adil bir ödüllendirme sistemi kurabilir, terfilerde adil davranabilir, çalışanların ücretlerinde ve sosyal haklarında çalışanları memnun edici iyileştirmeler yapabilir, çalışanların çalışma koşulları daha

uygun hale getirilebilir, işletmenin amaç ve hedeflerini benimsemeyen çalışanlara işletmeyi kendi işletmesi gibi görmesi için gerekli çalışmalar yapabilir ve son olarak örgütsel vatandaşlık davranışı gösterme eğilimi düşük olan çalışanlar tespit edilerek örgütsel vatandaşlık davranışının neden düşük çıktığı konusunda gerekli araştırmalar yapılabilir ve çözüm önlemleri alabilir.

Yöneticiler tükenmişlik sendromu içinde olan veya tükenmişliğe yatkınlığı olan çalışanları tespit etmeye çalışabilir ve bu çalışanları tükenmişliğe iten nedenleri araştırarak gerekli önlemleri alabilir.

V. KAYNAKLAR

[1] P. Kanten, “Narsist kişilik özelliğinin örgütsel vatandaşlık davranışı üzerindeki etkisinde örgüt ikliminin düzenleyici rolü,” *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi İşletme İktisadi Enstitüsü Yönetim Dergisi*, c. 25, s. 26, ss. 1-26, 2014.

[2] M. Ş. Şimşek, A. Çelik ve T. Akgemci, *Davranış Bilimleri*, Konya, Türkiye: Eğitim Yayınevi, 2019.

[3] A. Cohen and E. Vigoda, “Do good citizen make good organizational citizens? an empirical examination of the relationship between general citizenship and organizational citizenship behavior in Israel,” *Administration and Society*, vol. 32, no. 5, pp. 596-625, 2000.

[4] S. Gürbüz, “Örgütsel vatandaşlık davranışı ile duygusal bağlılık arasındaki ilişkilerin belirlenmesine yönelik bir araştırma,” *Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, c. 3, s. 1, ss. 48-75, 2006.

[5] G. Sağlam Arı ve E. Çına Bal, “Tükenmişlik kavramı: birey ve örgütler açısından önemi,” *Yönetim ve Ekonomi*, c. 15, s. 1, ss. 131-148, 2008.

[6] T. İpek, “Satış elemanlarında tükenmişlik sendromunun incelenmesi: mobilya sektörüne yönelik bir araştırma,” Yüksek lisans tezi, İşletme, Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kütahya, Türkiye, 2014.

[7] E. Yıldız ve H. H. Uzunbacak, *Kişilik ve Örgüt Kültürü Bağlamında Prososyal Motivasyon*, İstanbul: Hiper Yayın, 2019.

[8] P. Aliyev, “Beş faktörlü kişilik özellikleri ve cinsiyet rollerinin üniversite alan seçimi ile ilişkisinin incelenmesi,” Yüksek lisans tezi, Psikoloji, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 2008.

[9] B. Girgin, “Beş faktör kişilik modelinin iş yerinde Duygusal Taciz’e (Mobbing) etkileri,” Yüksek lisans tezi, İşletme, Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kütahya, Türkiye, 2007.

[10] Ö. A. Tekin, S. N. Turan, M. Özmen, A. A. Turhan ve A. Kökçü, “Beş faktör kişilik özellikleri ve örgütsel çatışma yönetimi arasındaki ilişkiler: Ankara’daki beş yıldızlı otel işletmeleri üzerine bir uygulama,” *Yaşar Üniversitesi Dergisi* c. 27, s. 7, ss. 4611-4641, 2012.

[11] R. Glass, J. Prichard, A. Lafortune and N. Schwab, “ The influence of personality and Facebook use on student academic performance,” *Issues in Information Systems*, vol. 14, no. 2, pp. 119-126, 2013.

[12] S. R. Perry, “Big five personality traits and work drive as predictors of adolescent Academic Performance,” Doctorate Dissertation, The University of Tennessee, Tennessee, 2003.

- [13] R. W. Althoff, "The Big Five Personality Traits As Predictors of Academic Maturity," M. S. thesis, Dept. Clinical Psychology, Eastern Illinois Univ., Charleston, United States, 2010.
- [14] P. T. Costa and R. R. McCrae, "Domains and facets: hiyerarchical personality assessment using the revised NEO personality inventory," *Journal of Personality Assessment*, vol. 64, no. 1, pp. 21-50, 1995.
- [15] C. J. Soto, A. Kronauer and J. K. Liang, "*Five-Factor Model of Personality*, Encyclopedia of Adulthood and aging," In: Whitbourne, S. K. (ed.), Hoboken, NJ: Wiley, 2016.
- [16] T. S. Bateman and D. W. Organ, "Job satisfaction and the good soldier: the relationship between affect and employee citizenship," *Academy of Management Journal*, no. 26, pp. 587-595, 1983.
- [17] D. W. Organ, *Organizational Citizenship Behavior: The Good Soldier Syndrome*, Lexington: Lexington Books, 1988.
- [18] P. M. Podsakoff, S. B. MacKenzie, J. B. Paine and D. G. Bachrach, "Organizational citizenship behaviors: a critical review of the theoretical and empirical literature and suggestions for future research," *Journal of Management*, vol. 26, no. 3, pp. 513-563, 2000.
- [19] T. Thiruvankadam, I. Yabesh Abraham Durairaj, "Organizational citizenship behavior: its definitions and dimensions," *GE-International Journal of Management Research*, vol. 5, no. 5, pp. 46-55, 2017.
- [20] C. A. Smith, D. W. Organ and J. P. Near, "Organizational citizenship behavior: its nature and antecedents," *Journal of Applied Psychology*, no. 68, pp. 653-663, 1983.
- [21] M. DasMohapatra, I. Satpathy and B. C. M. Patnaik, "Impact of dimensions of organizational citizenship behaviour on job satisfaction in information technology sector," *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, vol. 8, no. 12, pp. 2503-2508, 2019.
- [22] M. C. Lo and T. Ramayah, "Dimensionality of Organizational Citizenship Behavior (OCB) in A multicultural society: the case of Malaysia," *International Business Research*, vol. 2, no. 1, pp. 48-55, 2009.
- [23] R. J. Deluga, "Leader-Member Exchange Quality and Effectiveness Ratings: The Role of Subordinate-Supervisor Conscientiousness Similarity," *Group & Organization Management*, vol. 23, no. 2, pp. 189-216, 1998.
- [24] H. J. Freudenberger, "Staff Burn-Out," *Journal of Social Issues*, vol. 30, no. 1, pp. 159-165, 1974.
- [25] P. Erdoğan ve R. İraz, *Örgütsel Vatandaşlık, Örgütsel Sinizm ve Tükenmişliğe Pozitif Psikolojik Sermaye Etkisi*, Konya, Türkiye: Eğitim Yayınevi, 2019.
- [26] C. Maslach and S. E. Jackson, "The measurement of experienced Burnout," *Journal of Organizational Behavior*, vol. 2, no. 2, pp. 99-113, 1981.
- [27] A. S. Huarng, "Burnout syndrome among information system professionals," *Information Systems Management*, vol. 18, no. 2, pp. 15-20, 2001.
- [28] C. Maslach, W. B. Schaufeli and M. P. Leiter, "Job Burnout," *Annu. Rev. Psychol*, no. 52, pp. 397-422, 2001.

- [29] K. Tatlıoğlu, “Maslach ve Jackson’un tükenmişlik modeli bağlamında tükenmişlik kavramı,” in *III. Uluslararası Taras Şevşenko Sosyal Bilimler Kongresi*, Ukrayna, 2019, ss. 357-367.
- [30] B. M. Byrne, “Burnout: testing for the validity, replication, and invariance of causal structure across elementary, intermediate, and secondary teachers,” *American Educational Research Journal*, vol. 31, no. 3, pp. 645-673, 1994.
- [31] R. T. Lee and B. E. Ashforth, “a meta-analytic examination of the correlates of the three dimensions of job Burnout,” *Journal of Applied Psychology*, vol. 81, no. 2, pp. 123–133, 1996.
- [32] V. Benet-Martinez and O. P. John, “Los Cinco Grandes Across cultures and ethnic groups: multitrait multimethod analyses of the big five in Spanish and English,” *J Pers Soc Psychol*, vol. 75, no. 3, pp. 729-750, 1998.
- [33] D. Schmitt, J. Allik, R. R. McCrae and V. Benet-Martinez, “The geographic distribution of big five personality traits patterns and profiles of human self-description across 56 Nations,” *Journal of Cross-Cultural Psychology*, vol. 38, no. 2, pp. 1-40, 2007.
- [34] O. Somer, M. Korkmaz ve A. Tatar, “Beş Faktör Kişilik Envanteri’nin Geliştirilmesi-I: Ölçek ve Alt Ölçeklerin Oluşturulması,” *Türk Psikoloji Dergisi*, c. 17, s. 49, ss. 21-33, 2002.
- [35] N. Sümer ve H. C. Sümer, “Beş faktör kişilik özellikleri ölçeği,” (Yayınlanmamış çalışma), 2005.
- [36] N. G. Karaman, T. Doğan, A. E. Çoban, “A study to adapt the big five inventory to Turkish,” *Procedia Social and Behavioral Sciences*, no. 2, pp. 2357-2359, 2010.
- [37] Ü. Morsunbul, “The validity and reliability study of the Turkish version of quick big five personality test,” *Düşünen Adam The Journal of Psychiatry and Neurological Sciences*, vol. 4, no. 27, pp. 316-322, 2014.
- [38] A. Tatar, “Beş faktör kişilik ölçeğinin kısa formunun geliştirilmesi,” *Anadolu Psikiyatri Dergisi*, s. 17, ss. 14-23, 2016.
- [39] M. B. Horzum, T. Ayas ve M. A. Padır, “Beş faktör kişilik ölçeğinin türk kültürüne uyarlanması,” *Sakarya Üniversitesi Eğitim Dergisi*, c. 7, s. 2, ss. 398-408, 2017.
- [40] M. B. Bulut ve M. Yıldız, “Boyutlandırılmış Beş Faktör Kişilik Envanteri’nin (B5FKKE) Türkçeye uyarlanması: üniversite öğrencileri örnekleminde geçerlik ve güvenilirlik çalışması,” *Mediterranean Journal of Humanities*, c. 8, s. 2, ss. 181-200, 2018.
- [41] O. İ. Bolat, ve T. Bolat, “Otel işletmelerinde örgütsel bağlılık ve örgütsel vatandaşlık davranışı ilişkisi,” *Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, c. 11, s. 19, ss. 75-94, 2008.
- [42] S. Özdemir, “Burnout Levels of Teachers of Students With AD/HD in Turkey: comparison with teachers of Non-AD/HD Students,” *Education and Treatment of Children*, vol. 29, no. 4, pp. 693-709, 2006.
- [43] C. Ergin, “Doktor ve hemşirelerde tükenmişlik ve Maslach tükenmişlik ölçeğinin uyarlanması,” in *VII. Ulusal Psikoloji Kongresi Bilimsel Çalışmaları*, Ankara, Türkiye, 1992, ss. 143–154.
- [44] O. Çam, “Tükenmişlik envanterinin geçerlik ve güvenilirliğinin araştırılması,” *VII. Ulusal Psikoloji Kongresi Bilimsel Çalışmaları*, Ankara, Türkiye, 1992, ss. 155–160.

- [45] N. Turgut, S. Karacalar, C. Polat, Ö. Kıran, F. Gültop, S. T. Kalyon, B. Sinoğlu, M. Zincirci ve E. Kaya, “Uzmanlık eğitimindeki doktorlarda tükenmişlik sendromu,” *Türk Anesteziyoloji ve Reanimasyon Dergisi*, s. 44, ss. 258-264, 2016.
- [46] S. Özsoylu, B. Akyıldız ve A. Dursun, “Bir üniversite hastanesinde çalışan hemşirelerin tükenmişlik düzeyi ve etkileyen faktörler,” *J Pediatr Emerg Intensive Care Med*, s. 4, ss. 104-109, 2017.
- [47] A. Sökmen, “Ankara’daki beş yıldızlı konaklama işletmelerinde örgütsel bağlılık ile işgören performansı arasındaki ilişkinin belirlenmesine yönelik ampirik bir araştırma,” Yüksek lisans tezi, Turizm İşletmeciliği, Gazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 2000.
- [48] A. Altay, “Örgütsel vatandaşlık davranışı ile kişilik arasındaki ilişki üzerine bir araştırma,” Yüksek lisans tezi, Çalışma Ekonomisi ve Endüstri İlişkileri, Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 2015.
- [49] S. Ceyhan ve M. Yıldırım, “Kişilik özelliklerinin örgütsel vatandaşlık davranışına etkisi: beş yıldızlı otel işletmelerinde bir araştırma,” *Yönetim Bilimleri Dergisi*, c. 18, s. 38, ss. 723-745, 2020.
- [50] R. Da’as, C. Schechter and M. Qadach, “School Leaders’ Cognitive Complexity: Impact on The Big 5 Model and Teachers’ Organizational Citizenship Behavior,” *Journal of School Leadership*, vol. 30, no. 5, pp. 398-423, 2020.
- [51] U. Udin and A. Yuniawan, “Psychological capital, personality traits of big-five, organizational citizenship behavior, and task performance: testing their relationships,” *Journal of Asian Finance, Economics and Business*, vol. 7, no. 9, pp. 781-790, 2020.
- [52] E. N. Joseph, P. Luyten, J. Corveleyn and H. De Witte, “The relationship between personality, Burnout, and Engagement among the Indian Clergy,” *International Journal for the Psychology of Religion*, vol. 21, no. 4, pp. 276-288, 2011.
- [53] M. Sadoughi, “The relationship between personality traits, perfectionism and job Burnout: The Case of Iranian High-School Teachers,” *International Journal of Academic Research in Progressive Education and Development*, vol. 6, no. 1, pp. 1-10, 2017.
- [54] S. Molavynejad, M. Babazade, F. Bereihi and B. Cheraghian, “Relationship between personality traits and Burnout in oncology nurses,” *J Family Med Prim Care.*, vol. 8, no. 9, pp. 2898–2902, 2019.
- [55] L. Zaninotto, G. Rossib, A. Danielic, A. Frassona, L. Meneghettia, M. Zordanb, P. Titob, B. Salvettid, A. Concad, R. Ferrantia, S. Salcunie and M. Solm, “Exploring the relationships among personality traits, Burnout Dimensions and Stigma in a sample of mental health professionals,” *Psychiatry Research*, no. 264, pp. 327-333, 2018.
- [56] P. A. Brown, M. Slater and A. Lofters, “Personality and Burnout among primary care physicians: an international study,” *Psychology Research and Behavior Management*, no. 12, pp. 169-177, 2019.
- [57] D. J. Prins, S. N. Van Vendeloo, P. L. P. Brand, I. Van der Velpen, K. De Jong, F. Van den Heijkant, F. M. M. A. Van der Heijden and J. T. Prins, “The Relationship Between Burnout, Personality Traits, and Medical Specialty: A National Study Among Dutch Residents,” *Medical Teacher*, vol. 41, no. 5, pp. 584-590, 2019.



- [58] K. Kumar, A. Bakhshi and E. Rani, "Linking The 'Big Five' personality domains to organizational citizenship behavior," *International Journal of Psychological Studies*, vol. 1, no. 2, pp. 73-81, 2009.
- [59] S. T. A. Phipps, L. C. Prieto and M. H. Deis, "The role of personality in organizational citizenship behavior: introducing counter productive work behavior and integrating impression management as a moderating factor," *Journal of Organizational Culture, Communications and Conflict*, vol. 19, no. 1, pp. 178-196, 2015.
- [60] S. Leephaijaroen, "Effects of The Big-five personality traits and organizational commitments on organizational citizenship behavior of support staff at Ubon Ratchathani Rajabhat University, Thailand," *Kasetsart Journal of Social Sciences*, no. 37, pp. 104-111, 2016.
- [61] Zellars, K. L., Perrewe, P. L., Hochwarter and W. A., 2000. Burnout in Health Care: The Role of The Five Factors of Personality, *Journal of Applied Social Psychology*, vol. 30, no. 8, pp. 1570-1598.
- [62] B. Morgan and K. De Bruin, "The relationship between the big five personality traits and Burnout in South African University Students," *South African Journal of Psychology*, vol. 40, no. 2, pp. 182-191, 2010.
- [63] B. Çiçek ve A. Aknar, "Kişilik özelliklerinin tükenmişlik ve presentizm davranışları üzerindeki etkisi," *Üçüncü Sektör Sosyal Ekonomi Dergisi*, c. 54, s. 3, ss. 1234-1258, 2019.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Sakarya İlinde Mısır Yetiştiren Üreticilerin Yabancı Otlar ve Mücadelesi Konusunda Yaşadığı Sorunlar

 Saliha Gözde AĞDACI^{a*},  Zübeyde Filiz ARSLAN^b

^a Bitki Koruma Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

^b Bitki Koruma Bölümü, Ziraat Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

Sorumlu yazarın e-posta adresi: salihaagdaci@gmail.com

DOI:10.29130/dubited.928142

ÖZ

Marmara Bölgesinin verimli topraklarına sahip olan Sakarya ili, mısır üretimi bakımından önemli bir yere sahiptir. Bu çalışmada Sakarya ili mısır üretim alanlarında sorun olan yabancı ot türleri tespit edilmiş ve belirlenen bu yabancı otlara karşı uygulanan yabancı ot mücadele yöntemleri ortaya çıkarılmıştır. Bunun yanında yabancı otları ve mücadele yöntemlerini etkileyeceği düşünülen faktörleri de saptamak amacıyla 2019 yılında üreticilerle görüşülerek anket çalışması yapılmıştır. Çalışma kapsamında Sakarya ilinin Adapazarı, Erenler, Akyazı, Hendek, Serdivan ve Söğütlü ilçelerindeki 50 mısır üreticisine yöneltilen 22 anket sorusunun cevapları değerlendirilmiştir. Sonuç olarak; yapılan anket çalışmalarına göre mısır üreticilerinin %70'i yabancı otların tarlalarda orta derecede sorun olduğunu, %40'ı *Sorghum halepense* (L.) Pers. (Kanyaş)'nin ve %32'si *Echinochloa crus-galli* (L.) P.B. (Darıcan)'nin tarlada en çok karşılaştıkları yabancı otlar olduğunu, bu türlerin verim kaybına ve hasat sırasında zorluklara neden olduklarını belirtmişlerdir. Üreticilerin %80'i yabancı otlara karşı kimyasal mücadeleyi tercih ettiklerini, bu amaçla herbisitleri daha çok çıkış sonrası dönemde uyguladıklarını, %66'sı nicosulfuron ve dicamba+tritosulfuron etkili maddeli herbisitleri tercih ettiklerini, %70'i tavsiye dozuna uymadıklarını ve %32'si ise tavsiye dönemine uymadıklarını belirtmişlerdir. Ayrıca, üreticilerin aynı etki mekanizmasına sahip herbisitleri uzun süredir uyguladıkları tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Mısır, Yabancı otlar, Yabancı otlarla mücadele, Herbisitler, Sakarya

The Problems of Corn Growers Regarding Weeds and Their Control in Sakarya Province, Turkey

ABSTRACT

Sakarya province, which has the fertile soil of the Marmara Region, has an important place in term of corn production. In this study, a questionnaire study was conducted by interviewing corn growers Sakarya in 2019 in order to identify the troublesome weed species in the fields, the weed control methods applied in the region, and also to reveal the factors that are thought to affect weeds and their control. Within this framework of the study, the answers of 22 questionnaires directed to 50 corn growers in districts of Sakarya; Adapazarı, Erenler, Akyazı, Hendek, Serdivan and Söğütlü, were evaluated. As a consequence; the growers stated that the most troublesome weeds in their fields were *Sorghum halepense* (L.) Pers. (Johnson grass) and *Echinochloa crus-galli* (L.) P.B. (Barnyard grass) and these species cause yield losses and harvest problems. %80 of growers preferred chemical control and apply post-emergence herbicides for controlling weeds: %66 of growers preferred nicosulfuron and dicamba+tritosulfuron, %70 and %32 of the growers did not comply with the recommended dose and period of herbicides. In addition, it is determined that the growers have been applying the herbicides with the same mode of action for a long time.

Keywords: Corn, Weeds, Control of weeds, Herbicides, Sakarya.

I. GİRİŞ

Mısır içerdiği yüksek enerji ve protein ile insan ve hayvan beslenmesinde son derece önemlidir. Ülkemizde üretilen mısırın %27'si insan gıdası olarak %73'ü hayvan yemi olarak kullanılmaktadır [1].

Mısır üretimine bakıldığında 2018/2019 sezonunda dünyadaki ülkeler arasında verim bakımından Türkiye 3. sırada yer almaktadır. Türkiye genelinde ortalama 6 milyon ton mısır üretimi yapılmaktadır [2]. Sakarya ilinde 170.025 ha toplam tarım alanının % 19'unda yani 32.529 ha alanda mısır yetiştirilmektedir [3]. Bu nedenle Sakarya ili mısır üretiminde önemli bir yere sahiptir. 2018/2019 sezonunda Sakarya ilinde 299.397 ton mısır üretimi gerçekleştirilmiştir [4]. Bu durumda Türkiye mısır ihtiyacının % 5'ini Sakarya ilinden karşılamaktadır. Sakarya ilinde mısır verimi dünya ortalamasının üzerinde olup ortalama 14.000-16.000 kg / ha'dır [5].

Yabancı otlar, mısır üretiminde en önemli bitki koruma zararlılarıdır. Üretim alanlarında sorun olan yabancı ot türleri, mısır üretiminde % 37'lik bir ürün kaybına neden olabilmektedirler [6]. Mısırdaki yabancı otlarla mücadele dönemi iki aylık süreci kapsamaktadır [7]. Bu süreçte verim kayıplarının önüne geçilmesi için mücadelenin doğru yönetilmesi ve etkin bir şekilde yapılması gerekmektedir. Herbisitler etkili olmaları ve üreticilerin sonuçlarını kısa süre içerisinde görmelerinden dolayı, yüksek miktarda tüketilmektedir. En çok tercih edilen yöntemlerin başında gelen kimyasal mücadelede kullanılan herbisitler, zamanla yabancı otlarda dayanıklılığın oluşmasına neden olabilmektedir [8].

Bitkilerde daha çok, etkiledikleri yer dikkate alınarak sınıflandırılan herbisitler, çeşitli gruplara ayrılır. HRAC (Herbicide Resistance Action Committee, Herbisit Direnç Eylem Komitesi) tarafından yapılan sınıflandırmada yer alan bazı guruplara karşı, ülkemizde de herbisitlere dayanıklılık vakaları görülmektedir.

Türkiye'de en çok ACCase (Acetyl CoA Carboxylase) ve ALS (Asetolactate synthase) inhibitörlerine sahip herbisitlerde dayanıklılık vakaları bulunmaktadır. Dünyada kaydedilen dayanıklılık vakalarının çoğu ise ALS inhibitörleri, Fotosistem II, EPSP sentaz, ACCase inhibitörleri ve sentetik oksinler guruplarında yer almıştır ve sırasıyla buğday, mısır, çeltik ve soya kültür bitkilerinde kaydedilmiştir [9]. Yabancı otlarda herbisitlere karşı dayanıklılık oluşmasını geciktirmek için için mutlaka her yıl farklı etki mekanizmasına sahip herbisitlerden bir tanesi seçilmelidir.

Bu anket araştırması, ülkesel mısır üretiminde önemli yere sahip olan Sakarya ilinde karşılaşılan sorunlardan biri olan yabancı otlar konusunda yaşanan sıkıntıların boyutunu belirlemek, mısır üretiminde sorun olduğu düşünülen yabancı ot türlerini ortaya çıkarmak, yabancı ot mücadelesi konusunda yapılan uygulamaları ve tercih edilen bazı herbisitleri tespit etmek, ayrıca yabancı ot sorunlarını ve mücadelesini etkilediği düşünülen diğer konular hakkında da bilgi edinmek amacıyla yürütülmüştür. Çalışmadan elde edilen bulgular ile üreticilerin yabancı ot entegre mücadele prensiplerine uygun olarak daha bilinçli mücadele yapmaları teşvik edilerek; üretici, bölge ve ülke ekonomisine katkılar sağlanması hedeflenmiştir.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışma 2019 yılında Sakarya ilinde anket çalışması olarak yürütülmüştür. Çalışma altı farklı ilçedeki 19 farklı köyde ikamet eden 50 üretici ile birebir görüşülerek gerçekleştirilmiştir. Anket görüşmeleri Budaklar Tarım Kredi Kooperatifinde, Budaklar Süt Kooperatifinde ve köy kahvehanelerinde rastlanan mısır üreticileri ile yapılmıştır. Anket soruları genel olarak değerlendirildiğinde; üreticilere yetiştiricilik, yabancı otlar ve yabancı ot mücadelesi ile ilgili konularda toplam 22 adet soru yöneltilmiştir. Üreticilere yöneltilen yetiştiricilik ile ilgili sorular; yetiştirilen çeşidin kullanım amacı, ekilen mısırın çeşidi üye olduğu kooperatif, tarlanın mülkiyet durumu, ekim alanı, mısır tohum, fiyatı, kullanılan gübreler, sulama şekli ve bitki koruma etmenleri arasındaki önem sırası, en önemli yabancı ot türleri ve üretim alanlarında yabancı otların sorunları olmuştur. Yabancı otlar ile ilgili olarak; yabancı otların bitki koruma etmenleri arasındaki önem sırası,

en önemlisi yabancı ot türleri ve üretim alanlarında yabancı otların sorun olma derecesi sorulmuştur. Yabancı ot mücadelesi ile ilgili olarak ise, uygulanan yöntemler, sürüm aleti, sürüm sayısı, tercih edilen herbisitler, herbisitlerin maliyeti, herbisit tercihindeki öncelikleri, herbisitlerin uygulama dozu, etkisizlik olduğu düşünülen herbisitler, herbisitlerin uygulanma dönemi ve mücadelede sorun yaşanan yabancı otlar konusunda bilgiler alınmıştır. Üreticiler ile yapılan görüşmeler sonrasında anket formları incelenerek değerlendirilmiştir. Anket sorularına verilen tüm cevaplar Microsoft Excel veri tabanına kaydedilerek tablolar ve şekiller hazırlanmıştır. Bulgular, sorunun türüne bağlı olarak tablo, pasta grafik veya sütun grafik olarak sunulmuştur.

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

A.SAKARYA İLİNDE MISIR YETİŞTİRİCİLİĞİ İLE İLGİLİ BULGULAR

Sakarya ilinde yapılan anket çalışması sonucunda, mısır üreticilerinin en çok tercih ettikleri mısır çeşitleri sırasıyla Pioneer 2105 (% 34) , Pioneer 2088 (% 16), Decalb 6876 (% 16) ve Pioneer 31A34 (% 12) olarak ortaya çıkmıştır (Tablo 1). Mısır tohumunun satış noktalarına ulaşması, tohum firmalarının aracılığı ile mümkün olmaktadır. Üreticiler uygun fiyat ve hasat sonu vadeli ödeme avantajını sağlayan bayi ve kooperatiflerden tohumlarını almayı tercih etmektedirler.

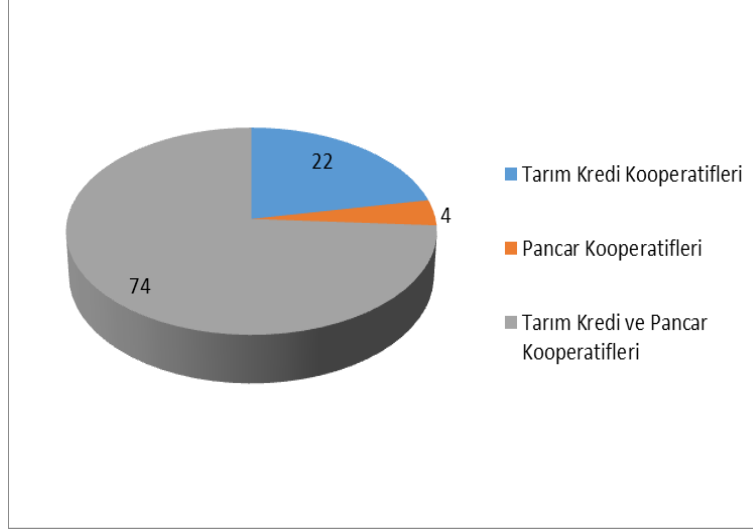
İzmir'in Bergama ve Torbalı ilçelerinde 2017 yılında yapılan bir çalışmada mısır ekim alanlarında, en fazla tercih edilen çeşitler Monsanto ve Dupont firmalarına ait çeşitler olmuştur. Çalışmada mısır üreticilerinin tercihleri hastalıklara dayanıklılık ve erkencilik özellikleri öncelikli olarak ilk iki sırada yer almıştır. Daha sonra sırasıyla uygun fiyat, yüksek verim ve stres koşullarına dayanıklılık özellikleri tercih edilmiştir [10]. İzmir'de Bergama ve Torbalı ilçelerinde 2017 yılında en çok tercih edilen mısır tohum çeşitleri Decalb 6876 (% 19) ve Pioneer 2088 (% 5) olmuş, 2019 yılında Sakarya ilinde yapılan bu araştırmada tercih edilen tohumlar benzerlik göstererek yine Decalb 6876 (% 16) ve Pioneer 2088 (% 16) olmuştur. Üreticilerin her sene mısır tohum tercihleri iklim koşullarına paralel olacak şekilde değişebilmektedir. Verimi yüksek, kuraklığa dayanıklı, aynı zamanda ekonomik olan hibrit tohum çeşitleri tercih edilmektedir.

Tablo 1. Sakarya ilinde yaygın ekilen mısır tohum çeşitleri

Mısır çeşitleri	Üretici sayısı	Oran (%)
Pioneer 2105	17	34
Decalb 6876	8	16
Pioneer 2088	8	16
Pioneer 31A34	6	12
Pioneer 1921	3	6
Decalb 955	3	6
Decalb 6980	1	2
Decalb 6777	1	2
Pioneer Y43	1	2
Decalb 6664	1	2
Tareks 6063	1	2
Toplam	50	100

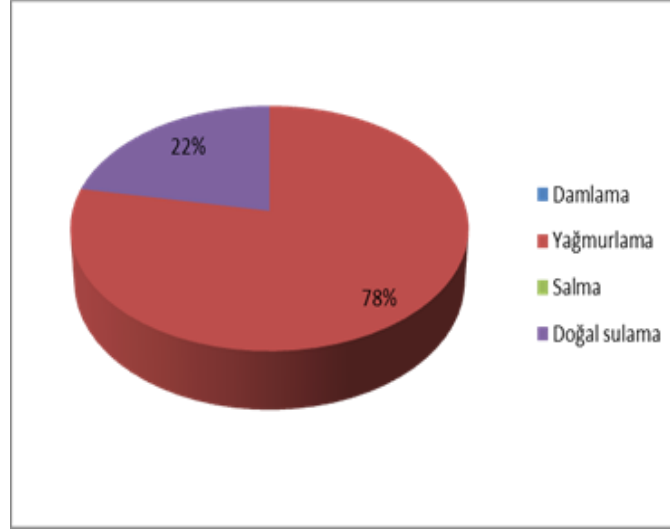
Mısır üreticilerinin, kayıtlı oldukları kooperatifler değerlendirildiğinde; üreticilerin en az bir kooperatife üye oldukları, çoğunun (% 74) hem tarım kredi hem de pancar kooperatifine üye oldukları belirlenmiştir (Şekil 1). Üreticilerin kooperatiflere üye olmalarındaki neden, satın aldıkları tohum, gübre, zirai mücadele ilacı, mazot, alet ve ekipman vb. ürünleri istedikleri özelliklerde ve fiyatlarda bulma imkanlarının olmasıdır. Kooperatifler satış yelpazesindeki tüm çeşitler ile ilgili teknik eğitim

verebilmektedir. Ayrıca kooperatifler tüm ürünleri uzun vadeli ve kredili olarak vererek üreticilere hizmet sunmaktadırlar. 2019 yılında İzmir ilinde kooperatif-üretici ilişkilerinin araştırıldığı bir çalışma sonucunda üreticilerin % 42'sinin tarım kredi kooperatifine, % 58'inin diğer kooperatiflere üye olduğu tespit edilmiştir [11]. Yabancı otlarla mücadelede, üreticilerin kooperatiflere kayıtlı olmaları son derece önemlidir. Örneğin, üreticiler zirai ilaçların tavsiye dozunu ve dönemini her zaman kooperatifte bulunan ziraat mühendislerinden öğrenebilirler ve üretim ile ilgili ihtiyaç duydukları teknik konularda danışmanlık alabilirler.



Şekil 1. Sakarya ilinde üreticilerin kayıtlı oldukları kooperatifler

Anket yapılan üreticilerin, mısır tarlalarını sulama şekli ile ilgili olarak yapılan değerlendirme sonucunda, üreticilerin tarlalarını yaygın olarak (% 78) yağmurlama yöntemi ile suladıkları, damlama veya salma yapmadıkları belirlenmiştir (Şekil 2). Sulama suyu, mısırın büyümesi ve gelişimi için olduğu kadar döllenme, tane tutumu ve verim artışı için de bir o kadar önem arz etmektedir. Bitkilerin gereksinim duyduğu su ihtiyacının belirlenmesi son derece önemlidir. Bursa ilinde 2016 yılında yürütülen bir çalışmada, farklı gelişme dönemlerinde yapılan sulamanın, verime etkisi araştırılmıştır. Mısırın vejetatif döneminde ve tepe püskülü dönemlerinde yapılan sulamanın verimi arttırdığı, koçan çıkarma ve süt olum dönemlerinde ise kısıtlı sulamanın verimi etkilemediği belirlenmiştir. Tek bir gelişme döneminde sulama yapmanın ise verim artışını etkilemediği bildirilmiştir [12]. Çukurova yöresinde 1996 yılında kısıtlı su uygulamalarının mısır verimine ve su kullanım randımanına etkilerinin araştırıldığı diğer bir çalışmada, mısırın su ihtiyacının büyüme mevsimi boyunca 5-6 kez verilmesiyle birlikte toplam 750-825 mm arasında suyun uygulanabilir olduğu, mevsimlik su tüketiminin ise 1000 mm civarına ulaştığı tespit edilmiştir [13]. Şanlıurfa ilinde 2017 yılında yapılan benzer bir çalışma sonucunda mısır tarlalarında yaygın olarak salma sulama yapıldığı, salma sulama yapılan mısır tarlalarında bazı yabancı ot türlerine ait tohumların bulaştığı ve bu türlerin yoğunluklarının arttığı belirlenmiştir. Sulamanın etkisiyle Şanlıurfa ili pamuk tarlalarında da *Physalis* spp., *X. strumarium*, *S. halepense*, *P. oleracea*, *Echinochloa* spp. ve *Setaria* spp. yoğunluklarının arttığı tespit edilmiştir [14]. Başka bir çalışmada istilacı bir tür olan fener otunun (*Physalis philadelphica* Lam.) pamuk tarlalarından salma sulama ile birlikte mısır tarlalarına da bulaşmış olduğu ve mısır tarlalarında da yoğunluğunun arttığı bildirilmiştir [15]. Tarımsal sulama, yabancı ot yoğunluğunu arttıran önemli bir faktördür [16-19].



Şekil 2. Sakarya ilinde mısır tarlalarının sulama şekilleri

Yapılan çalışmada, mısır tarlalarında uygulanan toprak işleme aletleri pulluk, diskaro, kazayağı ve freze olarak sıralanmıştır (Tablo 2). Anket çalışmamızdaki üreticiler pulluk, kazayağı ve freze'yi yabancı ot mücadelesi amacıyla kullanmaktadırlar. Üreticiler mısır üretiminde geleneksel olarak sonbahar toprak hazırlığında, toprak nemlenip tavına geldiği zaman 15 - 20 cm derinliğinde pullukla sürüm yapmaktadırlar. İlkbaharda ise kazayağı ve tırmık kombinasyonu ile 8 - 10 cm derinlikte sürüm yapmaktadırlar. Üreticiler her yıl ya da iki yılda bir pulluk katmanını kırmak için dipkazan ile 40 - 60 cm derinlikten toprağı sürmektedirler.

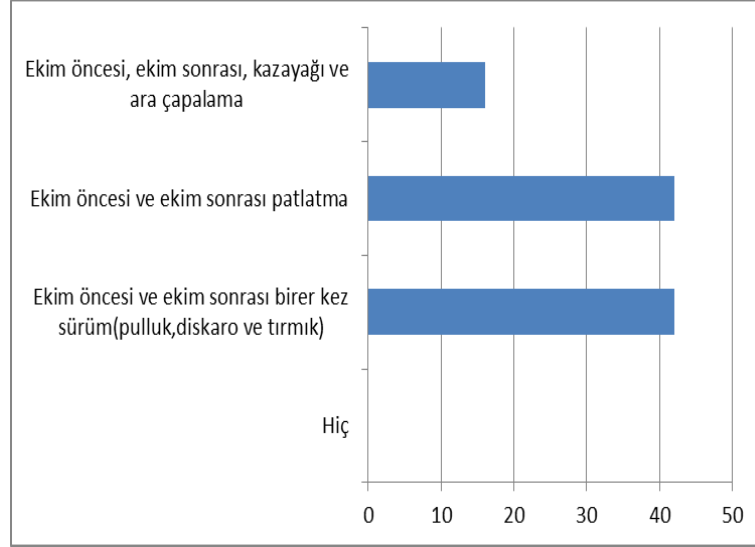
Toprak hazırlığı sırasında, üst katmandaki verimli toprağın işlem sırasında erozyon ile kaybedilmemesi için çiftçilerin son derece dikkatli davranması gerekmektedir. Toprak yapısını bozacak şekilde, aşırı, zamansız, uygun olmayan ekipman ile toprak işlemeden kaçınmalıdırlar. Toprağın yoğun olarak işlenmesi ve bitki artıklarının yakılması veya topraktan uzaklaştırılması toprağın sıkışmasına ve erozyona neden olmaktadır [19]. Mısırın bir çapa bitkisi olması avantajı ile yabancı ot kontrolü de sağlanmaktadır. Aynı zamanda toprağın havalanması sağlanarak su girişini kolaylaştırır.

Tablo 2. Sakarya ilindeki mısır tarlalarında kullanılan tarımsal aletler

Mısırdaki kullanılan tarımsal aletler	Oran (%)
Pulluk	100
Diskaro	96
Kazayağı (Kültivatör)	72
Freze	54
Diğer (murdane vb)	42

Mısır üreticilerinin tarlalarında yaptıkları mekanik uygulamalar genel olarak değerlendirildiğinde; üreticilerin % 42'sinin pulluk, diskaro ve tırmık ile ekim öncesi ve ekim sonrası birer kez sürüm ve yine % 42'sinin ekim öncesi ve ekim sonrası patlatma yaptıkları, % 16'sının ise ekim öncesi kazayağı ve ekim sonrası, ara çapalama yaptıkları belirlenmiştir (Şekil 3). Mısır tohumlarının çimlenebilmesi ve gelişebilmesi için toprak sıcaklığının 13 dereceden yüksek olması gerekmektedir [20]. Sakarya ili mısır üreticileri, tohum ekimine Nisan ayının ikinci haftasında başlamaktadır. Tohum ekiminden bir ay önce ise toprak hazırlığına başlamaktadırlar. Toprak hazırlığı, geleneksel toprak işleme (kültivatör+

diskli tırmık+ ekim makinası + kulaklı pulluk) metodu ile yapılmaktadır. Mart ayında kültivatör ile toprak iŐlenmekte, ekim öncesinde uygulanacak gübreler ve varsa herbisitler toprağa verilerek, tırmıkla düzeltilmektedir. Böylece, tarla ekim için hazır hale gelmiş olmaktadır. Geleneksel toprak işleme metodunda, mısır hasadından sonra kalan mısır sapları kulaklı pulluk ile derin sürüm yapılarak toprağın altına karıŐtırılmaktadır. Verimli toprak alt üst edilerek toprak erozyonuna neden olması, kullanılan makine ve ekipmanlar için gerekli iş gücü ve zaman gerektirmesi ve maliyetlerinin oldukça fazla olması, dezavantaj olsa da, yapılan birçok çalışmada geleneksel toprak işleme metodu ile hasat sonrası üreticilerinin yüksek verimi aldıkları belirlenmiştir [21, 22].



Şekil 3. Sakarya ilindeki mısır tarlalarında uygulanan mekanik işlemler

B.YABANCI OTLAR İLE İLGİLİ BULGULAR

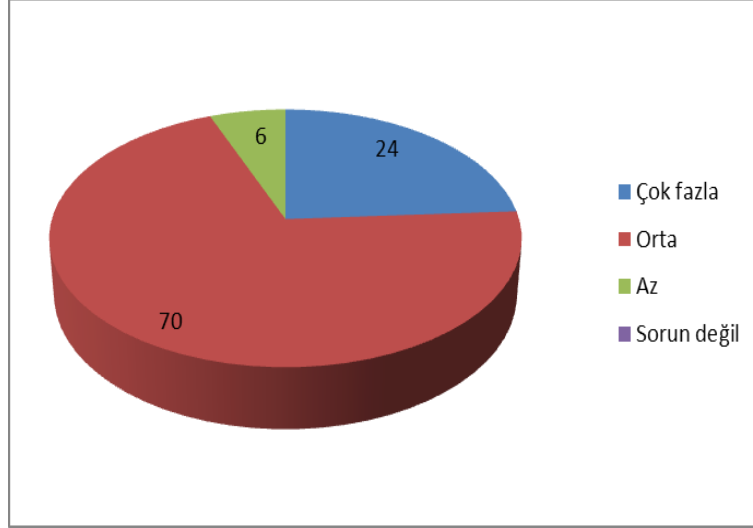
Yürütülen bu çalışma kapsamında, mısır tarlalarında sorun olan hastalık, böcek ve yabancı otların önem sırasına göre sıralanması istenmiŐtir. Yapılan değerlendirme sonuçlarına göre üreticilerin tarlalarında en fazla sorun olduğunu düşündükleri zararlıların sırasıyla; yabancı otlar, böcekler ve hastalıklar olduğu belirlenmiştir (Tablo 3). Aydın ilinde 2001-2003 yılları arasında yapılan çalışmada mısırın 3 – 10 yapraklı gelişim döneminde yabancı otlarla mücadele yapılmadığında verimin % 35 – 40 oranında düştüğü saptanmıştır. İlk  r n mısırdaki, yabancı otlarla mücadele edilmediği takdirde ilk yıl % 34, ikinci yıl % 40,  c nc  yılında ise birinci ürün mısırdaki % 65 oranında ve ardından ekilen ikinci ürün mısırdaki % 49 oranında verim kayıplarının olduğu bildirilmiştir [23, 24]. Bu nedenle mısır yetiştirilen alanlarda yabancı ot mücadelesinin üreticiler için son derece önemli olduğu ortaya çıkmaktadır.

Tablo 3. Mısır yetiştiriciliğinde bitki koruma etmenlerinin önem sırası

�nem sırası	1.sırada önemli	Oran (%)	2.sırada önemli	Oran (%)	3.sırada önemli	Oran (%)
Yabancı otlar	30	60	12	24	8	16
Böcekler	18	36	30	60	3	6
Hastalıklar	2	4	8	16	39	78

Mısır üreticilerinin, birçoğu yabancı ot ilaçları kullandıkları halde yabancı otlarla orta derecede sorun yaşadıklarını belirtmişlerdir. İlerdeki mısır üreticilerinin tarlalarında yabancı otların ne kadar sorun olduğu ile ilgili verdikleri cevaplar değerlendirildiğinde, üreticilerin çoğunluğunun (% 70) yabancı otları orta derecede, % 24'ünün çok fazla sorun olduğunu düşündükleri, % 6'sının ise sorun olarak

görmedikleri belirlenmiştir (Şekil 4). Yabancı otlar mısırın erken gelişme döneminde sorun olmaya başlamaktadır ve hasat edilene kadar mısır bitkisine zarar vermeye devam etmektedir. Yabancı ot türleri üründe değer ve verim kaybına neden olduğu için orta veya fazla düzeyde mısır tarlalarında sorun olmaktadır [25]. Samsun'da 2006 yılında yapılan kritik periyod çalışmalarında mısırın çıkışından itibaren ilk 6 haftanın yabancı otsuz olarak tutulmasının çok önemli olduğu belirlenmiştir [26].



Şekil 4. Mısır yetiştiriciliğinde yabancı otların sorun olma dereceleri

Anket çalışmasının cevaplarına göre mısır tarlalarında sorun olan en önemli yabancı ot türlerinin % 40 ve % 32 oranları ile *Sorghum halepense* (L.) P. (Kanyaş) ve *Echinochloa crus-galli* (L.) P. B. (Darıcan) olduğu belirlenmiştir (Tablo 4). Elde edilen veriler değerlendirildiğinde, sorun olan türlerin daha çok dar yapraklı türler olduğu anlaşılmaktadır. Sakarya ili mısır tarlalarında en fazla sorun olduğu bildirilen darıcan ve kanyaş türleri, farklı araştırmacılar tarafından ülkemizin Akdeniz, Karadeniz ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde yürütülen çalışmalar sonucunda da mısır tarlalarında en yaygın ve yoğun türler arasında yer almıştır [15, 27, 28].

Tablo 4. Sakarya ili mısır tarlalarında sorun olan yabancı otlar

Latince adı	Türkçe adı	Oran (%)
<i>Sorghum halepense</i> (L.) Pers.	Kanyaş	40
<i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) P.B.	Darıcan	32
<i>Elymus repens</i> (L.) Gould	Ayrık	14
<i>Xanthium strumarium</i> (L.)	Domuz pıtrağı	8
<i>Solanum nigrum</i> (L.)	İt üzümü	4
<i>Paspalum paspalodes</i> (Michx.) Schrib	Su ayrığı	2

Mücadelede önemli olan şartlardan biri de, tarlada bulunan yabancı otların doğru teşhis edilmesidir. Yapılan çalışmada yabancı otlar ile ilgili olarak üreticilerin % 86'sı mücadele konusunda sorun yaşamadığını belirtmişlerdir. Bazı üreticilerin mücadelede sorun yaşadıkları yabancı ot türleri; Köygöçüren (*Cirsium arvense* (L.) Scop.), Ayrık (*Elymus repens* (L.) Gould), Kanyaş (*Sorghum halepense* (L.) Pers.) ve Darıcan (*Echinochloa crus-galli* (L.) Bieb.) olduğu ifade edilmiştir (Tablo 5). Şanlıurfa ilinde 2018 yılında mısır tarlalarında yabancı otların yaygınlık ve yoğunluklarının araştırıldığı benzer bir çalışma sonucunda % 46 ile darıcan, % 39 ile kanyaş, % 15 ile diğerleri en yaygın olan türler arasında bulunmuştur [15]. Diyarbakır ilinde 2017 yılında yapılan benzer anket çalışmasında mısır tarlalarında en çok sorun olan yabancı otlar arasında, darıcan % 16 oranı ile yer

almıştır [29]. Darıcan haricinde sorun olan yabancı otların tümü yürütülen çalışmada sorun olan türlerden farklıdır. Farklı iklim koşulları ve toprak yapısı, tercih edilen sulama sistemi, seçilen çeşit, münavebe bitkileri bu farklılığın oluşmasında önemli etkenlerdir. Diyarbakır'da münavebe bitkisi olarak ekilen pamuk ve buğday Sakarya'da ekilememektedir. Sakarya ili mısır üreticisi ekim nöbeti uygulayamamaktadır. Mısır tohum ekiminin nisan-mayıs aylarında, hasadın ise eylül-ekim aylarında olmasından dolayı üreticiler, kısa sürede yetiştirilecek ürün için uygun toprak yapısını ve iklim koşullarını bulamamaktadırlar. Ancak 2019 yılından sonra Tarım ve Orman Bakanlığınca uygulanmaya başlayan tarımsal teşvikler, üreticilerin monokültür üretimi değiştirecekleri şekilde planlandığından, mısır üreticileri iki yıldan sonra mutlaka üçüncü yıl farklı kültür bitkisi ekmek zorunda kalacaktır.

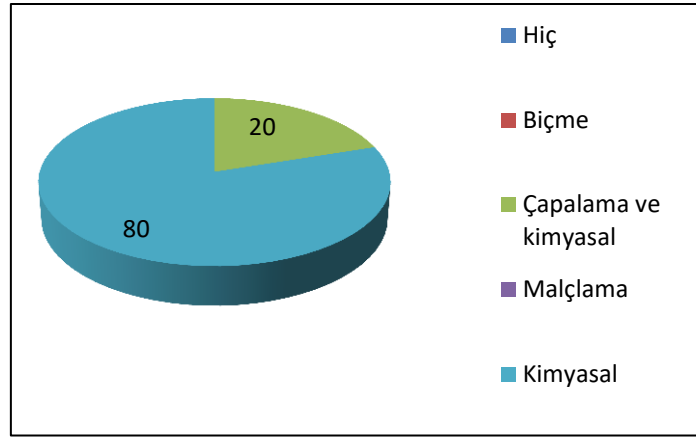
Tablo 5. Sakarya ili mısır üreticilerinin mücadelede sorun yaşadığı yabancı ot türleri

Latince adı	Türkçe adı	Oran (%)
<i>Cirsium arvense</i> (L.) Scop.	Köygöçüren	4
<i>Elymus repens</i> (L.) Gould	Ayrık	4
<i>Sorghum halepense</i> (L.) Pers.	Kanyaş	4
<i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) Bieb.	Darıcan	2

C. YABANCI OT MÜCADELE YÖNTEMLERİ İLE İLGİLİ BULGULAR

Sakarya'da mısır tarlalarında sorun olan yabancı otlara karşı, üreticilerin uyguladıkları yöntemler Şekil 5'te sunulmuştur. Elde edilen bulgulara göre üreticilerin % 80'i sadece kimyasal mücadele uygularken % 20'si kimyasal ile birlikte çapalama uyguladıklarını bildirmişlerdir. Üreticiler, yabancı otlarla mücadelede en fazla herbisit uygulamayı tercih etmektedirler. Bunun nedenleri; ekonomik olması, kolay ulaşılabilmesi, işgücünün daha az olması, kısa sürede etki etmesi, şeklinde sıralanabilir. Kimyasallarla yabancı ot mücadelesinde, yüksek etkinlik söz konusudur. Kısa zamanda etki göstermesi, bilinçli ve kontrollü uygulamayla ilişkilidir. Kimyasal herbisit kullanımı üretici nezdinde daha ekonomiktir [30]. Ancak sadece kimyasallara bağlı mücadelelerin uzun dönemde çıkarabileceği çeşitli sorunlardan dolayı, mısır üretiminde sürdürülebilir yabancı ot mücadelesi için ekim nöbeti gibi alternatif yöntemlerin uygulaması gerekmektedir. Kültür bitkisi ile rekabete giren yabancı otların mücadelesinde ve ekonomik olarak girdi maliyetlerinin azaltılmasında en kolay yabancı ot kontrolü ürün rotasyonu ile sağlanmaktadır [31].

Çok yıllık yabancı otların toprakta bulunan kök, rizom ve yumru gibi vejetatif organları temizlenmeli ve tarladan uzaklaştırılmalıdır. Mısırdan sonra mutlaka ekim nöbeti yapılmalıdır. Bunların yanında çapalama ile toprağın özellikleri de dengelenmelidir. Birkaç defa çapalama yapılması yabancı otları yok etmekte ve toprağın havalanmasını sağlamaktadır. Çapalama yapılırken mısırların köklerinin zarar görmemesine ve üzerlerinin toprakla kapanmamasına dikkat edilmelidir [32]. Üreticilerin her yıl aynı ürünü ekmemesi adına, Tarım ve Orman Bakanlığınca üçüncü yılda aynı ürünü eken üreticilere destekleme ödemeleri yapılmamaktadır [33].



Şekil 5. Sakarya ili mısır tarlalarında yabancı otlara karşı uygulanan mücadele yöntemleri

Çalışma alanımızdaki mısır tarlalarında uygulanan herbisitlerin etkili maddeleri kıyaslandığında, üreticilerin en fazla kullandıkları aktif maddelerin sırasıyla: nicosulfuron (% 62), nicosulfuron ve tritosulfuron + dicamba (% 62), dimethenamid-P (% 18), isoxaflutole + thiencazone-methyl + cyprosulfamide (% 14) olduğu belirlenmiştir (Tablo 6). 2016 yılında Diyarbakır ilinde yapılan benzer bir çalışmada mısır tarlalarında yabancı otlara karşı kullanılan herbisitlerin % 29'u tritosulfuron+dicamba ve Nicosulfuron, % 15'i mesotrione+nicosulfuron, % 3'ü dimethenamid-P etken maddeleri olarak belirlenmiştir [29]. Mısırdaki kullanılan herbisitler çıkış öncesi ve çıkış sonrası olmak üzere iki dönemde yapılmaktadır. Çıkış öncesinde herbisit, tohum ekiminden sonraki ilk beş gün içinde uygulanmalı, çıkış sonrasında ise mısır boyu en fazla 20-30 cm iken mısır üstüne ilaçlama yapılmalıdır. Sakarya ilinde yapılan bu çalışmada üreticilerin en çok çıkış sonrası herbisit kullandığı belirlenmiştir. Mısır gelişiminin ilk iki aylık döneminde yağmur yağmaması durumunda etkisi azaldığı bilinmekte olan çıkış öncesi herbisitlerin üreticilerce tercihi de düşük olmaktadır.

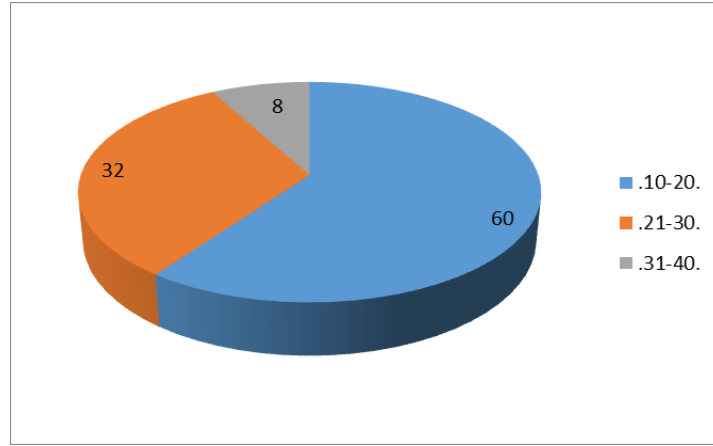
Mısırdaki kullanılan çıkış sonrası herbisitlerin, çıkış öncesinde kullanılanlara oranla daha çok tercih edilmesi ve bu tercihin gün geçtikçe daha da artmasının nedeni, çıkış öncesi uygulanan herbisitlerin, düşük yağışlı geçen hava koşullarında etkisinin düşük olması ve çıkış sonrası herbisitlere nazaran risk oluşturabilmesidir [34].

Tablo 6. Sakarya ili üreticilerinin mısır tarlalarında uyguladıkları herbisitler ile ilgili bilgiler

Mısırdaki kullanılan herbisitler	Etki Sitesi [35, 36]	Oran (%)
Tritosulfuron + Dicamba	ACCCase (2, B), Auxin benzeri (4, O)	62
Nicosulfuron	ACCCase (2, B)	62
Dimethenamid-P	Mitoz bölünme (15, K3)	18
Isaxaflutole + Thiencazone-methyl + Cyprosulfamide	HPPD (27, F2), ACCCase (2,B), Sınıflandırılmamış (NC)	14
Dimethenamid-P +Terbutylazine	Mitoz bölünme (15, K3), Fotosentez PS II (5, C1)	4
Mesotrione + Nicosulfuron	HPPD (27, F2), ACCCase (2, B)	2

Sakarya ili mısır üreticilerinin tercih ettikleri herbisitlerin fiyat aralıkları değerlendirildiğinde, fiyatın çoğunlukla (% 60) 10-20 TL/kg arasından olduğu ortaya çıkmıştır (Şekil 6). Dünya'da tarım ilacı kullanımı yaklaşık 4 milyon ton olarak belirtilmektedir [37]. Dünyadaki pestisit kullanımında herbisitler % 47'lik oran ile ilk sırada yer almaktadır. İnsektisitler bu dağılımın % 29'unu, fungusitler ise % 19'unu oluşturmaktadır [37, 38].

Türkiye’de ise tarım ilaçlarının tüketim ortalaması 33.000 tondur. Bu miktarın %47’sini insektisitler, % 24’ünü herbisitler, % 16’sını fungusitler, % 13’ünü de diğer gruplar oluşturmaktadır. Maliyet açısından bakıldığında kimyasal mücadele avantajlı olsa da kontrollü ve doğru şekilde uygulanmalıdır [39-41]. Türkiye’de birim alanda kullanılan pestisitler hektara yaklaşık 2 kg iken, dünyada kullanılan pestisit miktarı hektara yaklaşık 5 kg olduğu bilinmektedir [42]. Türkiye’de 2020 yılında toplam 13.250 ton herbisit kullanılmıştır [43].



Şekil 6. Sakarya ili üreticilerinin tercih ettikleri herbisitlerin fiyat aralığı

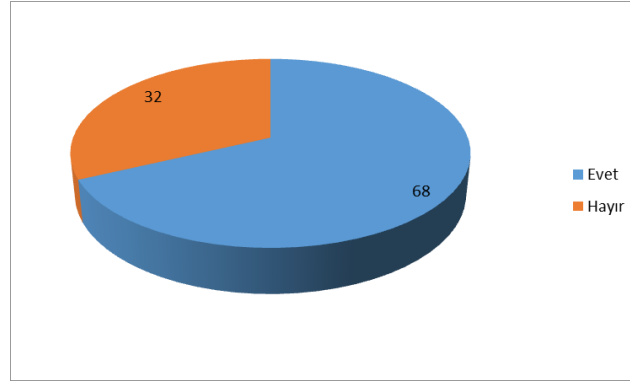
Bilindiği üzere, ruhsatlı pestisitlerin Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından tavsiye edilen dozlarda uygulanması gerekmektedir. Sakarya ilinde yapılan bu çalışma sonucunda, ildeki mısır üreticileri tarafından tavsiye dozunda uygulanmayan herbisitlerin etkili maddeleri nicosulfuron, tritosulfuron+dicamba, mesotrione+nicosulfuron, dimethenamid-P, olarak belirlenmiştir. Bu etkili maddeler içerisinde özellikle % 66 oranıyla nicosulfuron ve tritosulfuron + dicamba, yanlış doz uygulanan etkili maddelerin başında gelmektedir (Tablo 7). Herbisitlerin yüksek ya da düşük dozda kullanılması sebebiyle çeşitli sorunlar ortaya çıkabilmektedir.

Adana ilinde 2019 yılında yapılan bir çalışmada ekim öncesi uygulanan Dimethenamid-P etken maddeli herbisitlerin farklı uygulama dozlarının çimlenme, büyüme ve fitotoksisite bakımından etkileri araştırılmıştır. Dimethenamid-P etken maddeli herbisit uygulandığında normalin üç katı dozda mısırın % 10’unda, 4 katı dozda ise % 35’inde fitotoksik etki yaptığını belirlemişlerdir [25]. Yapılan araştırmalarda, Çukurova bölgesinde çiftçilerin yaklaşık % 2’sinin, Mersin yöresinde yaklaşık % 16’sının, Konya yöresinde ise yaklaşık % 9’unun pestisit etiketi üzerinde önerilen doza uydukları belirlenmiştir [44-46].

Tablo 7. Sakarya ili mısır üreticilerinin herbisitleri tavsiye dozunda uygulama durumları

Dozunda kullanılmayan herbisitlerin etkili maddesi	Oran (%)	Düşük veya yüksek kullanılma durumu	Bakanlık Tavsiye Dozu	Uygulama Dozu
Nicosulfuron	66	Düşük	125 ml	100 ml
Tritosulfuron + Dicamba	66	Düşük	25 gr	20 gr
Yok	30			
Dimethenamid-P + Terbutylazine	2	Yüksek	300 ml	333 ml
Dimethenamid	2	Yüksek	80 ml	100 ml

Mısırdaki çıkış sonrası kullanılan herbisitlerin tavsiye dönemi, mısırın 4 - 6 yapraklı olduğu ve yabancı otların da 2 - 4 yapraklı olduğu zamandır. Mısırdaki kullanılan çıkış sonrası herbisitlerin çoğu mısırın bir iki yapraklı döneminde fitotoksik etki göstermektedir. Bu nedenle tavsiye dönemine uyulması son derece önemlidir. Yapılan anket değerlendirmeleri sonucunda, herbisitlerin % 68 oranında tavsiye döneminde uygulandığı belirlenmiştir (Şekil 7). Üreticilerin % 32'sinin tavsiye dönemine uymuyor olması herbisit etkinliği açısından önemli bir konudur. Herbisitlerin tavsiye döneminden önce ve sonra uygulanması yabancı otlara etkisizlik ve kültür bitkisine fitotoksikite sorunlarına sebep olabilmektedir. Yabancı otlara karşı kullanılan aynı etki mekanizmasına sahip herbisitlerin üst üste kullanılması sonucu oluşan herbisit dayanıklılığı, özellikle yetiştiriciliği yoğun şekilde yapılan kültür bitkilerinde ana zararlı yabancı otlarda daha fazla sorun olmaktadır. Yabancı otlarla mücadele amaçlı kullanılan herbisitlerin zamanla dayanıklılık kazanacağını ilk kez Harper 1956 yılında ortaya koymuştur [8, 47]. Yabancı otlarla mücadelede, kimyasal mücadele yöntemlerinin tercih edilmesindeki en büyük etken, uygulama kolaylığı ve mısırın farklı fenolojik dönemlerinde uygulanabilir olmasıdır. Bu kolaylıkların yanında tavsiye döneminde ve dozunda uygulanmayan herbisitlere karşı, yabancı otlar dayanıklılık kazanabilmektedir. Bu nedenle uygulama dozu kadar kültür bitkisine yabancı ot fenolojisine ait uygulama dönemi de son derece önemlidir [8].



Şekil 7. Sakarya ili mısır üreticilerinin herbisitleri tavsiye döneminde uygulama durumu

Uygulama hatalarından kaynaklı üreticiler tarafından kullanılan pestisitlerde çeşitli memnuniyetsizlikler ve şikâyetler bildirilmektedir. Bu konu ile ilgili üreticilerle yapılan görüşmeler sonucunda üreticilerin %94'ünün bu tür bir sorun yaşamadığı, % 6'sının isaxafutole + thiencazone-methyl + cyprosulamide etken maddeli herbisitler, % 2'sinin ise nicosulfuron etken maddeli herbisitler ile ilgili memnuniyetsizlik yaşadıklarını bildirmişlerdir (Tablo 8). Üreticilerin çoğu anket sırasında birden fazla herbisit uygulaması yaptığını söylediği % 70'i herbisitleri tavsiye edilen dozda kullanmadıkları ve % 32'si ise tavsiye döneminde uygulamadıkları herbisitlerin etkili olduğunu düşünmektedir. Bu nedenle, kullanılan herbisitler ile ilgili üreticinin bildirdiğinden daha fazla oranda etkisizlik sorunu olabileceği düşünülmektedir.

Bitki koruma bayilerine göre Konya yöresindeki üreticilerin % 53'ü ilaçların etkisiz olduğunu düşünmektedir [46]. Antalya yöresindeki üreticileri % 53'ünün tarımsal ilaçların etkisizliği ile ilgili bitki koruma bayilerine şikâyette bulduklarını bildirilmiştir [48].

Tablo 8. Sakarya ili mısır üreticilerinin etkisizlik olduğu düşündükleri herbisitler

Etkisizlik olduğu düşünülen etken maddeler	Oran (%)
Yok	94
Isaxoflutole + Thiencazone-methyl + Cryposufamide	6
Nicosulfuron	2

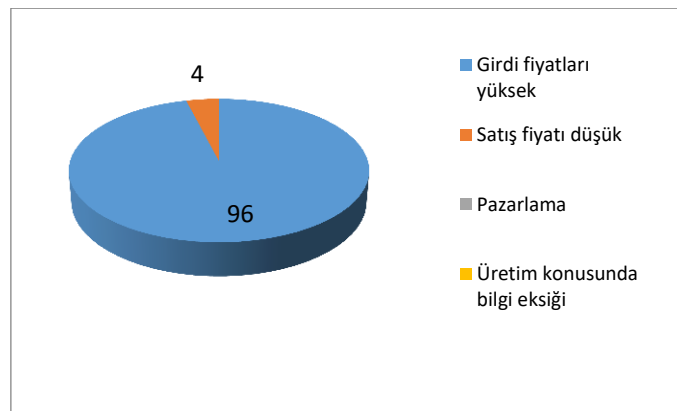
Üreticilerin herbisit tercihindeki öncelikleri ile ilgili yapılan değerlendirme sonucunda çoğu üreticinin (% 72) Ziraat Mühendisleri veya Ziraat konusunda görev yapan teknik personelin tavsiyesine göre uygulayacakları herbisitlere karar verdikleri belirlenmiştir. Diğer üreticilerin ise % 22 oranında fiyatı ne olursa olsun etkili olduğuna inandıkları herbisitleri tercih ettikleri, % 4 oranında bir tanıdığına tavsiyesini dikkate aldıkları, %2'sinin ise ekonomik herbisitleri aldıkları saptanmıştır (Şekil 8). Elde edilen bulgulara benzer olarak, Trakya bölgesinde 383 üretici ile yapılan anket çalışması sonucunda tarımsal ilaç kullanımında üreticilerin yaklaşık, % 47'sinin Ziraat Mühendislerine danıştıkları, ardından % 30'unun kendi tecrübelerine göre karar verdikleri, % 14'ünün firma ve kooperatifleri, % 9'unun ise arkadaşlarının verecekleri bilgilere başvurmayı tercih ettikleri belirlenmiştir [49].

Güneydoğu Anadolu Bölgesinde mısır tarlalarındaki yabancı ot kontrolü ile ilgili yapılan diğer bir anket çalışmasında herbisit seçiminde üreticilerin % 41'inin fiyatına, % 29'unun yabancı ot türlerine, % 18'inin yağış durumuna, % 12'sinin ise münavebe bitkisine bakarak tercih yaptıkları belirlenmiştir [29].



Şekil 8. Sakarya ili mısır üreticilerinin herbisit tercihindeki öncelikleri

Üreticilerin Bitki Koruma etmenleri dışındaki diğer sorunları ile ilgili olarak üreticilerin neredeyse tamamı (% 96) girdi (gübre, tohum, motorin, zirai mücadele ilaçları, alet ekipman vb.) fiyatlarının yüksek olmasını en önemli sorunları, olarak gördüklerini bildirmiştir. Diğer üreticiler ise ürün satış fiyatının düşük olduğunu bildirmişlerdir (Şekil 9). Tarımda gübre, ilaç, tohumluk, yem, akaryakıt ve diğer tarımsal ürünler çiftçilerin giderlerini belirleyen unsurlardır. Türkiye'de tarım politikalarının tamamının temel hedefleri arasında tarımsal üretimi arttırmak, girdi kullanımlarını azaltmak, kendine yeterlilik, çevreye duyarlılık, tarımsal kalkınma ve üretici gelirlerinin yükseltilmesi vb. hususlar yer almaktadır [50].



Şekil 9. Sakarya ili mısır üreticilerinin bitki koruma etmenleri dışındaki önemli sorunlar

Üreticiler bazı yıllarda sattıkları mısır fiyatlarının girdi fiyatlarından düşük kaldığını belirtmektedir ve emeklerinin karşılığını yeterince alamadıklarını düşünmektedirler. Mevcut sorunların azaltılması ve üretimin sürdürülebilirliği için, üreticiler Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından daha fazla destek ödemeleri yapılmasını ve devlet tarafından ürünlerine alım garantisi sağlanmasını arzu etmektedir.

IV. SONUÇ

Sakarya ilinde mısır üreticileri ile yapılan anket çalışması sonucunda, mısır yetiştiriciliğinde yabancı otlar ile ilgili yaşadıkları sorunlar ve bu sorunlar ile nasıl mücadele ettikleri hakkında önemli bilgiler edinilmiştir. Çalışma sonucunda, üreticilerin mücadelede sorun yaşadıkları yabancı otlar; kanyaş, darıcan, ayrık ve domuz pıtrağı olarak belirlenmiştir. Üreticilerin yabancı ot mücadelesinde öncelikli olarak tercih ettikleri herbisitlerden bazılarını tavsiye dozundan düşük ya da yüksek dozlarda uyguladıkları yani herbisit kullanımında yeterli bilince sahip olmadıkları tespit edilmiştir. Ayrıca üreticilerin girdi fiyatlarını yüksek buldukları belirlenmiştir. Üreticilerin % 70'inin bazı herbisitleri tavsiye dozundan daha düşük ya da yüksek dozlarda uyguladıkları, % 32'sinin ise tavsiye dönemine dikkat etmedikleri, yani sonuç olarak herbisit kullanımında yeterli bilince sahip olmadıkları tespit edilmiştir. Çoğu üreticinin (% 72) ziraat konusunda görev yapan teknik personelden danışmanlık alıyor olmasına rağmen herbisit uygulamaları konusunda yeterli bilgiye sahip olmamaları nedeniyle, üreticilerle birlikte teknik elemanların da bilinç düzeyleri artırılmalıdır. Üreticiler maliyet sorunlarını en aza indirebilmek için ekim nöbetini teşvik amacıyla, devlet destekli ürünleri ekmeyi tercih edebilirler. Rekabet gücü yüksek, yabancı otlardan daha hızlı gelişen kültür bitkileri seçilerek tek düze ekimde oluşan yabancı ot yoğunluğunun ve azalması sağlanabilir. Üreticilerin mutlaka Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından belirlenen dönemlerde mısır ekimine ara verip farklı ürünler yetiştirmelidirler. Yabancı otların kimyasal mücadelesinde doğru herbisitlerin seçimi başta olmak üzere pek çok konuya dikkat edilmesi gerekmektedir. Yabancı otlara dayanıklılığın oluşmaması veya geciktirilmemesi için aynı etki mekanizmasına sahip bitki koruma ürünlerinin arka arkaya kullanılmaması diğer önemli bir konudur. Üreticiler tarımsal üretim ile ilgili uygulamaları daha bilinçli yaptığı takdirde bu konuda yaşanan sorunların azalması kaçınılmazdır. Üreticilerin ihtiyaç duydukları konularda eğitimler verilerek üretim miktarının ve kalitesinin artması, ayrıca yanlış uygulamaların neden olduğu sorunların ortadan kaldırılması sağlanmalıdır.

V. KAYNAKLAR

- [1] Y. Kırtok, *Mısır Üretimi ve Kullanımı*, Kocaelik Basım ve Yayın Evi, 1998, ss. 125–129.
- [2] Toprak Mahsulleri Ofisi.(2020, 10 Aralık). *Hububat sektör raporu* [Online]. Erişim: <https://www.tmo.gov.tr/Upload/Document/sektorraporlari/hububat2019.pdf>
- [3] Türkiye İstatistik Kurumu. (2020, 10 Aralık). *Sakarya tarım alanı* [Online]. Erişim: <https://cip.tuik.gov.tr/#>
- [4] Türkiye İstatistik Kurumu. (2020, 3 Ocak). *Mısır üretim istatistikleri* [Online].Erişim:<https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=92&locale=tr>
- [5] R. Cengiz, “Türkiye’de kamu mısır araştırmaları,” *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, s. 25, ss. 304-310, 2016.
- [6] E.C. Oerke, and H.W. Dehne, “Safe guarding protection-lossesin majör crops and the role of crop protection,” *Institute for plant diseases, University of Bonn*, vol. 23, no. 4, pp. 275–285, 2004.

- [7] P.S.L. Silva, P.I.B.Silva, K.M.B. Silva, V.R. Oliveira and F.S.T. Pontes Filho, "Corn growth and yield in competition with weeds," *Planta daninha, Viçosa-MG*, v.29, n.4, p. 793-802, 2011.
- [8] Ç. Mengüç, "Yabancı otlarda herbisitlere dayanıklılık konusunda dünyadaki mevcut durum," *Ziraat Mühendisliği Dergisi*, s. 362, ss. 28-41, 2015.
- [9] IHRWD (International Herbicide Resistant Weed Database), (2021, 15 Eylül). Erişim: <http://weedsience.org/PAGes/filter.aspx>
- [10] C. Can, "İzmir ilinde mısır üreticilerinin tohum tercihleri üzerine bir araştırma," Yüksek lisans tezi, Tohumluk Bilimi ve Teknolojisi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ege Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 2017.
- [11] Z. Albayram Doğan, "Tarımsal amaçlı kooperatiflerde kooperatif – ortak ilişkilerini etkileyen faktörler üzerine bir araştırma: İzmir ili örneği," Doktora tezi, Tarım Ekonomisi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ege Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 2019.
- [12] D. Okay ve S. Yazgan, "Farklı su uygulama düzeylerinin mısır bitkisi verimi üzerine etkisi," *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, c. 30, s.1, ss. 1–12, 2016.
- [13] C. Gençoğlan, "Kısıntılı su uygulamalarının mısır verimine ve su kullanım randımanına etkileri," *Tr. J. of Agriculture and Forestry*, c. 23, ss. 233–241, 1996.
- [14] Z. F. Arslan, A. Bilgili, A. Aksu Altun ve Ş. İpekçioğlu, "Şanlıurfa ili buğday, mısır, pamuk ve mercimek üretim alanlarındaki istilacı bitkilerin belirlenmesi ve mücadelesi," *Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü*, s. 84, 2017.
- [15] Z. F. Arslan, "Şanlıurfa ili mısır tarlalarında bulunan yabancı otların yaygınlık ve yoğunlukları ile mücadele sorunlarına çözüm önerileri," *Türk Tarım –Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 6, s. 10, ss. 1322 –1328, 2018.
- [16] B. Bükün ve F.N. Uygur, "The impact of irrigation on weed species composition and density in cotton plantations of Harran plain (Turkey)," *Proc.7th EWRS Mediteranean Symp*, 2003, pp. 143-144.
- [17] B. Bükün, "Weedflora changes in cotton growing area as during the last decade after irrigation of Harran plain in Şanlıurfa," *Pak J Bot*, vol. 37, no. 3, pp. 667-672, 2005.
- [18] H. Mennan and D. Işık, "Invasive weed species in onion production systems during the last 25 years in Amasya," *Pak. J. Bot.*, vol. 35, no. 2, pp. 155-160, 2003.
- [19] E. Aykas, E. Çakır ve H. Yalçın, "Koruyucu toprak işleme yöntemleri ve doğrudan ekim," *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, c. 42, s.3, ss. 195–205, 2005.
- [20] Tarımsal Araştırma ve Geliştirme Müdürlüğü. (2018, 03 Ocak). *Mısır entegre mücadele teknik talimatı* [Online]. Erişim: <https://www.tarimorman.gov.tr/TAGEM/Belgeler/Entegre/m%C4%B1s%C4%B1r%20entegre.pdf>
- [21] H. Yalçın, "Silajlık ikinci ürün mısır üretiminde uygun toprak işleme yöntemlerinin belirlenmesi üzerinde bir araştırma," Doktora tezi, Tarım Makineleri, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ege Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 1998.
- [22] E. Aykas and İ. Önal, "Effects of different tillage seeding and weed control methods on plant growth and wheat yield," *7. International Congress on Mechanization and Energy in Agriculture, Proceedings*, 1999, pp. 119-124.

- [23] M. N. Doğan, Ö. Boz, A. Ünay, ve F. Albay, “Aydın ili mısır ekim alanlarında sorun olan yabancı otların belirlenmesi ve yabancı otlarla mücadelede en uygun dönemin (kritik periyot) saptanması,” *Bilimsel Araştırma Projeleri Kurulu*, c. 1, s. 2002, 2004.
- [24] H. Can, “Türkiye’de mısır tarlalarında sorun olan yabancı otlar konusunda yürütülen çalışmalar,” Lisans diploma tezi, Bitki Koruma, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye, 2020.
- [25] T. Üstüner ve Ü. Diri, “Mısırdaki çıkış öncesi kullanılan bazı herbisitlerin mısır bitkisinin çimlenmesi ve gelişimi üzerine etkileri,” *Turkish Journal of Weed Science*, c. 22, s. 1, ss. 53–66, 2019.
- [26] D. Işık, H. Mennan, B. Bukun, A. Oz and M. Ngouajio, “ The critical period for weed control in corn in Turkey,” *Weed Technology*, vol. 20, no.4, pp.867-872, 2006.
- [27] M. Güngör, “Adana ili mısır ekim alanlarında yabancı otlara karşı uygulanan kimyasal mücadelenin önemi ve ortaya çıkan sorunların araştırılması,” Yüksek lisans tezi, Bitki Koruma, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye, 2005.
- [28] D. Işık, M. Dok, E.K. Altop ve H. Mennan, “Mısır yetiştiriciliğinde erken toprak işleme ve Glyphosate’nin çıkış öncesi ve çıkış sonrası yabancı ot mücadele yöntemleri ile birlikte kullanılabilirliğinin araştırılması,” *Tarım Bilimleri Dergisi*, s. 21, ss. 596–605, 2015.
- [29] F. Pala ve H. Mennan, “Diyarbakır’da mısır çiftçileri ile anket yaparak mevcut yabancı ot kontrolünün belirlenmesi,” *İç Anadolu Bölgesi 3. Tarım ve Gıda Kongresi Cumhuriyet Üniversitesi*, 2017.
- [30] M. A. De Waard, S. G. Georgopoulos, D. W. Hollaman, H. Ishii, H. Leroux, P. N.N. Ragsdale and F.J. Schwinin, “Chemical control of plant diseases: problem and prospects,” *Annu. Rev. Phytopathol.*, vol. 31, pp. 403-421, 1993.
- [31] M. Liebman and E. R. Gallandt, “Many little hammers: ecological management of crop–weed interactions,” *In: Jackson LE. (eds.) Ecology in Agriculture*. San Diego, CA: Academic Press. pp. 291–343, 1997.
- [32] Tarım ve Orman Bakanlığı.(2020,10 Aralık).*Mısır hastalık ve zararlıları ile mücadele* Erişim:https://www.tarimorman.gov.tr/GKGM/Belgeler/Uretici_Bilgi_Kosesi/Dokumanlar/misir.pdf
- [33] Tarım ve Orman Bakanlığı. (2020, 10 Ocak). *Bitkisel üretimde destekleme ödemesi yapılmasına dair tebliğ (Tebliği No:2019/46)*. [Online]. Erişim: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2019/11/20191109-2.htm>.
- [34] P. Berzsenyi, B. Bonisand, T. Arendas, “Investigations about the effects of some factors influencing the efficacy of postemergence weed control in maize (*Zea mays* L.),” *Dang Quoc Lap, Agricultural Research Institute of The Hungarian Academy of Sciences*, 9th EWRS Syposium Budapest, 1995, pp. 257–264,
- [35] HRAC (Herbicide Resistance Action Committe), (2021,15 Eylül). HRAC MOA 2020 Revision Description and Master herbicide List. (Online). Erişim: <http://hracglobal.com/tools/hrac-moa-2020-revision-description-and-master-herbicide-list>
- [36] WSSA (WeedScience Society of America) (2021, 15 Eylül). WSSA-Herbicide Site of Action (SOA) Classification List(last modified:5/5/2021). Erişim: <https://wssa.net/wssa/weed/herbicides/>

- [37] S. Dağ, “Türkiye’de tarım ilaçları endüstrisi ve geleceği,” *V. Türkiye Ziraat Mühendisliği Teknik Kongresi Bildirileri*, 2000, ss. 933–958.
- [38] A. De, R. Bose, A. Kumar and S. Mozumdar, “Targeted delivery of pesticide using bio degradable polymeric nano particles,” 1st ed. New Delhi, India: Springer New Delhi, 2014, ch. 12, pp. 99.
- [39] M. S. Turabi, “*Bitki Koruma Ürünlerinin Ruhsatlandırılması*,” Tarım İlaçları Kongre ve Sergisi, TMMOB Zir. Müh. Odası ve TMMOB Kimya Müh Odası, Bildiriler Kitabı, 2007.ss. 50-61.
- [40] E. Durmuşoğlu, O. Tiryaki ve R. Canhilal, “Türkiye’de Pestisit Kullanımı, Kalıntı ve Dayanıklılık Sorunları,” *VII. Türkiye Ziraat Mühendisliği Teknik Kongresi, TMMOB Ziraat Mühendisleri Odası Bildiriler Kitabı*, 2010, c. 2, ss.589–60.
- [41] O. Tiryaki, R. Canhilal ve S. Horuz, “Tarım ilaçları kullanımı ve riskleri,” *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 26, s. 2, ss. 154–169, 2010.
- [42] S. Arslan ve Z. Çiçekgil, “Türkiye’de tarım ilacı kullanım durumu ve kullanım öngörüsü,” *Tarım Ekonomisi Araştırmaları Dergisi*, c. 4, s. 1, ss. 1–12, 2018.
- [43] Türkiye İstatistik Kurumu. (2021, 01 Eylül). *Tarımsal ilaç kullanımı*, [Online]. Erişim: <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=Tarim-111>
- [44] İ. Üremiş, Ş. Karaat, O. Gönen, E. Canhoş, H. Kütük, U. Ekmekçi, V. Çetin, M. Aytaş ve İ. Kadioğlu, “Çukurova Bölgesinde Zirai İlaç Kullanımının Genel Değerlendirmesi,” *II. Ulusal Zirai Mücadele İlaçları Sempozyumu*, 1996, ss. 73-79.
- [45] O. Zeren ve H. Kumbur, “İçel ilinde tarımsal ilaç pazarlama kullanım tekniği ve etkinliği üzerine araştırmalar,” *Türk-Koop. Ekin Dergisi*, c. 2, s. 5, ss. 62-68, 1998.
- [46] H. İnan ve N. Boyraz, “Konya çiftçisinin tarım ilacı kullanımının genel olarak değerlendirilmesi,” *Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, c. 16, s.30, ss. 88–101, 2002.
- [47] I. Heap, “International survey of herbicide-resistant weeds, the occurrence of herbicide resistant weeds by country,” P.o. Box 1365, Corvallis, OR, 97339 HRAC.2000.
- [48] F. Yiğit, “Antalya ilinde zirai ilaç bayilerinin genel durumları ve çiftçi ile olan ilişkilerinin araştırılması,” *Türk-Koop. Ekin*, c. 5, s. 15, ss. 90-96, 2001.
- [49] B. Aydın, G. Unakıtan, H. Hurma, Ö. Azabağaoğlu, C. Demirkol ve F. Yılmaz, “Bitkisel üretimde çiftçilerin girdi kullanım kararlarının analizi,” *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, c. 30, s. 2, ss. 45–56, 2016.
- [50] Y. Nogay, “Mısır tohumluğu pazar araştırması ve üreticilerin mısır tohumluğu tercihlerini etkileyen faktörler: Sakarya ili örneği,” Yüksek lisans tezi, Tarım Ekonomisi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ, Türkiye, 2019.



Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

Analysis of Deep Transfer Learning Methods for Early Diagnosis of the Covid-19 Disease with Chest X-ray Images

 Durmuş ÖZDEMİR ^{a,*},  Naciye Nur ARSLAN ^b

^a Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering, Kütaahya Dumlupınar University, Kütaahya, TURKEY

^b Department of Software Engineering, Faculty of Engineering, Kütaahya Dumlupınar University, Kütaahya, TURKEY

* Corresponding author's e-mail address: durmus.ozdemir@dpu.edu.tr

DOI:10.29130/dubited.976118

ABSTRACT

This study aimed to present an analysis of deep transfer learning models to support the early diagnosis of Covid-19 disease using X-ray images. For this purpose, the deep transfer learning models VGG-16, VGG-19, Inception V3 and Xception, which were successful in the ImageNet competition, were used to detect Covid-19 disease. Also, 280 chest x-ray images were used for the training data, and 140 chest x-ray images were used for the test data. As a result of the statistical analysis, the most successful model was Inception V3 (%92), the next successful model was Xception (%91), and the VGG-16 and VGG-19 models gave the same result (%88). The proposed deep learning model offers significant advantages in diagnosing covid-19 disease issues such as test costs, test accuracy rate, staff workload, and waiting time for test results.

Keywords: Biomedical informatics, Deep learning, Covid-19 diagnosis, Image classification

Göğüs Röntgeni Görüntüleri ile Covid-19 Hastalığının Erken Teşisine Yönelik Derin Transfer Öğrenme Yöntemlerinin Analizi

ÖZ

Bu çalışmada, X-ray görüntüleri kullanılarak Covid-19 hastalığının erken teşhisini belirlemek için derin transfer öğrenme modellerinin analizinin sunulması amaçlanmıştır. Bu amaçla ImageNet yarışmasında başarılı olan VGG-16, VGG-19, Inception V3 ve Xception derin transfer öğrenme modelleri Covid-19 hastalığının tespiti için kullanılmıştır. Ayrıca eğitim verileri için 280 göğüs röntgeni görüntüsü ve test verileri için 140 göğüs röntgeni görüntüsü kullanılmıştır. İstatistiksel analiz sonucunda en başarılı modelin Inception V3 (%92), sonraki başarılı modelin Xception (%91) olduğu ve VGG-16 ve VGG-19 modellerinin de aynı sonucu verdiği görülmüştür (%88). Covid-19 hastalığı teşhisi için önerilen derin öğrenme modelleri, test maliyetleri, test doğruluk oranı, personel iş yükü ve test sonuçları bekleme süresi gibi covid-19 hastalığı sorunlarının teşhisinde önemli avantajlar sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Biyomedikal bilişim, Derin öğrenme, Covid-19 teşhisi, Görüntü sınıflandırma

I. INTRODUCTION

One of the biggest global public health problems in humanity's history is Covid-19. In December 2019, many patients were admitted to hospitals with pre-diagnosed pneumonia of unknown origin in Wuhan, China. Covid-19 is one of humanity's most significant worldwide public health issues. The difference between this virus from other coronaviruses is that it can be disseminated and spread from person to person and infection factors are very high. In February 2020, World Health Organization (WHO) reported that a new type of coronavirus caused the disease and named this disease "2019 coronavirus disease"/Covid-19 [1]. Globally, as of 28 July 2021, there have been 194.608.040 confirmed cases of Covid-19, including 4.170.155 deaths, reported to WHO. Although the symptoms vary from person to person, in general, Fever (not all), cough, sore throat, fatigue, headache, myalgia, and breathlessness are common clinical characteristics [2].

MERS-CoV and SARS-CoV are expressed as types of other coronaviruses. The diagnosis for MERS-CoV and SARS-CoV included X-ray chest images and CT scans [3]. CT scan is an advanced x-ray machine that gives a clearer image of internal tissue and organs [4]. However, X-ray use is quicker, faster, more cost-effective, and less hazardous than CT. Therefore, it is appropriate to use X-Ray images in the diagnosis of Covid-19. Death and transmission can increase if Covid-19 pneumonia is not diagnosed and treated early [5]. Considering the economic, social, and public health effects of COVID-19, the pandemic should be prevented, and early diagnosis is vital in this regard.

The real-time polymerase chain reaction technique used to detect the Covid-19 virus is the most basic and standard method around the world [5]. PCR test is costly and gives results in 6-9 hours. Also, since it has less sensitivity, it has a high false-negative rate. Therefore, since the patients who are infected but not diagnosed cannot be identified, the transmission rate of the disease increases. However, the workload that falls on radiologists during the diagnosis of COVID-19 is generally high and moderate [6]. Therefore, to assist and enhance the efficiency of the radiologist, further technology-supported investigations are required. Furthermore, patient congestion and the heavy workloads of radiologists, which can increase exhaustion, affect diagnostic results [7].

Carulla et al. stated that due to the rapid increase in Covid-19 cases, the health ecosystem is insufficient for rapid response and effective treatment. This gap will be overcome with digital technologies [8]. In this study, X-Ray images are used for Covid-19 detection due to advantages such as Accessibility, Common Usage, Portability, and Rapid triage. Due to the reasons given above, images obtained from X-Ray devices are widely used to detect Covid-19 disease. For this reason, it is crucial to increase the accuracy of the diagnoses to be made by this method. Covid-19 CT images include indicators such as Ground-glass opacity (GGO), consolidation and crazy-paving pattern [9]. In the literature, crucial criteria and signs indicating COVID-19 disease from the images of X-ray devices are presented in Figure-1.

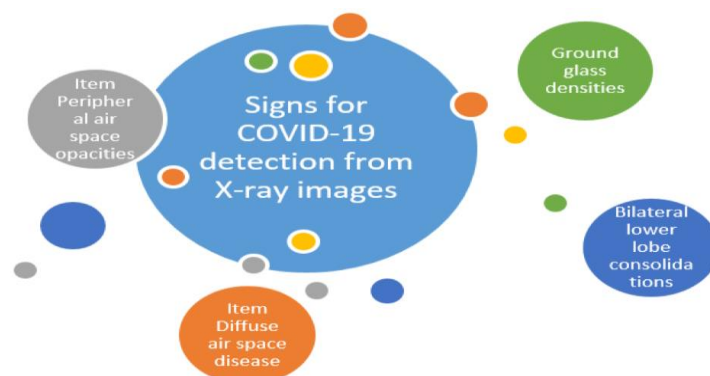


Figure 1. General Signs of Covid-19

Below in Figure 2 is a chest X-ray image of a 56-year-old patient who presented to the emergency room in Toronto, Canada, containing the above (Figure-1) signs.

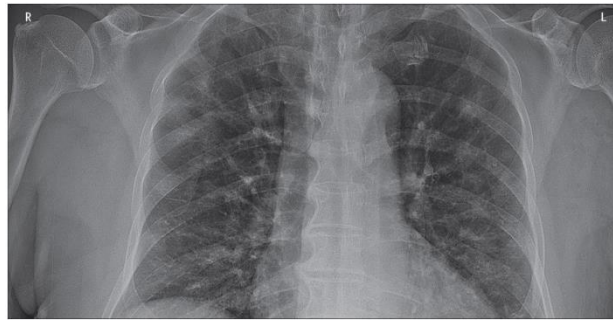


Figure 2. Covid-19 Patient Chest x-ray image [10]

Health systems' resources are typically limited and thus require technological improved precaution and policies that ensure optimal use of beds and cost of use [11]. Accordingly, the rapid spread of the pandemic has led researchers to develop fast and reliable computer or software aided methods [12]. Since the examination of chest X-ray images by radiologists takes time, it can be done with deep learning-based approaches that can speed up the analysis time [12]. The Artificial Intelligence academic area aims to pair grasp and construct intelligent assets and comprises both Machine Learning (ML) and its Deep Learning (DL) subfield [13]. DL is performed in a Deep Neural Network by algorithms architecturally constructed of artificial neurons and several data processing layers [14]. In the field of medical imaging, DL models held the best results in classifying and identifying objects. A few artificial intelligence systems focused on deep learning have been proposed for public health, especially convolutionary neural networks. The findings were very encouraging in terms of effectiveness in identifying COVID-19 contaminated clinicians using chest X-ray images [9,15].

Examining the studies conducted to diagnose COVID-19 disease, the patient's chest CT and X-ray images were used as a dataset, and generally, deep learning methods were used. Pathak et al. Used a deep transfer learning technique (ResNet-50) to classify patients diagnosed with COVID-19 using chest CT images in the research. They stated that the method suggested efficient results relative to other supervised learning models [16]. Brunese et al. used the VGG-16 deep learning model in their research to provide a completely automated and quick diagnostic when detecting COVID-19. They published their research from numerous institutions on 6,523 chest X-rays. The detection time for COVID-19 was found to be nearly 2.5 seconds and the accuracy rate to be 0.97 with the solution they suggested [17]. Ozturk et al., a model is proposed using the DarkNet-19 model-based real-time object classification system (YOLO) using raw chest X-ray images. In the study, 17 convolutional layers were applied to detect COVID-19, and different filtering was applied to each layer. The suggested approach was provided accurate tests for dual determination (COVID and No Evidence) and multi-class classification (No Evidence with COVID and Pneumonia) [5].

Panwar et al. obtained an accuracy rate of 97.62% for diagnosing the disease from the chest X-ray images of the patients with their CNN-based method, which they called nCOVnet [18]. Alakus and Turkoglu [19], Laboratory findings (Hematocrit, haemoglobin, platelets, etc.) from 600 patients were analyzed by deep learning methods, and an alternative COVID-19 prediction study was conducted to X-ray and CT images. In the study of [20], disease detection accuracy rates were compared with ResNet18, ResNet50, SqueezeNet, and DenseNet-121 deep learning models using a dataset consisting of chest X-ray images of COVID-19 patients. Khan et al. indicated that on their dataset, CoroNet was trained and evaluated. The experimental findings reveal that the suggested framework obtained an accuracy rate of 89.6 per cent. More specifically, 93 per cent and 98.2 per cent for 4-class cases are the accuracy and recall rate for COVID-19 cases (COVID vs Pneumonia bacterial vs pneumonia viral vs normal). The suggested model provided a categorization accuracy of 95 per cent for three-class grouping (COVID / Pneumonia / normal) [21].

When the studies in the literature are analyzed, the diagnosis of Covid-19 disease is usually made using a single CNN model or approach. Also, since the deep transfer learning method is not used in the studies, the number of data sets used and the time spent for training is higher. Therefore, the top four best performing CNN deep learning models that have proved themselves have been developed. Fine-tuning has been performed to provide comparative results to find Covid-19 disease with fast and high accuracy in our research. For this purpose, the accuracy rates for the detection of Covid-19 disease were determined by developed with fine-tuning VGG-16, VGG-19, Inception V3, and Xception from the deep learning models that were successful in the ImageNet competition. Also, this research used relatively fewer images for training compared to other studies in the literature, but despite this, successful results were obtained.

In this study, this analysis adjusted four separate pre-trained deep transfer learning models (VGG16, VGG19, InceptionV3, Xception) with fine-tuning. Using effective transfer learning and fine-tuning techniques, they retrained on publicly accessible 420 x-ray images with two classes (Covid-19, Normal). This paper proposes that deep learning be implemented such that it is possible to detect whether COVID-19 is present in X-ray images via transfer learning. This may be a suggestion or help to the radiologists that the X-ray areas of concern are localizing immediately.

This study is organized as follows: Section 2 information about the data set, deep learning models used, fine-tuning processes, and technical procedures are presented. Suggested Models and their processes are discussed in section 3. Experimental analysis and results are given in section 4. Finally, concluding comments and recommendations are presented in section 5.

II. METHODOLOGY AND TECHNICAL BACKGROUNDS

A. DATASET

The dataset features and source used in our research are as follows. The database, including chest X-ray images, consists of 2 classes labelled COVID-19 and Normal. 210 images of the COVID-19 labelled class were taken from the public repository shared by Dr Joseph Cohen [22]. 210 images belonging to the standard labelled class were taken from the Kaggle database, which is also available to the public [23]. 280 images are reserved for training and 140 images for testing. In Figure 3, representative chest X-ray images of normal (healthy) COVID-19 patients are given, respectively.

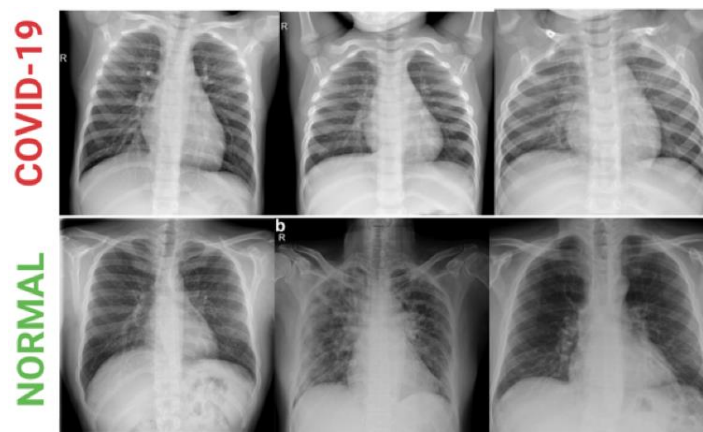


Figure 3. Example of X-ray images dataset of first-line Normal, second-line COVID-19 patients

B. DEEP LEARNING

Deep Learning (DL), which is the most common application area of Artificial Intelligence (AI) and known as one of its sub-branches, is vital with the opportunities it offers [24], [25]. Classical machine learning methods had some drawbacks, primarily being based on handmade features, restricting itself to the accuracy of the human level. However, handmade feature engineering is not mandatory in the case of DL, but features are extracted from the data during training instead [26]. Furthermore, with the innovative algorithms, the computational power of modern computers, and the availability of Big Data Clusters, DL can make more precise classifications and predictions. Based on Artificial Neural Networks (ANN), DL is examined under the concept of AI as a learning algorithm according to some sources and as a learning model according to others. There are various DL algorithms such as; CNN, Long Short Term Memory (LSTM), Recurrent Neural Networks (RNN), GAN, etc. After the success of a CNN-based model called AlexNet, many DL models are used, especially for computer vision tasks such as ZFNet, VGGNet, GoogLeNet, ResNet, DenseNet, etc. thrived [26]. The literature makes it possible to examine the similarities and differences of deep learning and artificial neural networks under three main headings: definition, structure, and architecture [27]. Neural Networks; It is a construct of Machine Learning (ML) algorithms in which artificial neurons form the core computational unit focused on uncovering key patterns or connections in a dataset, just as the human brain does when making decisions. Deep Learning, on the other hand, is a branch of ML that leverages a set of nonlinear processing units with multiple layers for Feature conversion and extraction. It has several different artificial neural network layers that perform the ML process [28]. The first layer of the neural network processes the raw data input and transmits the information to the second layer. The latter then processes this information further by adding additional information and transmits it to the next layer. This process continues in all layers of the Deep Learning network until the desired result is achieved. Neural networks are composed of Neurons, Connection and weights, Propagation function and Learning rate structures in terms of structure. Deep learning has a structure in which powerful hardware components come to the fore. Neural networks architecturally include Feed Forward Neural Networks, Recurrent Neural Networks, and Symmetrically Connected Neural Networks. The architecture of a Deep Learning model includes respectively Unsupervised Pre-trained Networks, Convolutional Neural Networks, Recurrent Neural Networks, and Recursive Neural Networks [29].

C. MODELS AND FINE-TUNING PROCESS

The transfer learning method in this study is used to train the dataset with a CNN [30]. Transfer learning is used to train a dataset containing new data with the information obtained based on the data extracted from CNN's data. Compared to conventional machine learning models, the DTL (Deep Transfer Learning) model is the solution because DL requires a large amount of training data. By choosing a fixed feature extractor or a pre-trained model for more fine-tuning, DTL significantly decreases training data and training time for a target area-specific mission [31].

Transfer learning helps retrain a model for classifying rare or emerging disease images. This is particularly true for models with a wide range of parameters for training based on deep neural networks [20]. Recently, major networks participating in the ImageNet Large-Scale Visual Recognition Challenge (ILSVRC) in medical fields have been used in image classification with transfer learning [32]. Determining the necessary fine-tuning techniques is the crucial point to mention in transfer learning. In this paper, the fine-tuning process, pre-trained networks, and the number of classes in the training dataset are presented in Section-3.

C. 1. VGGNet (VGG-16 and VGG-19)

The Visual Geometry Group Network (VGG), addressed by the Large Scale Visual Recognition Challenge (ILSVRC2014) in 2014, is a deep convolutional neural network developed by the Oxford Vision Geometry Group. The VGGNet has been trained in the ImageNet database from more than 14 million images and can divide images into 1000 different classes [33]. A mixture of five convolutional blocks (13 convolutionary layers) and completely connected layers of the structure is VGG-16. VGG-

19 uses 19 layers, plus five convolutional blocks (16 convolutional layers) and ultimately linked layers of the structure. In our research, both VGG-16 and VGG-19 models were used and compared with other models.

C. 2. Inception V3 Model

In 2014, the ImageNet large-scale object classification competition winner was the network architecture known as Inception or GoogleNet. It has 22 layers and consists of 9 inception modules. The different sizes of convolution and max pooling operations are included in each module [34]. In our research, due to the success of the InceptionV3 model in object classification competitions, the situation on Covid-19 X-ray images was analyzed and compared with other successful methods. A Covid-19 image size of 320 x 320 x 3 is required for the fine-tuned model input layer. After the average pooling layer, an aggregate average pooling layer is used. Two ultimately linked layers are applied to the model for the Covid-19 classification query, 512, 512 neurons, and an output layer based on the relevant Covid-19 dataset, respectively.

C. 3. Xception Model

The Xception model represents the Inception modules in coevolutionary neural networks as an intermediate phase between periodic convolution and the profoundly separable convolution method [35]. Studies are showing that the Xception model produces very efficient results in the literature. Xception slightly outperforms Inception V3 on the ImageNet dataset. The efficiency gains are not due to increased capability but rather to further productive model parameters because the Xception structure has the same number of parameters as Inception V3 [36]. The Xception structure contains 14 blocks with 36 levels. The input image size of the model is $320 \times 320 \times 3$. A global average pooling layer has been modified to include a 512-fully connected layer and an output layer after convolution layers, according to the Covid-19 classification task.

III. THE PROPOSED MODEL AND PROCESSES

In this study, The VGG-16, VGG-19, InceptionV3, and Xception deep learning models were improved by fine-tuning processes and compared to determine whether the patient had COVID-19 using chest X-ray images of the patients. Models were analyzed with the accuracy, f-measure, sensitivity, and specificity values. In order to classify Covid-19 images, the analysis was made on the Covid-19 datasets according to the distinguishing features in the literature. Firstly Image Pre-processing was done, such as Light Balance adjustment, Image Size adjustment. After the pictures made suitable for education were tagged with labelling software, the methods created the datasets. In our study, out of Covid-19 images that were enrolled in training for classification, the errors in the data sets of image sets with a low classification rate were corrected, reconstructed, and retrained.

For the classification system developed to work efficiently, the Covid-19 images that are put into training must reflect the distinctive features as clearly as possible. Otherwise, the training process will be repeated many times, since each image to be used in training will cause erroneous results. An improperly trained image will cause errors both in the classification of that Covid-19 patient group and in the classification of other groups. For this reason, it is of great importance that the images collected for the Covid-19 datasets belong to that disease, that the image reflects the characteristic feature of the Covid-19, and that it is images from as many angles as possible.

This study proposed to classify COVID-19 infectious diseases as a method for computer-assisted detection (CAD). We suggested that the profound learning approach would help radiologists diagnose COVID-19 infection. For this diagnosis, infections associated with COVID-19 were trained with four pre-trained neuronal coevolutionary networks (CNNs). The Python programming language was used to train proposed deep transfer learning models. Keras library was chosen for deep learning processes.

Keras R-CNN is a Python library that can process huge image datasets and perform automatic cell recognition for brighter fields and images.

A. IMAGE PRE-PROCESSING

Since the dataset consists of RGB images with 0-255 values, the images were scaled at the rate of 1-255 and values in the range of 0-1 were formed, making it easier to process the images. Images are resized to 320x320. Since the dataset consists of a limited number of images, the data was increased by flipping the images horizontally, shifting by 0.2 and zooming by 0.2.

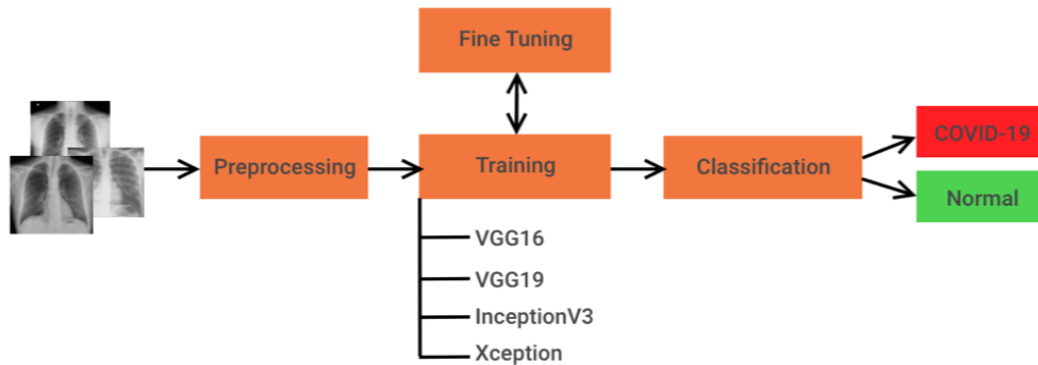


Figure 4. Workflow of the proposed framework for classifying X-ray images of COVID-19 and normal patients

B. PRETRAINED AND FINE-TUNING ON MODELS

Despite the limited number of chest X-ray images with COVID-19 disease, deep transfer learning methods succeed with many data. Therefore, it will be advantageous to use the transfer learning method. Transfer learning transfers the information gained from the data trained with the big dataset to the data to be trained. In this study, transfer learning was carried out using pre-trained VGG-16, VGG-19, InceptionV3 and Xception models successfully in the ImageNet competition. Fine-tuning was performed by creating a new fully-connected layer head consisting of AveragePooling2D, Flatten, Dense, Dropout, last Dense with Softmax layers for each model.

The operations performed in the fine-tuning stages are given as subtitles respectively:

AveragePooling2D: In the Average Pooling layer, the COVID-19 chest X-ray images were divided into 4x4 matrices, and down-scaling was performed by taking the average of each matrix. In this way, the pixel density was reduced, and the image was made ready for processing.

Flatten: At this stage, the feature matrix obtained in the previous stage was transformed into a vector, making it usable in a fully connected neural network classifier.

Dense1: In this layer, the ReLu (Rectified Linear Unit) activation function was used to add nonlinearity to the model after each convolution. The size of the output space for InceptionV3 and Xception models was determined as 256 units, and for VGG-16 and VGG-19, 64 units.

Dropout: In this layer, the process of ignoring (dropping) some neurons is provided to prevent excessive learning during training. Fine-tuning was performed with a rate of 0.3 for InceptionV3 and Xception and 0.5 for VGG-16 and VGG-19.

Dense2: In the study, the Softmax activation function was used to perform the classification process. In this way, the output was divided into two categories as COVID-19 and Normal.

Also, the training of these layers was frozen because the VGG-16, VGG-19, InceptionV3, and Xception models were trained with ImageNet data. In the convolutional neural network, the fully

connected layer obtained by fine-tuning was trained. Finally, the ADAM (Adaptive Moment Estimation) algorithm, which uses the Categorical cross-entropy function, has been adjusted. In this way, it is aimed to have the minor error between the output value produced by the modelled network and the actual value.

VI. EXPERIMENTAL ANALYSIS AND RESULTS

In this study, a binary classification labelled Normal, and COVID-19 was performed. Pre-trained deep learning models named VGG-16, VGG-19, InceptionV3 and Xception were used with fine-tuning. Through refining the cross-entropy function with the optimizer of adaptive moment estimation (ADAM), CNN models were pre-trained with random initialization parameters. For both tests, the batch size, learning rate, and steps per epoch were experimentally set at 10, 1E-04, and 28, respectively. Different hyperparameter combinations, for instance, the number of frozen convolution layers, completely connected layers, the drop ratio, the optimization algorithm, the speed of learning, and intervals, were calculated using the trial and error technique.

The hyperparameters of the active models were registered for testing after the training. The actual figure of linked layers was remained identical in both methods to help explain the efficiency of the models in extracting features. Performance metrics based on the confusion matrix are used to assess the significant convalescence of the suggested COVID-19 classification models over the efficient supervised COVID-19 classification models (see Figure 4). Specificity, sensitivity, precision, accuracy, and negative predictive value were included in these measures. TP (True Positive) refers to the positive (COVID-19) ratio correctly labelled as COVID-19 in the test result. TN (True Negative) is the negative (normal) rate that is correctly labelled. FP (False Positive) is the negative (normal) rate that is mislabeled as positive. FN (False Negative) is the positive (COVID-19) rate that is mislabeled as negative (normal) by the model. Using the TP, FP, TN and FN values, the accuracy, recall, specificity, precision, F1-score values are found respectively by the formulas in Equation (1), Equation (2), Equation (3), Equation (4) and Equation (5) given below.

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

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

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

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

$$F1\ Score = 2 \times \frac{Precision \times Recall}{Precision + Recall} \quad (5)$$

The matrix of confusion and related formulas are shown in Figure 5.

		Precision $\frac{TP}{TP + FP}$	Negative Prediction $\frac{TN}{TN + FN}$	Accuracy $\frac{TP + TN}{TP + FN + TN + FP}$
True Label	COVID-19	True Positive (TP)	False Negative (FN)	Sensitivity $\frac{TP}{TP + FN}$
	Normal	False Positive (FP)	True Negative (TN)	Specificity $\frac{TN}{TN + FP}$
		COVID-19	Normal	
		Predicted Label		

Figure 5. Performance metrics

A total of 420 chest x-rays were used for 280 training and 140 tests. Confusion matrices obtained using VGG-16, VGG-19, InceptionV3, and Xception models are given in Figure 6, Figure 7, and Figure 8, respectively. For the VGG-16 and VGG-19 models, 67 of 70 images labelled COVID-19 were successful (TP), and three were unsuccessful (FN). Of the 70 images labelled with Normal, 14 failed (FP), and 56 were successful (TN) results.

True Label	COVID-19	67	3
	Normal	14	56
		COVID-19	Normal
		Predicted Label	

Figure 6. VGG-16 & VGG-19 Confusion Matrix (obtained same results)

True Label	COVID-19	70	0
	Normal	11	59
		COVID-19	Normal
		Predicted Label	

Figure 7. InceptionV3 Confusion Matrix

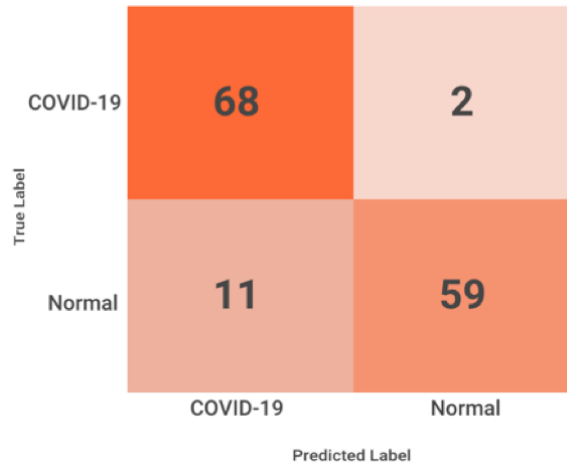


Figure 8. Xception Confusion Matrix

In the InceptionV3 model, 70 of 70 COVID-19 labelled images were successful (TP), 0 failed (FN), and 11 failed (FP), and 59 were successful (TN) results were obtained from 70 Normal labelled images. Also, in the Xception model, 68 of 70 COVID-19 labelled images were successful (TP), two unsuccessful (FN), and out of 70 Normal labelled images, 11 failed (FP), and 59 were successful (TN) results. Categorical cross-entropy is a loss function that is used in various classification tasks. These are tasks in which the only one in a variety of categories is an example, and the model has to decide which. Officially, the differences between two probability distributions are structured to be analyzed. The loss value of the training classification network consisted of a categorical cross-entropy loss function that calculates the loss of an instance by calculating the sum:

$$Loss = - \sum_{i=1}^{outputsize} y_i * \log y_i \tag{6}$$

Where y_i is the target value in the model output, and the output size is the number of scalar values in the model output.

Table 1. Comparative Performances of Fine Tuned Deep Learning Models

Models	Accuracy (%)	Recall (%)	Specificity (%)	Precision (%)	F1-Score (%)
VGG-16	0.8786	0.9571	0.8	0.8272	0.8874
VGG-19	0.8786	0.9571	0.8	0.8272	0.8874
InceptionV3	0.9214	1.0	0.8429	0.8642	0.9272
Xception	0.9071	0.9714	0.8429	0.8608	0.9128

Table 1 shows the diagnostic performances of the four networks. According to Table 2, the highest accuracy rate (92%) was seen in the InceptionV3 model, and the lowest accuracy rates were seen in the VGG-16 and VGG-19 models (88%). On the other hand, The Xception model (91%) gives more successful results than the VGG-16 and VGG-19 models, but it has less accuracy than the InceptionV3 model.

V. CONCLUSION

The pre-trained CNN model was modified and retrained using various transfer learning and fine-tuning strategies to classify Covid-19 images during the experimental procedures. With the early diagnosis of COVID-19 disease, it is of great significance to prevent the shortening of the treatment

period of the patients and the contagion of other people. According to the results, it is expected that a positive contribution will be made to decision processes on the diagnosis of covid-19 disease. The proposed software offers significant advantages in issues such as test costs, test accuracy rate, staff workload, and waiting time for test results. In this study, a comparison was made by applying and improving the fine-tuning strategies to state-of-art deep transfer learning models to chest X-ray images of COVID-19 patients. As a result of the statistical analysis, it was seen that the most successful model was InceptionV3 (%92), the next successful model was Xception (%91), and the VGG-16 and VGG-19 models gave the same result (%88), giving the most unsuccessful result among the compared models. It has been concluded that deep transfer learning methods will be useful in the early diagnosis of COVID-19 disease in the decision-making stages of radiologists. In future studies, it is thought that the integration of recommended methods into computer-aided software systems used in hospitals will be beneficial. It can be developed methodically and technically using different datasets and deep learning models in future studies.

VI. REFERENCES

- [1] Z. Y. Zu, M. D. Jiang, P. P. Xu, W. Chen, Q. Q. Ni, G. M. Lu, and L. J. Zhang, "Coronavirus Disease 2019 (COVID-19): A perspective from China," *Radiology*, vol. 296, pp. 15-25, 2020.
- [2] T. Singhal, "Review on COVID19 disease so far," *Indian J. Pediatr.*, vol. 87, no. 5, pp. 281-286, 2020.
- [3] A. Hamimi, "MERS-CoV: Middle East respiratory syndrome corona virus: can radiology be of help? Initial single center experience," *Egypt. J. Radiol. Nucl. Med.*, vol. 47, no. 1, pp. 95-106, 2016.
- [4] D. Wu, K. Gong, C. D. Arru, F. Homayounieh, B. Bizzo, V. Buch, H. Ren, K. Kim, N. Neumark, P. Xu, Z. Liu, W. Fang, N. Xie, W. Y. Tak, S. Y. Park, Y. R. Lee, M. K. Kang, J. G. Park, A. Carriero, L. Saba, M. Masjedi, H. Talari, R. Babaei, H. K. Mobin, S. Ebrahimian, I. Dayan, M. K. Kalra, and Q. Li, "Severity and Consolidation Quantification of COVID-19 From CT Images Using Deep Learning Based on Hybrid Weak Labels," *IEEE J. Biomed. Heal. Informatics*, vol. 24, no. 12, pp. 3529–3538, 2020.
- [5] T. Ozturk, M. Talo, E. A. Yildirim, U. B. Baloglu, O. Yildirim, and U. Rajendra Acharya, "Automated detection of COVID-19 cases using deep neural networks with X-ray images," *Comput. Biol. Med.*, vol. 121, p. 103792, 2020.
- [6] H. X. Bai, B. Hsieh, Z. Xiong, K. Halsey, J. W. Choi, T. M. L. Tran, I. Pan, L. -B. Shi, D. -C. Wang, J. Mei, X. Jiang, Q. -H. Zeng, T. K. Egglin, P. Hu, S. Agarwal, F. -F. Xie, S. Li, T. Healey, M. K. Atalay, and W. -H. Liao, "Performance of radiologists in differentiating COVID-19 from non COVID-19 viral pneumonia at chest CT," *Radiology*, vol. 296, no. 2, pp. 46-54, 2020.
- [7] T. Nihashi, T. Ishigaki, H. Satake, S. Ito, O. Kaii, Y. Mori, K. Shimamoto, H. Fukushima, K. Suzuki, H. Umakoshi, M. Ohashi, F. Kawaguchi, and S. Naganawa, "Monitoring of fatigue in radiologists during prolonged image interpretation using fNIRS," *Jpn. J. Radiol.*, vol. 37, no. 6, pp. 437-448, 2019.
- [8] L. Salvador-Carulla, S. Rosenberg, J. Mendoza, H. Tabatabaei-Jafari, and P.-M. H. I. Network, "Rapid response to crisis: Health system lessons from the active period of COVID-19," *Heal. Policy Technol.*, vol.9, no. 4, pp. 578-586, 2020.
- [9] A. A. Ardakani, A. R. Kanafi, U. R. Acharya, N. Khadem, and A. Mohammadi, "Application of deep learning technique to manage COVID-19 in routine clinical practice using CT images: Results of 10 convolutional neural networks," *Comput. Biol. Med.*, vol. 121, p. 103795, 2020.

- [10] W. K. Silverstein, L. Stroud, G. E. Cleghorn, and J. A. Leis, "First imported case of 2019 novel coronavirus in Canada, presenting as mild pneumonia," *Lancet*, vol. 395, p. 734, 2020.
- [11] S. Belciug, S.-I. Bejinariu, and H. Costin, "An Artificial Immune System Approach for a Multi-compartment Queuing Model for Improving Medical Resources and Inpatient Bed Occupancy in Pandemics," *Adv. Electr. Comput. Eng.*, vol. 20, no. 3, pp. 23-30, 2020.
- [12] G. E. Güraksın, S. Barın, E. Özgül, and K. Furkan, "COVID-19 diagnosis using deep learning," *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknol. Derg.*, vol. 9, no. 3, pp. 8-23, 2021.
- [13] M. A. AlMulla, "Location-based Expert System for Diabetes Diagnosis," *Kuwait J. Sci.*, vol. 48, no. 1, pp. 67-77, 2021.
- [14] S. B. Desai, A. Pareek, and M. P. Lungren, "Deep learning and its role in COVID-19 medical imaging," *Intell. Med.*, vol. 3, p. 100013, 2020.
- [15] K. bıçakcı and V. tunalı, "COVID-19 prediction from Chest X-Ray images using transfer learning," *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknol. Derg.*, vol. 9, no. 4, pp. 1395-1407, 2021.
- [16] Y. Pathak, P. K. Shukla, A. Tiwari, S. Stalin, S. Singh, and P. K. Shukla, "Deep Transfer Learning Based Classification Model for COVID-19 Disease," *IRBM*, vol. 43, no. 2, pp. 87-92, 2022.
- [17] L. Brunese, F. Mercaldo, A. Reginelli, and A. Santone, "Explainable deep learning for pulmonary disease and coronavirus COVID-19 detection from X-rays," *Comput. Methods Programs Biomed.*, vol. 196, p. 105608, 2020.
- [18] H. Panwar, P. K. Gupta, M. K. Siddiqui, R. Morales-Menendez, and V. Singh, "Application of deep learning for fast detection of COVID-19 in X-Rays using nCOVnet," *Chaos, Solitons and Fractals*, vol. 138, p. 109944, 2020.
- [19] T. B. Alakus and I. Turkoglu, "Comparison of deep learning approaches to predict COVID-19 infection," *Chaos, Solitons and Fractals*, vol. 140, p. 110120, 2020.
- [20] S. Minaee, R. Kafieh, M. Sonka, S. Yazdani, and G. Jamalipour Soufi, "Deep-COVID: Predicting COVID-19 from chest X-ray images using deep transfer learning," *Med. Image Anal.*, vol. 65, p. 101794, 2020.
- [21] A. I. Khan, J. L. Shah, and M. M. Bhat, "CoroNet: A deep neural network for detection and diagnosis of COVID-19 from chest x-ray images," *Comput. Methods Programs Biomed.*, vol. 196, p. 105581, 2020.
- [22] J. P. Cohen, P. Morrison, L. Dao, K. Roth, T. Q. Duong, and M. Ghassemi, "Covid-19 image data collection: Prospective predictions are the future," 2020, *arXiv Prepr. arXiv2006.11988*, 2020.
- [23] N. K. Chowdhury, M. M. Rahman, and M. A. Kabir, "PDCOVIDNet: a parallel-dilated convolutional neural network architecture for detecting COVID-19 from chest X-ray images," *Heal. Inf. Sci. Syst.*, vol. 8, no. 1, pp. 1-14, 2020.
- [24] R. Al-Hmouz, "Deep learning autoencoder approach: Automatic recognition of artistic Arabic calligraphy types," *Kuwait J. Sci.*, vol. 47, no. 3, 2020.
- [25] Y. LeCun, Y. Bengio, and G. Hinton, "Deep learning," *Nature*, vol. 521, no. 7553, pp. 436-444, 2015.



- [26] A. Sufian, A. Ghosh, A. S. Sadiq, and F. Smarandache, "A survey on deep transfer learning to edge computing for mitigating the COVID-19 pandemic," *J. Syst. Archit.*, vol. 108, p. 101830, 2020.
- [27] X. Bai, X. Wang, X. Liu, Q. Liu, J. Song, N. Sebe, and B Kim, "Explainable Deep Learning for Efficient and Robust Pattern Recognition: A Survey of Recent Developments," *Pattern Recognit.*, vol. 120 p. 108102, 2021.
- [28] Y. Liang, W. Peng, Z.-J. Zheng, O. Silvén, and G. Zhao, "A hybrid quantum–classical neural network with deep residual learning," *Neural Networks*, vol. 143, pp. 133-147, 2021.
- [29] S. Akcay and T. Breckon, "Towards automatic threat detection: A survey of advances of deep learning within X-ray security imaging," *Pattern Recognit.*, vol. 122, p. 108245, 2021.
- [30] H. Shin, H. Roth, M. Gao, L. Lu, Z. Xu, I. Nogues, J. Yao, D. Mollura, and R. M. Summers, "Deep convolutional neural networks for computer-aided detection: CNN architectures, dataset characteristics and transfer learning," *IEEE Trans. Med. Imaging*, vol. 35, no. 5, pp. 1285-1298, 2016.
- [31] A. Kumar, J. Kim, D. Lyndon, M. Fulham, and D. Feng, "An ensemble of fine-tuned convolutional neural networks for medical image classification," *IEEE J. Biomed. Heal. informatics*, vol. 21, no. 1, pp. 31-40, 2016.
- [32] O. Russakovsky, J. Deng, H. Su, J. Krause, S. Satheesh, S. Ma, Z. Huang, A. Karpathy, A. Khosla, M. Bernstein, A. C. Berg, and L. Fei-Fei, "ImageNet large scale visual recognition challenge," *Int. J. Comput. Vis.*, vol. 115, no. 3, pp. 211-252, 2015.
- [33] J. Deng, W. Dong, R. Socher, L. -J. Li, Kai Li and Li Fei-Fei, "ImageNet: A large-scale hierarchical image database," In 2009 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2009, pp. 248-255.
- [34] C. Szegedy, W. Liu, Y. Jia, P. Sermanet, S. Reed, D. Anguelov, D. Erhan, V. Vanhoucke, and A. Rabinovich, "Going deeper with convolutions," *Proc. IEEE Comput. Soc. Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit.*, vol. 07-12-June, pp. 1–9, 2015.
- [35] R. A. Aral, Ş. R. Keskin, M. Kaya, and M. Hacıömeroğlu, "Classification of trashnet dataset based on deep learning models," in *2018 IEEE International Conference on Big Data (Big Data)*, pp. 2058–2062, 2018.
- [36] F. Chollet, "Xception: Deep learning with depthwise separable convolutions," *Proc. - 30th IEEE Conf. Comput. Vis. Pattern Recognition, CVPR 2017*, vol. 2017-Janua, pp. 1800–1807, 2017.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Alüminyum 6061-T651 Alaşımının Kaplamalı Kesici Uçlarla Frezelenmesinde Kesici Takım Aşınmasının Optimizasyonu

 Berat Serhat BEKTAŞ^a,  Gürcan SAMTAŞ^{b,*}

^a İmalat Mühendisliği Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

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

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

DOI:10.29130/dubited.971025

Öz

Bu çalışmada 80x80x30 mm ebatlarında alüminyum 6061-T651 alaşımına yüzey frezeleme işlemleri gerçekleştirilerek kesme parametrelerinin kesici takım aşınması üzerine etkileri araştırılmıştır. Yüzey frezeleme işlemi için; üç farklı kaplamaya sahip kesici uç (CVD tekniği ile TiN-TiCN-Al₂O₃ kaplanmış, PVD tekniği ile TiALN-NANO kaplanmış ve PVD tekniği ile ALTiN kaplanmış) üç farklı kesme hızı (250, 350 ve 450 m/dak) ve üç farklı ilerleme oranı (0.15, 0.30 ve 0.45 mm/diş) kullanılmıştır. Deneyler kuru şartlarda yürütülüp kesme derinliği 0.5 mm olarak tüm deneylerde sabit tutulmuştur. Deneysel tasarım ve optimizasyon için Taguchi metodu kullanılmış, Taguchi L₉ (3³) ortogonal dizisi seçilerek 9 deney yürütülmüştür. Her bir deney sonrası takım yan yüzey aşınmaları ölçülmüştür. Deneyler sonunda elde edilen değerler optimize edilmiş, varyans analizi (ANOVA), üç boyutlu grafikler ve regresyon metodu kullanılarak değerlendirilmiştir. Deneyler sonrası en düşük takım aşınması için kesme parametreleri, Taguchi metoduyla başarılı bir şekilde optimize edilmiştir. Taguchi analizi sonucu minimum aşınma değeri için elde edilen optimum kesme şartları; TiN-TiCN-Al₂O₃ kaplamalı kesici uç, 450 m/dak kesme hızı ve 0.30 mm/diş ilerleme oranı olarak bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: AA 6061-T651, Yüzey frezeleme, Kesici takım aşınması, Optimizasyon, Taguchi metodu

Optimization of Cutting Tool Wear When Milling 6061-T651 Aluminum Alloy with Coated Inserts

ABSTRACT

In this study, the effects of cutting parameters on cutting tool wear were investigated by performing surface milling on 80x80x30 mm 6061-T651 aluminum alloy. Inserts with three different coatings (TiN-TiCN-Al₂O₃ coated by CVD technique, TiALN-NANO coated by PVD technique, and ALTiN coated by PVD technique), three different cutting speeds (250, 350, and 450 m/min), and three different feed rates (0.15, 0.30, and 0.45 mm/tooth) were used for the face milling process. The experiments were conducted in a dry setting and the depth of cut was kept constant at 0.5 mm in all experiments. The Taguchi method was used for the design and optimization of the experiments; Taguchi L₉ (3³) orthogonal array was selected and 9 experiments were conducted. Tool flank wear was measured after each run. The obtained results were optimized and evaluated using variance analysis (ANOVA), 3-D graphs, and regression method. After the measurements, cutting parameters were optimized successfully using the Taguchi method to achieve minimum tool wear. As a result of the Taguchi analysis, the optimum cutting conditions obtained for minimum wear value were determined as the TiN-TiCN-Al₂O₃ coated insert, 450 m/min cutting speed, and 0.30 mm/tooth feed rate.

Keywords: AA 6061-T651, Face milling, Cutting tool wear, Optimization, Taguchi method

I. GİRİŞ

Alüminyum alaşımları günümüzde, havacılık, otomotiv ve havacılık sanayinde, plastik enjeksiyon kalıplarında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [1]. Alüminyumun iyi olan birçok özelliklerinin yanında döküm ve mekanik özellikleri zayıftır. Bu özelliklerin iyileştirilebilmesi için bu malzemelere genellikle alaşım katılmaktadır. Bir mühendislik malzemesinin işlenebilirliği, kesme kuvvetleri, takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü gibi faktörler gibi birçok parametreye bağlıdır [2], [3]. Özellikle, takım aşınması, ürün kalitesinde önemli bir rol oynar ve işleme doğruluğunun değerlendirilmesinde önemli bir parametredir. Al-Zn alaşımları olarak bilinen alüminyum 7000 serileri yaygın bir şekilde havacılık endüstrisinde kullanılmaktadır [4]. Yaşla sertleşebilen 7000 serisi alüminyum alaşımlarının, üstün ağırlık-mukavemet oranına, iyi korozyon ve aşınma direncine sahip olduğu bilinmektedir [5]. Ayrıca bu alaşımların işlenebilirlik açısından iyi performans gösterirler. Vakondios vd. [6], AA 7075-T6 alüminyum alaşımına cep frezeleme işlemi uygulayarak frezeleme stratejilerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Rao ve Shin karbit ve elmas kesiciler kullanarak alüminyum 7075-T6 malzemesine yüzey frezeleme işlemi uygulamışlardır. Deneylerde elde edilen sonuçlar talaş biçimi ve kesme kuvvetleri açısından değerlendirilmiştir [7]. 6000 serisi alüminyum alaşımları ise genelde, magnezyum, silikon ve bakır esaslı olup, bina materyallerinden otomobil mobilyalarına kadar üretim süreçlerinin hemen hepsinde kullanılabilir. Ayrıca bu alaşımların da işlenmesi kolaydır ve çökertme sertleşmesi uygulanabilir [8]-[10]. Campatelli ve Scippa alüminyum 6082-T4 alaşımının frezelenmesinde kesme kuvvetleri katsayılarının tahmininde bulunmuşlardır [11]. Dimin vd. [12], TiALN kaplamalı kesici takımlarla Al 6061-T6511'i parmak frezeleme işlemi uygulayarak en ideal yüzey kalitesi için uygun kesme parametrelerini araştırmışlardır. Rahmati vd., alüminyum 6061-T6 alaşımının frezelenmesinde nano soğutma sıvısı kullanarak işleme yüzeyinin şekil bilgisini incelemiştir [13]. Sayuti vd. alüminyum 6061-T6 alaşım için SiO₂ nano soğutma sıvısı kullanarak frezelenmiş yüzeylerin şekil bilgisini incelemiştir. Çalışmalarında, 40x40x100 mm ölçülerinde alüminyum numuneleri ve iki ağızlı 10 mm çapa sahip karbit kesici takım kullanmışlardır [14]. Sukumar vd. CNC yüzey frezeleme işlemi gerçekleştirerek alüminyum 6061 alaşımının işlenmiş yüzeyinden elde edilen yüzey pürüzlülüğünü tahmin etmede Taguchi ve yapay sinir ağları yaklaşımı kullanmışlardır [15]. Tsai v.d. yaptıkları çalışmada, alüminyum 6060-T6 alaşımının frezelenmesinde kesme kuvvetlerini ve kesme parametrelerini incelemiştir [16]. Singh vd., Al-6061 alaşımına frezeleme işlemi uygulayarak, talaş kaldırma oranını artırmak için kesme parametrelerini ve minimum yağlama parametresini Taguchi metoduyla optimize etmişlerdir [17]. Nathan v.d. 6061 alüminyum alaşımına minimum miktarda yağlama tekniği ile uçtan frezeleme işlemi gerçekleştirerek, yüzey pürüzlülüğünün etkisini araştırmışlardır [18]. Pınar vd. yaptıkları çalışmada, 5083-H36 alüminyum alaşımının cep frezeleme işleminde klasik soğutma ile vorteks tip soğutma tipini birbirleriyle karşılaştırmışlardır [19]. Diğer taraftan Martini ve Morri yaptıkları çalışmada, EN AB – 43300 alüminyum alaşımına PVD ve CVD metotlarla kaplanmış karbit takımlarla yüzey frezeleme işlemi gerçekleştirmişlerdir [20]. Dikshit vd. eğrisel uçlu parmak freze kullanarak Alüminyum 2014 – T6 malzemesini frezeleyerek kesme kuvvetlerini ölçmüşlerdir. Deneysel modelleme olarak yanıt yüzey metodunu kullanmışlardır [21].

Bu çalışmada, deneysel tasarım ve optimizasyon için Taguchi metodu kullanılmıştır. Deneysel tasarım için Taguchi L9 ortogonal dizisi seçilerek 9 deney gerçekleştirilmiştir. Deneylerde üç farklı kesici uç, üç farklı ilerleme ve kesme hızı kullanılarak yüzey frezeleme işlemi uygulanmıştır. Her bir deney sonrası, kesici uç yan yüzey aşınmaları ölçülmüştür. Sonuçlar, varyans analizi, üç boyutlu grafikler ve regresyon metodu kullanılarak yorumlanmıştır.

II. MALZEME VE YÖNTEM

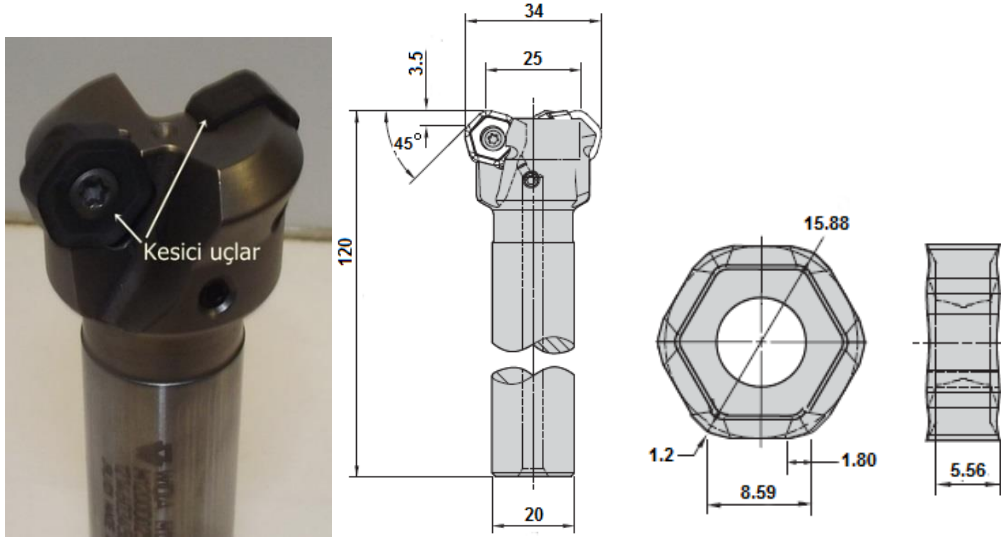
Frezeleme deneyleri, maksimum devri 10000 RPM olan DELTA SEİKİ marka 1050A model 3 eksenli dikey freze tezgahında gerçekleştirilmiştir. Deney malzemesi olarak 80x80x30 mm ebatlarında alüminyum 6061-T651 alaşımı kullanılmıştır. Kullanılan malzemeye ait teknik özellikler Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Alüminyum 6061-T651 alaşımının özellikleri (Matweb)

Bileşen öğeleri özellikleri									
Al	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Si	Ti	Zn	Diğer
95.8-98.6	0.04 -0.35	0.15 -0.40	0.7	0.8 -0.12	0.15	0.4 – 0.8	0.15	0.25	0.15

Mekanik özellikler					
Yoğunluk	Sertlik, Vickers	Çekme mukavemeti	Elastisite modülü	Yorulma mukavemeti	İşlenebilirlik
2.70 g/cm ³	107	310 Mpa	68.9 GPa	96.5 Mpa	%50

Frezeleme deneylerinde WIDIA kesici takım firmasına ait WK15CM kodlu CVD tekniği ile TiN-TiCN-Al₂O₃ kaplanmış, TN6520 kodlu PVD tekniği ile TiAlN kaplanmış Nano ve WP25PM kodlu PVD tekniği ile AlTiN kaplanmış 12 kesme kenarına sahip hexagonal kesici uçlar kullanılmıştır. Takım tutucu olarak WIDIA firmasına ait iki ağızlı Victory M1200 mini takım tutucu kullanılmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Kullanılan takım tutucu ve kesici uçların detayları.

A. DENEYSEL ÖLÇÜMLER

Kesici takım yan yüzey aşınma görüntüleri için Dino-Lite Pro2 AMT413ZT model, 240 kat büyütme özelliğine sahip polarize mikroskop kullanılmıştır. Görüntüler 50 kat büyütme ile alınmış, ölçümler Dino Capture 2.0 programı ile elde edilmiştir. Kesici takım aşınma görüntüleri 5 dakikalık işleme süresi sonunda çekilmiştir.

III. DENEYLER VE OPTİMİZASYON

Bu çalışmada deneysel tasarım ve optimizasyon için Taguchi metodu kullanılmıştır. Taguchi yönteminin ilk adımı, kontrol faktörleri olarak seçilen kesme parametrelerine dayalı uygun bir ortogonal dizi seçmektir. Optimum kesme parametrelerini belirlemek ve bu belirlenmiş parametrelerin etkilerini analiz etmek için en uygun dizi [L9 (3³)] seçilmiştir. Deneylerden elde edilen aşınmalar için minimum değer arzu edildiğinden “En küçük en iyi” prensibine dayanan kalite karakteristiği seçilerek S/N (Sinyal gürültü oranı) oranları hesaplanmıştır. Deney parametrelerinin seviyeleri Tablo 1,

deneysel tasarım, deneysel sonuçlar ve aşınma değerleri için hesaplanan S/N oranları Tablo 3’de gösterilmiştir.

Tablo 2. Deneysel tasarım için kesme parametreleri ve seviyeleri

Kesme parametreleri	Seviyeler		
	1	2	3
A Kesici uçlar (Kt)	TiN-TiCN-	TiALN-Nano	AlTiN-Multi Layer
B Kesme hızı (V , m/dak)	250	350	450
C İlerleme oranı (f , $mm/diş$)	0.15	0.30	0.45

Tablo 3. Deneylerden elde edilen aşınma değerleri ve S/N oranları

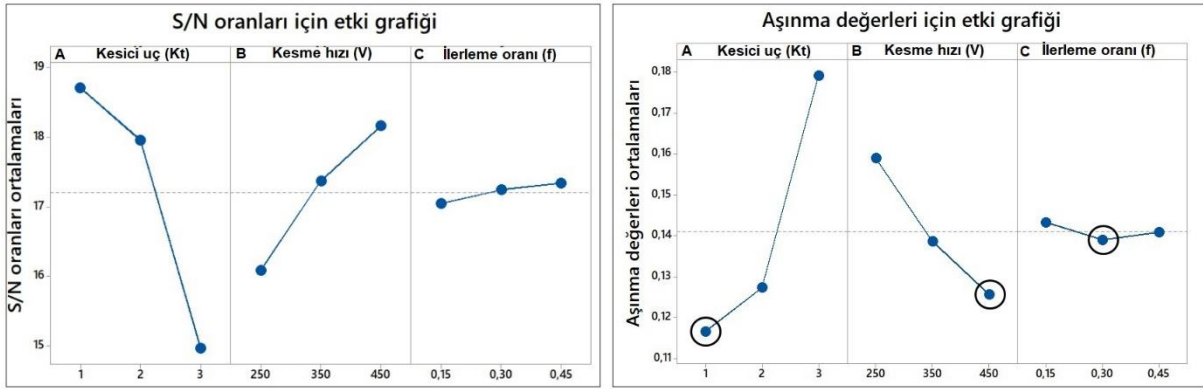
Deney no	Kesme parametreleri			Sonuçlar	
	A Kesici uçlar (Kt)	B Kesme hızı, V (m/dak)	C İlerleme, f ($mm/diş$)	Ua Aşınma (mm)	S/N (dB)
1	TiN-TiCN- Al_2O_3	250	0.15	0.134	17.458
2	TiN-TiCN- Al_2O_3	350	0.30	0.111	19.094
3	TiN-TiCN- Al_2O_3	450	0.45	0.105	19.576
4	TiALN-Nano	250	0.30	0.147	16.654
5	TiALN-Nano	350	0.45	0.122	18.273
6	TiALN-Nano	450	0.15	0.113	18.938
7	AlTiN-Çok katmanlı	250	0.45	0.196	14.155
8	AlTiN- Çok katmanlı	350	0.15	0.183	14.751
9	AlTiN- Çok katmanlı	450	0.30	0.159	15.972

Yürütülen 9 deney sonrası aşınma değerleri S/N oranı ortalama değeri 17.207 dB olarak bulunmuştur. Tablo 4’de kesme parametreleri, seçilen ortogonal diziye göre farklı seviyeler ve olası etkileri göz önünde bulundurularak ayırt edilmiştir. Bu tablo optimum parametreye göre Taguchi tahmin değerinin hesaplanmasında kullanılmaktadır.

Tablo 4. Herbir seviye için S/N oranları ortalamaları

Kesme parametreleri	Seviyeler			Delta
	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	
S/N oranları (dB) (Aşınma, Ua)				
Kt	18.71	17.95	14.96	3.75
V	16.09	17.37	18.16	2.07
f	17.05	17.24	17.33	0.29

Taguchi metodunda optimum değer hesaplamasında önemli olan optimum seviyeleri belirlemektir. Optimum seviyeler, L9 ortogonal dizi tarafından üretilen kombinasyonların sonuçlarına göre parametrelerin farklı seviyelerinin minimum değeri esas alınarak belirlenmektedir.



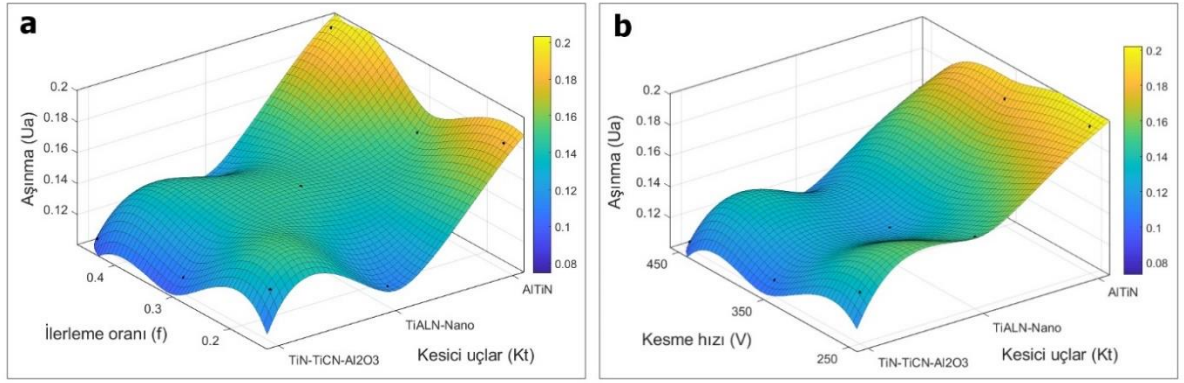
Şekil 2. Kesme parametreleri için ana etki grafikleri

Kesme parametreleri ve seviyelerine göre hesaplanan ortalama deney sonuçlarının dağılımları Şekil 2'de gösterilmektedir. Çalışmada “En küçük en iyi” karakteristik seçildiğinden, kesme parametrelerinin optimal kombinasyonunu belirlemek için deneysel sonuçlara ait tüm seviyeler için en düşük ortalama değerleri değerlendirilmiştir. Aynı şekilde S/N oranları için de en büyük değerler dikkate alınabilir. Buna göre, takım aşınması için optimal kombinasyon $A_1B_3C_2$ ($A_1 = \text{TiN-TiCN-Al}_2\text{O}_3$ kaplamalı kesici uç, $B_3 = 450$ m/dak kesme hızı, $C_2 = 0.30$ mm/diş ilerleme oranı) olarak elde edilmiştir.

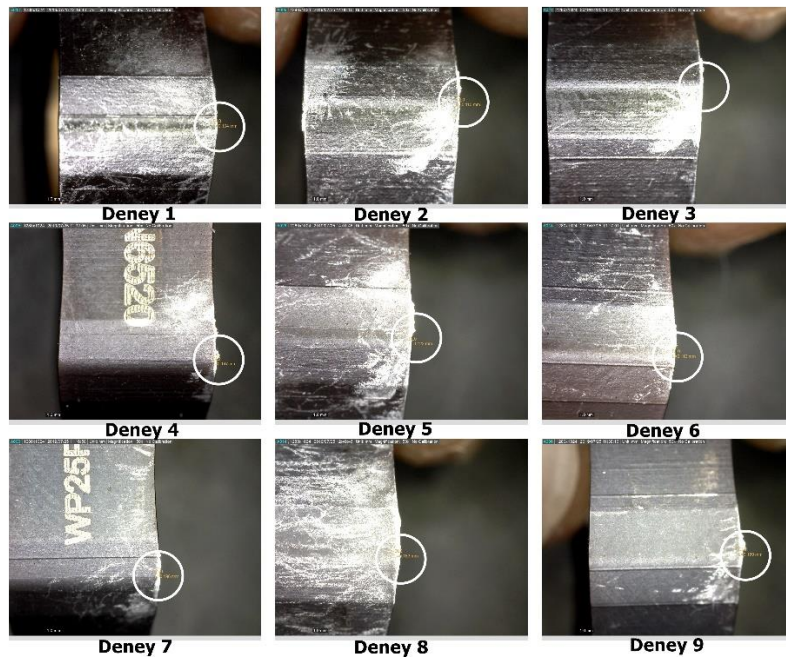
IV. DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

A. KESME PARAMETRELERİNİN AŞINMA ÜZERİNE ETKİSİ

Şekil 3’de kesme parametrelerinin aşınma üzerine etkilerini gösteren üç boyutlu grafikler ve Şekil 4’de optik mikroskopla 50 kat büyütülerek alınmış aşınma görüntüleri verilmiştir. Şekil 3a’da ilerleme oranı ve kesici uçların aşınma üzerine etkilerini gösteren grafik verilmiştir. Bu grafikte en düşük aşınma değeri 0.30 mm/diş ilerleme ve TiN-TiCN-Al₂O₃ kaplamalı kesici uçta olmuştur. Bu durum Taguchi optimizasyon değerleri ile aynıdır. Kaplamalar, karbür takımların difüzyon aşınmasına, oksidasyon aşınmasına ve sıcak sertlik kabiliyetine karşı direnci artırır [22]. Üç farklı kaplama malzemesiyle kaplanmış ilk kesici uçta aşınmaya karşı direncinin yüksek olması beklenen bir durumdur. Diğer taraftan Şekil 3a’da AlTiN kaplamalı kesici uçta ise aşınma değerlerinin arttığı görülmektedir. Özellikle 0.4 mm/diş ilerlemede aşınma değerleri daha da artmıştır. Alüminyum titanium nitrid (AlTiN) kaplama, bileşiminde alüminyum ve titanium nitrid barındırır. TiN-TiCN-Al₂O₃ kaplama ise bileşiminde, titanium karbo nitrid, titanium nitrid ve alüminyum oksit barındırır. Dolayısıyla bünyesinde daha çok malzeme barındıran TiN-TiCN-Al₂O₃ kaplama, diğerine göre daha yüksek performans göstermesi beklenen bir durumdur. Titanyum karbür ve alüminyum oksit yüksek aşınma direnci sağlayan, kimyasal olarak başka malzemelerle reaksiyona girmeyen, takım ile talaş arasında kimyasal ve ısıl bir kalkan oluşturan, çok sert malzemelerdir [23], [24]. Dolayısıyla bu durum, TiN-TiCN-Al₂O₃ kaplamanın diğer kaplamalara göre daha sert bir yapı sergilediğine atfedilebilir.



Şekil 3. Kesme parametrelerinin aşınma üzerine etkileri ;(a) Kesici uçlar ve ilerlemenin aşınma üzerine etki grafiği, (b) Kesme hızı ve kesici uçların aşınma üzerine etki grafiği



Şekil 4. Aşınma görüntüleri (büyültme: 50x)

Şekil 3b'de, kesme hızı ve kesici uçların aşınma üzerine etkilerini gösteren üç boyutlu grafik verilmiştir. Burada da en iyi performansı , TiN-TiCN-Al₂O₃ kaplamalı kesici uç vermiştir. En düşük aşınma değeri ise 450 m/dak kesme hızı ve , TiN-TiCN-Al₂O₃ kaplamalı uçta olmuştur. Bu durum da Taguchi optimize değerlerle aynıdır.

B. ANOVA KULLANILARAK VERİ ANALİZİ

Kesici uç, kesme hızı ve ilerlemenin aşınma üzerine etkileri ANOVA metodu ile analiz edilmiş, deney sonuçları %95'lik bir güven düzeyinde değerlendirilmiştir. ANOVA değerleri Tablo 6'da gösterilmiştir.

Tablo 5. Varyans analizi sonuçları

Kesme parametreleri	Serbestlik derecesi (DoF)	Kareler toplamı (SS)	Kareler ortalaması (MS)	F Değeri	P Değeri	Faktör etkisi (%)
Aşınma (U _a , mm)						
Kesici uç (Kt)	2	0.006745	0.003372	93.39	0.011	78.99
Kesme hızı (V)	2	0.001694	0.000847	23.45	0.041	19.83
İlerleme oranı (f)	2	0.000028	0.000014	0.39	0.719	(0.32)
Hata (e)	2	0.000072	0.000036			0.86
Toplam	8	0.008539				100

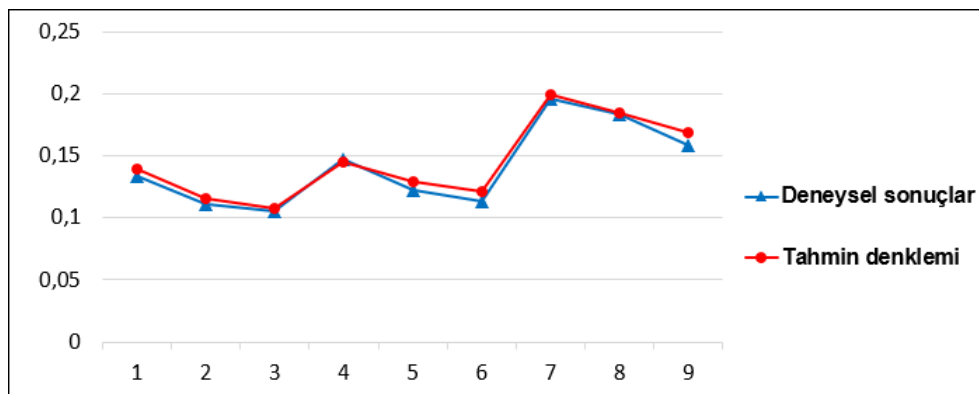
Tablo 5’de her bir parametre serbestlik derecesi ile hata serbestlik derecesine göre (2, 2) F değeri (F=19) karşılaştırıldığında ilerleme oranının aşınma üzerine etkisinin bulunmadığı görülmüştür. Yüzde olarak faktör etkisinde de görüldüğü gibi ilerlemenin yüzde katkısı çok düşüktür. Bu durumda aşınma üzerine en etkili faktör %78.99 ile kesici uçlar olmuştur. Bu faktörü %19.83 ile kesme hızı takip etmektedir. Bu sonuç üç boyutlu grafikler ile de doğrulanmaktadır (Şekil 3).

C. REGRESYON ANALİZİ VE MATEMATİKSEL MODEL

Çoklu regresyon analizi, kontrol faktörlerinin her kombinasyonu ile deneysel tasarımlar yoluyla elde edilen sürekli bağımlı değişkenlerin tahmin denklemlerini türetmek için kullanılmaktadır [25]. İkinci dereceden regresyon modeli için öngörülen eşitlik Eşit. 1’de verilmiştir;

$$U_{aT} = 0.2610 - 0.0513Kt - 0.000423V - 0.092f + 0.02067Kt^2 + 0.0000004V^2 + 0.141f^2 \quad (1)$$

Denklemden U_{aT}, aşınma değerleri için kesme parametreleri ile oluşturulan tahmin denklemdir. Burada Kt, kesici uçlar olup 1, 2 ve 3 sayı numaraları ile denklemden kullanılmalıdır. Her bir numaranın karşılığı Tablo 2’de görülmektedir. Aşınma tahmin değerleri için diğer kesme parametrelerinde rastgele değerler kullanılabilir. Regresyon analizi ile elde edilen denklemin R² değeri 0.99 (%99) olarak hesaplanmıştır. Şekil 5’de mevcut parametreler kullanılarak deneysel sonuçlar ve tahmin denkleminin sonuçları karşılaştırılmıştır.



Şekil 5. Deneysel sonuçlar ile tahmin değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 5’de görüldüğü gibi deneysel sonuçlar ile denklem 1 ile elde edilen değerler neredeyse örtüşmektedir. Diğer bir deyişle regresyon analizi ile elde edilen denklem gerçek değerleri %99 oranında doğrulamaktadır.

D. DOĞRULAMA DENEYLERİ

Doğrulama deneyleri, Taguchi yönteminin son adımıdır. Doğrulama deneylerinin amacı, analiz aşamasında elde edilen sonuçların geçerliliğini doğrulamaktır. kontrol faktörlerinin bireysel etkileri göz önünde bulundurularak; $A_1B_3C_2$ için Taguchi metoduna göre tahmin aşınma değeri Ua_p aşağıdaki eşitlikle hesaplanmaktadır [26].

$$Ua_p = 10^{-(A_1+B_3+C_2-2Ua_{S/N})/20} \quad (2)$$

Denklemlerde; A_1 , B_3 ve C_2 optimum seviyelere ait S/N oranlarıdır. $Ua_{S/N}$, aşınma değerleri S/N oranlarının ortalamasıdır. Denklem 2 kullanılarak Taguchi tahmin değeri (Ua_p), 0.103 mm olarak elde edilmiştir. Taguchi metodunda doğrulama deneylerinin kalite özelliğini doğrulamak için, güven aralığı (CI) kullanılır. Optimum değerlerin tahmin edilmesinde kullanılan CI aşağıda yer alan eşitlikle hesaplanır [27].

$$CI_{Ua} = \sqrt{F_{\alpha;1,V_e} V_{ep} \left(\frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{r} \right)} \quad (3)$$

$$n_{eff} = \frac{N}{1 + V_t} \quad (4)$$

Denklem 3'de, $F_{\alpha;1,V_e}$ önem düzeyi α 'nın F oranı, α önem düzeyi, $1 - \alpha$ güven aralığı, V_e hatanın serbestlik derecesi (Tablo 5), V_{ep} hatanın varyansı (Tablo 5), r doğrulama deney sayısı (3) ve n_{eff} etkin ölçülen sonuçların sayısıdır. Denklem 4'de, N toplam deney sayısını (9), V_t , Tablo 5 dikkate alınarak ortalamanın hesaplandığı işlem parametrelerine ait toplam serbestlik derecesidir (6). Buna göre $n_{eff} = 1.29$ olarak hesaplanmıştır. Denklem 3 ve 4 kullanılarak $CI_{Ua} = 0.027$ olarak bulunmuştur. Bu çalışmada optimum parametreler kullanılarak 3 adet doğrulama deneyi yapılmıştır. Buna göre Taguchi optimum tahmin değeri dikkate alınarak doğrulama deneyleri ortalaması, 0.076-0.13 μm (0.103 ± 0.027) aralığında olması umulmaktadır. Optimum parametreler kullanılarak yürütülen 3 doğrulama deneyinin ortalaması 0.102 mm (0.102, 0.101 ve 0.104 mm), olarak elde edilmiştir. Bu durumda doğrulama deneyleri ortalaması hesaplanan güven aralığı içerisinde gerçekleşmiştir. Böylece, %95 güven aralığında Taguchi yöntemi kullanılarak, optimizasyon başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Tablo 6'da, Taguchi metodu kullanılarak elde edilen öngörülen değerlerle deney sonuçlarının karşılaştırmasını gösterilmiştir. Tahmin edilen değerler ve deneysel değerler birbirine çok yakın çıkmıştır. Güvenilir istatistiksel analiz için hata değerleri %20'den az olmalıdır [26].

Tablo 6. Optimum ve rastgele seviyelerin deneysel ve tahmin değerlerinin karşılaştırılması

Seviyeler	Deneysel sonuçlar	Taguchi tahmin sonuçları	Hata (%)
$Ua, (mm)$			
$A_1B_3C_2$ (Optimum)	0.102	0.103	0.97
$A_2B_2C_3$ (Rastgele seçim-1)	0.122	0.122	0
$A_2B_3C_1$ (Rastgele seçim-2)	0.113	0.115	1.7
$A_1B_3C_3$ (Rastgele seçim-3)	0.105	0.102	2.85

Tablo 6'da görüldüğü gibi rastgele seçim kombinasyonlarına ait denklem 2 kullanılarak hesaplanan tahmin değerlerinin hata ortalaması %1.52 olarak elde edilmiştir. Bu sonuca göre Taguchi tahmin denklemini kullanılarak elde edilecek değerler %95 güven aralığı içerisinde olacaktır.

V. SONUÇLAR

Alüminyum 6061 alaşımının, kaplamalı kesici uçlarla frezelenmesinde kesme şartlarının aşınma üzerine etkisinin araştırıldığı bu çalışmada, deney sayısının azaltılması ve optimizasyon için Taguchi metodu kullanılmıştır. 27 tam faktoriyel tasarım yerine 9 deney yapılmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçları şu şekilde sıralamak mümkündür;

- Değerlerini minimize etmek için yapılan optimizasyonda, kesme parametrelerinin optimum kombinasyonu $A_1B_3C_2$ ($A_1 = \text{TiN-TiCN-Al}_2\text{O}_3$ kaplamalı kesici uç, $B_3 = 450$ m/dak kesme hızı, $C_2 = 0.30$ mm/diş ilerleme oranı) olarak elde edilmiştir.
- İstatistiksel analiz sonucunda, kesici uç aşınmasına etki eden en etkili faktör %78.99 ile kesici uçlar olmuştur. Bu faktörü %19.83 ile kesme hızı takip etmektedir
- Taguchi metoduyla elde edilen optimum kombinasyonlarla yürütülen doğrulama deneylerinde deneysel sonuçlara göre en düşük takım aşınması ölçülmüştür.
- Kesici uç aşınması için ikinci dereceden regresyon modeline göre elde edilen denklemin kolerasyon katsayısı 0.99 ($R^2 = \%99$) çıkmıştır.
- Doğrulama deneyleriyle elde edilen sonuçlar ile tahmin değerleri arasındaki hata oranı çok küçük çıkmış, bu değerler %95 güven aralığının içinde yer almıştır. Ayrıca rastgele olarak seçilen parametrelerle elde edilen deneysel ve tahmin sonuçları için de aynı durum söz konusudur.
- Minimum kesici uç aşınması için en iyi performansı TiN-TiCN-Al₂O₃ kaplamalı kesici uç göstermiştir.
- Varyans analizinde görüldüğü gibi bu malzemenin frezelenmesinde kesici uç aşınmasında ilerlemenin etkisiz olduğu görülmüştür. Farklı çalışmalarda kaplamasız kesici uçlarla, kaplamalı uçlar karşılaştırılarak bu durum araştırılabilir.

Çalışmadan elde edilen sonuçlar incelendiğinde Taguchi metodu, alüminyum 6061-T651 alaşımının frezelenmesinde üretim maliyetlerinin ve üretim zamanının azaltılmasında güvenilir bir yöntemdir. Bu çalışmada regresyon analizi ile bulunan tahmin denklemi ile aynı kesici uçlar kullanılarak (1, 2 ve 3 sayıları ile) farklı kesme hızı ve ilerleme oranlarında deney yapmadan aşınma değerleri %99 güvenilirlikte hesaplanabilir. Çalışmada kesici uç aşınmasına ilerleme oranının etkisi istatistiksel analiz F oranı değerlendirmesine göre yoktur. Bu durum aynı malzemenin kaplamalı ve kaplamasız uçlarla işlenmesi ile yapılacak yeni çalışmada incelenebilir. Ayrıca başka bir çalışmada malzemeye kriyojenik işlem uygulanarak yine kaplamalı uçlarla işlenebilirlik performansı incelenebilir.

TEŞEKKÜR: Bu çalışma Düzce Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından desteklenmiştir. (Proje numarası: 2019.06.06.910).

VI. KAYNAKLAR

- [1] J. Hirsch, B. Skrotzki, and G. Gottstein, *Aluminium Alloys, Their Physical and Mechanical Properties*, Germany: WILEY-VCH Verlag GmbH&Co. KGaA, 2008, pp. 2286.
- [2] J. Kechagias, C. K. Ziogas, M. Pappas and I. Ntziatzias, "Parameter optimization during finish end milling of Al alloy 5083 using robust design", *Proceedings of the World Congress on Engineering (WCE 2011)*, London, 2011, pp. 1.

- [3] J. Kechagias, G. Petropoulos, V. Iakovakis and S. Maropoulos, “An investigation of surface texture parameters during turning of a reinforced polymer composite using design of experiments and analysis”, *Int. J. Experimental Design and Process Optimisation*, vol. 1, no. 2/3, pp. 164–177, 2009.
- [4] A. R. Meyers and T. J. Slattery, *Basic Machining Reference Handbook*, New York: Industrial Press, 2001.
- [5] Y. Chen, Y. Yang, Z. Feng, B. Huang, and X. Luo, “Surface gradient nanostructures in high speed machined 7055 aluminum alloy”, *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 726, pp. 367-377, 2017.
- [6] D. Vakondios, P. Kyratsis, S. Yaldız and A. Antoniadis, “Influence of milling strategy on the surface roughness in ball end milling of the aluminum alloy AL7075-T6”, *Measurement*, vol. 45, pp. 1480-1488, 2012.
- [7] B. Rao and Y.C. Shin, “Analysis on high – speed face-milling of 70075-T6 aluminum using carbide and diamond cutters”, *International J. of Machine Tools and Manufacture*, vol. 41, pp. 1763-1781, 2001.
- [8] Taber (2022, April 8), *6000 Series Aluminum Alloys* [Online]. Available: <http://www.taberextrusions.com>
- [9] R. A. Gonçalves and M.B. Da Silva, “Influence of Copper Content on 6351 Aluminum Alloy Machinability”, *Procedia Manufacturing*, vol. 1, pp. 683-695, 2015.
- [10] D. J. Lloyd, “Some aspects of the metallurgy of automotive al alloys”, *Materials Forum*, vol. 4, no. 28, pp. 107-117, 2004.
- [11] G. Campatelli and A. Scippa, “Prediction of milling force coefficients for aluminum 6082-T4”, *Procedia CIRP I*, pp. 563-568, 2012.
- [12] S.F. Dimin , T.J.S. Anand, R. Jamli and A. Kamely, “Surface quality investigation of Al 6061-T6511 using TiAlN soated milling tool”, *International Journal of Basic & Applied Sciences IJBAS-IJENS*, vol. 10, no. 4, pp. 55-59, 2010.
- [13] B. Rahmati, A.A.D. Sarhan and M. Sayuti, “Morphology of surface generated by end milling AL6061-T6 using molybdenum disulfide (MoS₂) nano lubrication in end milling machining”, *Journal of Cleaner Production*, vol. 66, pp. 685-691, 2014.
- [14] M. Sayuti, O.M. Erh, A.A.D. Sarhan and M. Hamdi, “Investigation on the morphology of the surface in end milling of aerospace AL6061-T6 for novel uses of SiO₂ nano lubrication system”, *Journal of Cleaner Production*, vol. 66, pp. 655-663, 2014.
- [15] M.S. Sukumar, P.V. Ramaiah and A. Nagarjuna, “Optimization and Prediction of Parameters in Face Milling of Al-6061 Using Taguchi and ANN Approach”, *Procedia Engineering*, vol. 97, pp. 365–371, 2014.
- [16] M.Y. Tsai, S.Y. Chang, J.P. Hung and C.C. Wang, “Investigation of milling cutting forces and cutting coefficient for aluminum 6060-T6”, *Computers and Electrical Engineering*, pp. 1-11, 2015.

- [17] K. Singh, A.K. Singh and K.D. Chattopadhyay, “Effect of machining parameters and MQL parameter on material removal rate in milling of Aluminium alloy”, *Advances in Production and Industrial Engineering*, pp. 359-368, 2020.
- [18] D. Nathan, D. Elilraja, T. Prabhuram and S.P. Singh, “Experimental investigation of surface roughness in end milling of AA6061 alloy with flooded cooling and minimum quantity lubrication (MQL) technique”, *Trends in Manufacturing and Engineering Management*, pp. 649-659, 2020.
- [19] A.M. Pınar, S. Filiz and B.S. Ünlü, “A comparison of cooling methods in the pocket milling of AA5083-H36 alloy via Taguchi method”, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 83, pp. 1431-1440, 2016.
- [20] C. Martini and A. Morri, “Face milling of the EN-AB-43300 aluminum alloy by PVD and CVD coated cemented carbide inserts”, *Int. Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, vol. 29, pp. 662-673, 2011.
- [21] M.K. Dikshit, A.B. Puri and A. Maity, “Experimental study of cutting forces in ball end milling of Al2014-T6 using response surface methodology”, *Procedia Materials Science*, vol. 6, pp. 612-622, 2014.
- [22] Davim J. P., *Machinability of Advanced Materials*, England: John Wiley&Sons, 2014.
- [23] İ. Demirayak, “Kesme parametreleri, ve kaplama tabakasının talaş kaldırma işlemine etkileri,” Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Uludağ Üniversitesi Bursa, Türkiye, 2006.
- [24] Surftech (2021, July 12), *TiALN futura nano coating brochures*, *Surface Technology Coatings, Suttontools*, [Online]. Available: <http://www.surftech.com.au>
- [25] S. Korucu, “The effects of sharpened tools on tool flank wear-surface roughness and optimization of cutting parameters in milling Vanadis 4E powder metallurgical tool steel”, *Sādhanā*, vol. 45, no. 137, pp. 1-13, 2020.
- [26] F. Kara, “Optimization of surface roughness in finish milling of AISI P20 + S plastic-mold steel”, *Mater. Tehnol. Mater. Technol.* vol. 52, no. 2, pp. 195–200, 2018.
- [27] T. Kıvak, “Optimization of surface roughness and flank wear using the Taguchi method in milling of Hadfield steel with PVD and CVD coated inserts”, *Measurement*, vol. 5, pp. 19–28, 2014.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Gaz Beton Dolgu Duvar Pencere Boşluklarının Betonarme Çerçeve Davranışına Etkilerinin Deneysel Olarak İncelenmesi

 Anıl ŞEN^b,  Batuhan AYKANAT^{a,*},  Mehmet Emin ARSLAN^a

^a İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

^b İnşaat Mühendisliği Bölümü, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

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

DOI:10.29130/dubited.993756

ÖZ

Dolgu duvarlar, genel olarak iç mekânları bölmek, ısı ve ses yalıtımı sağlamak için betonarme yapılarda yaygın olarak kullanılan bir yapı elemanıdır. Taşıma kapasitelerinin düşük olması sebebiyle, yapısal olmayan bileşenler olarak kabul edilmekte ve sadece sabit yük olarak dikkate alınmaktadırlar. Ancak yapılan çalışmalar, dolgu duvarların yapı davranışını önemli ölçüde etkilediği görülmüştür. Bunun yanında, dolgu duvarlarda, havalandırma ve aydınlatma gereksinimleri için kapı ve pencere boşlukları bırakılmak zorundadır. Bu durumda, çerçeve davranışı da bununla paralel olarak değişiklik gösterecektir. Bu nedenle bu çalışmada, farklı boyutlarda pencere açıklıkları ve boşluklar içeren dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin çevrimsel yükler altındaki yapısal davranışı deneysel olarak incelenmiştir. Bu amaçla 3 adet ½ ölçekli, betonarme çerçeve üretilmiştir. Bunlardan bir tanesi boşluksuz, diğer ikisi ise aynı duvar pencere boşluk alanında, farklı biçim ve boşluk konumu sahip olacak şekilde üretilmiştir. Üretilen çerçeveler, FEMA 461’de önerilen yükleme protokolü kullanılarak çevrimsel yükler altında deney tabii tutulmuşlardır. Deneylerden elde edilen bulgular kullanılarak dolgu duvarlı çerçevelerin taşıma kapasiteleri, enerji tüketme kapasiteleri ve kırılma biçimleri belirlenmiştir. Elde edilen bulgular, dolgu duvar boşluklarının biçim ve konularının çerçeve davranışını önemli ölçüde değiştirdiğini ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: Betonarme, Boşluklu çerçeveler, Çevrimsel yükleme, Yük taşıma kapasitesi, Enerji tüketme kapasitesi, Gaz beton

Experimental Investigation of the Effects of Aerated Concrete Filled Wall Window Spaces on Reinforced Concrete Frame Behavior

ABSTRACT

Infill walls are building elements that are commonly used in reinforced concrete structures to separate interior spaces and to provide heat and sound insulation. Due to their low carrying capacity, they are considered as nonstructural components and are only taken into account as dead loads. However, studies have shown that infill walls significantly affect the building behavior. In addition, door and window openings are essential in infill walls for ventilation and lighting requirements. In this case, the frame behavior will also change in parallel with this. For this reason, in this study, the structural behavior of RC frames with infill walls including window openings of different sizes and voids under cyclic loads was experimentally investigated. For this purpose, 3 reinforced concrete frames with ½ scale were produced. One of them was produced without an opening, and the other two were produced in the same wall-window opening area, with different shapes and opening positions. The produced frames were tested under cyclic loads using the loading protocol suggested in FEMA 461. By using the findings obtained from the experiments, the carrying capacities, energy dissipation capacities and failure patterns of the infilled wall frames were determined. The findings revealed that the shape and position of the infill wall openings significantly changed the frame behavior.

Keywords: Reinforced concrete frame, Infill with opening, Cyclic loading, Load carrying capacity, Energy dissipation capacity, Aerated concrete

I. GİRİŞ

Genel olarak iç mekanları bölmek, ısı ve ses yalıtımı sağlamak için, betonarme yapılarda yaygın olarak dolgu duvarlar kullanılmaktadır. Düşük taşıma kapasiteleri sebebiyle, tasarım aşamasında sadece sabit yük olarak dikkate alınmakta ve yapısal olmayan bileşenler olarak kabul edilmektedirler. Son zamanlarda yapılan çalışmalar, dolgu duvarların yapı davranışını önemli ölçüde etkilediğini ve çerçevelerin davranışında farklı etkilere sahip olduğunu göstermektedir [1-4]. Deprem sonrası yapılan hasar araştırmalarının ve deneysel çalışmaların sonucuna göre, çerçeve sistemde meydana gelen ciddi hasarların, yapısal elemanlar ve dolgu duvarların arasındaki güçlü etkileşimden meydana geldiği, ayrıca depremden sonraki onarım maliyetlerinin büyük bir kısmının, duvarların onarımı için gerektiği tespit edilmiştir [5-7]. Dolgu duvarlar çerçeve elemanlarına bitişik olarak inşa edildiğinde, basınç etkisi altında çerçeve elemanından ayrılma eğilimindedirler ve artan sismik etkiler doğrultusunda duvarlar, zayıf noktalardan çatlayabilmekte, ezilmeler meydana gelebilmekte hatta göçmeler oluşmaktadır [8-12]. Tüm bunların yanında, havalandırma ve aydınlatma gereksinimleri için ihtiyaç duyulan kapı ve pencere açıklıklarının da duvar ve çerçeve davranışlarında dikkate alınması gerekmektedir. Bu yüzden son yıllarda birçok araştırmacı sismik aktivitesi yüksek bölgelerde, dolgu duvarlı çerçeve sistemlerin davranışlarını incelemeye odaklanmıştır [13].

Xuanhao Cheng ve diğ. [13] yaptıkları çalışmada; çelik bir çerçeve sistemde, yatay ve düşey bölme teknolojisi ile oluşturdukları dolgu duvarların, mekanik özelliklerini incelemişler ve benzer şekilde inşası yapılacak duvarların montajı ve uygulanması için rehberlik edecek önerilerde bulunmuşlardır. Sidi Shan [14] ve ekibi, kısmi dolgu duvarların, betonarme çerçeve sistemlerin göçme davranışı üzerindeki etkilerini incelemiştir. Angelis ve Pecce [15]; yaptıkları çalışmada, dinamik testlere dayanan, basit ve uygun maliyetli yenilikçi bir yöntem kullanarak, dolgu duvarların düzlem dışı yapısal davranışının tanımlanması için bir yöntem önermektedir. Binici ve diğ. [16] gaz betondan yapılan dolgu duvarların sismik davranışlarını incelemiş ve sismik davranışlarının iyileştirilmesi için çalışmalar yapmıştır. Çalışmalarının sonucunda önerdikleri yöntemlerin depreme dayanıklı dolgu duvarlar üretmek için iyi bir alternatif olduğunu savunmuşlardır. Buirado ve arkadaşları [17], Betonarme yapıların sağlamlığına dolgu duvarların etkisini araştırabilmek için, 1/1 ölçekli amaca uygun olarak hazırlanmış iki katlı bir yapı üzerinde testlerini gerçekleştirmişlerdir. Köşede bulunan bir kolonun ani olarak sistemden çıkarılması senaryosuna dayanan testlerde, dolgu duvarların çerçeve performansına katkısı incelenmiştir. Prakash ve Satyanarayanan [18], köşe kolon kaldırma senaryosunu uyguladıkları çalışmalarında, beş katlı bir betonarme yapının göçme davranışını inceleyerek, dolgu duvarların uygun bir yük transferini sağladığının ve betonarme çerçevelerin kademeli göçme direncini arttırabileceğinin sonucuna varmıştır. Jalaeefar ve Zargar [19], depreme maruz kalan dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin üzerinde oluşan etkileri incelemek amacıyla, 4,8 ve 12 katlı modeller oluşturarak sonlu elemanlar yöntemiyle analizlerini gerçekleştirmiştir.

Bu çalışmada, boşluksuz ve farklı boyutlarda pencere boşluklarına sahip gaz beton dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin, çevrimsel yükler altında yapısal davranışları deneysel olarak incelenmiştir. Deneylerden elde edilen bulgular kullanılarak dolgu duvarlı çerçevelerin taşıma kapasiteleri, enerji tüketme kapasiteleri ve kırılma biçimleri belirlenmiştir.

II. MATERYAL METOT

A. MATERYAL ÖZELLİKLERİ VE DUVAR ÜRETİMİ

Çalışmada kapsamında üretilen ½ ölçekli betonarme çerçevelerde kullanılan donatı ve betona ait bazı mekanik özellikler Tablo 1’de verilmektedir.

Tablo 1. Üretimde kullanılan donatı ve betona ait bazı özellikler.

Donatı		Beton	
Akma Dayanımı (N/mm^2)	494,03	Basınç Dayanımı (N/mm^2)	40,28
Çekme Dayanımı (N/mm^2)	624,21	Yoğunluk (kg/m^3)	2,31
Kopma Uzaması (%)	22,87		

Hazırlanan betonarme çerçevelerin dolgu duvarlarında, kolay temin edilmesi, kolay uygulanabilirliği, düşük maliyeti ve yaygın kullanımı sebebiyle gaz beton bloklar tercih edilmiştir. Gaz beton bloklara ait bazı fiziksel ve mekanik özellikler Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Gaz beton bloklara ait bazı özellikler.

Malzeme Özellikleri	
Boyut (cm)	60 x 19 x 25
Yoğunluk (kg/m^3)	400
Basınç Dayanımı (MPa)	2,5
Isıl İletkenlik Değeri (W/mK)	0,13

Gaz beton blokların örülmesinde kullanılan yapııştırma harcına ait özellikler Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3. Gaz beton yapııştırma harcına ait bazı özellikler.

Malzeme Özellikleri	
İşlenebilme Süresi ($dak.$)	240
Yoğunluk (kg/m^3)	1400 ± 100
Basınç Dayanımı (MPa)	5,0
Isıl İletkenlik Değeri (W/mK)	0,53

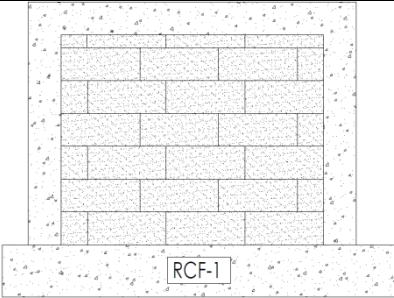
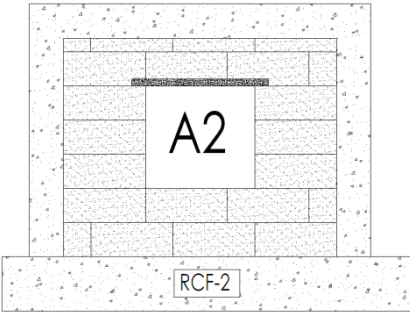
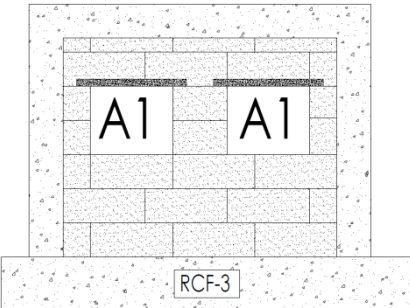
Gaz beton bloklar ile hazırlanan duvarların her iki yüzeyini, tamamen kaplayan 20 mm kalınlığında çimento esaslı hazır sıva uygulaması yapılmıştır. Kullanılan çimento esaslı hazır sıvanın özellikleri Tablo 4’de verilmektedir.

Tablo 4. Kullanılan hazır sıvaya ait fiziksel ve mekanik özellikler.

Malzeme Özellikleri	
Kuru Birim Hacim Ağırlık (kg/m^3)	1450 ± 100
Yaş Birim Hacim Ağırlık (kg/m^3)	1800 ± 100
Ortalama Basınç Dayanımı (MPa)	2,7
Ortalama Eğilme Dayanımı (MPa)	1,1
Aderans Dayanımı / Kuru Ortamda (MPa)	0,2
Elastikiyet Modülü (MPa)	4750 ± 100
Isıl İletkenlik Katsayısı (W/mK) 23.0 °C	0,420 ± 0,02

Dolgu duvarlar oluşturulurken, uygulamada sıklıkla karşılaşılan, havalandırma ve aydınlatma ihtiyacını gidermek amacıyla bırakılan pencere boşluklarını temsil etmesi amacıyla, farklı boyutlarda pencere boşlukları bırakılmıştır. Dolgu duvarlı betonarme çerçevelere ait görseller ve kullanılan kısaltmalar Tablo 5’de verilmektedir.

Tablo 5. Numune Kodlamaları ve Boşluk Ölçüleri.

Numune	Numune Kodlaması	Açıklama	Boşluk Ölçüleri
	RCF-1	Referans Çerçeve	-
	RCF-2	Tek Pencere Boşuklu Çerçeve	A2= 75 x 80 cm
	RCF-3	İki Pencere Boşuklu Çerçeve	A1= 50 x 60 cm

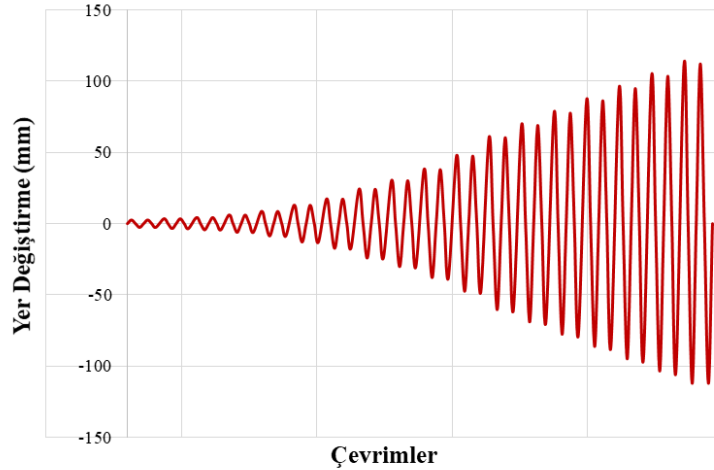
B. TEST DÜZENEGİ VE YÜKLEME PROTOKOLÜ

Çalışmanın temel amacı, betonarme dolgu duvarlı çerçevelerdeki boşluk alanı ve konumlarının, çevrimsel yük altındaki çerçeve davranışına etkilerinin karşılaştırılması olarak incelenmesidir. Bu amaçla, 250x225x20cm boyutlarında 3 adet dolgu duvarlı betonarme çerçeve üretilmiştir. Pencere boşluğu bulunan çerçevelerde boşluk konumları değişirken, toplam boşluk alanı sabit tutulmuştur. Çerçevelere ait görseller Şekil 1’de verilmiştir. Deneyler sonunda elde edilen çevrimsel yük eğrileri kullanılarak, deney elemanlarının, yük taşıma kapasiteleri, enerji tüketme kapasiteleri ve kırılma biçimlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.



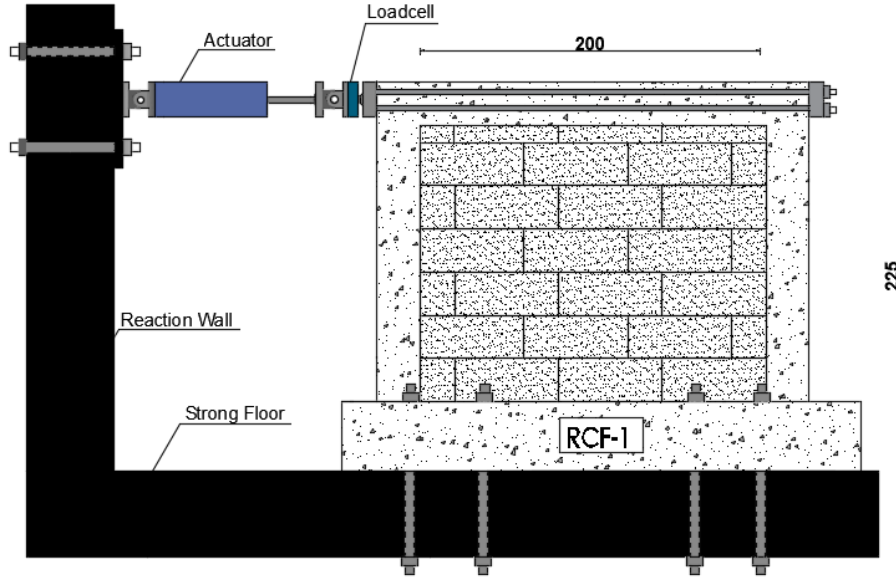
Şekil 1. Dolgu duvarlı çerçevelere ait görseller.

Çerçevelerin tümüne servohidrolik aktivatör yardımıyla yatay çevrimsel yük uygulanmıştır. Yapılan testlerde FEMA 461 [20] tarafından önerilen yükleme protokolü uygulanmıştır. Test örneklerine uygulanan ötelenme oranı (δ/H) sırasıyla, 0.15%, 0.20%, 0.25%, 0.35%, 0.50%, 0.75%, 1.00%, 1.40%, 1.75%, 2.20%, 2.75%, 3.50%, 4.00%, 4.50%, 5.00% oranlarındadır. Ötelenme oranının 3,5%’dan daha fazla uygulanmasının nedeni duvarların nihai durumlarını görmektir. Test sırasında her ötelenme oranı için yer değiştirme döngüsü iki kez tekrarlanmıştır. Yükleme ait protokol Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Yükleme Protokolü.

Test düzeneğinde 500 kN kapasiteli bir yük hücresi ile buna karşılık gelen tepe yer değiştirmesi ise aktivatöre yerleştirilmiş 500 mm ölçüm kapasiteli bir LVDT ile ölçülmüş ve veriler bilgisayara 0.125s aralıklarla kaydedilmiştir. Test düzeneğine ait detaylı görünüm Şekil 3’de verilmiştir.

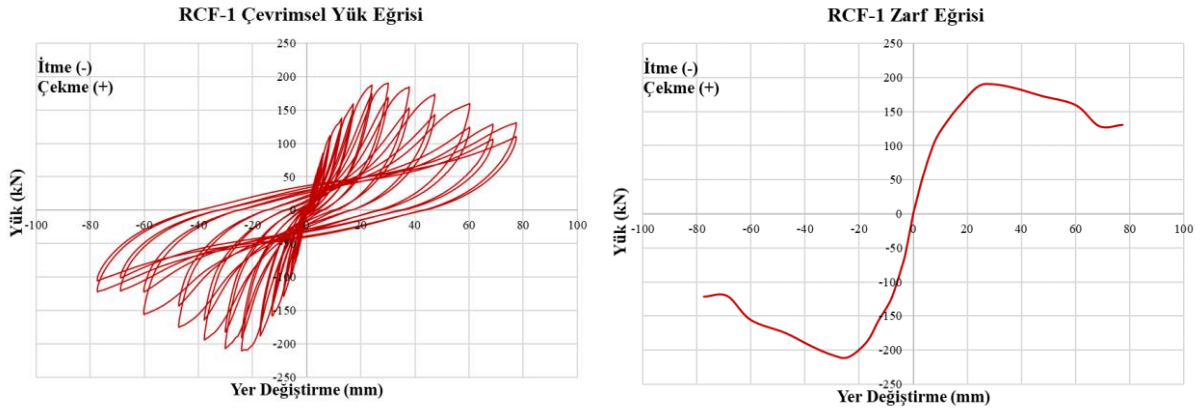


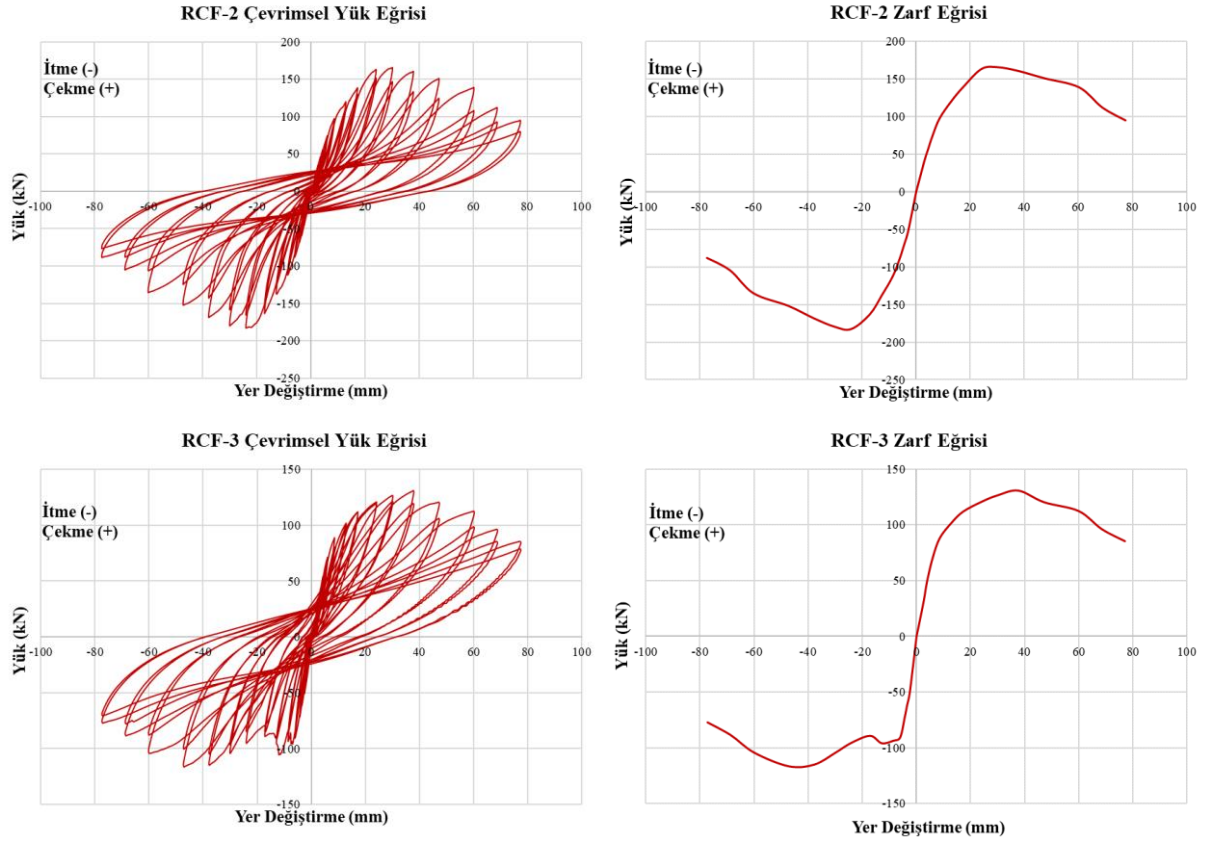
Şekil 3. Çevrimsel yük uygulaması için kullanılan test düzeneği.

III. BULGULAR

A. ÇEVİRİMSEL YÜK EĞRİLERİ

Referans olarak üretilen boşluksuz RCF-1, tek pencere boşluklu RCF-2 ve iki pencere boşluklu RCF-3 kodlu dolgu duvarlı çerçevelere ait çevrimsel yük-yer değiştirme eğrileri ve zarf eğrileri Şekil 4’de verilmiştir. Zarf eğrileri her çevrimde elde edilen maksimum yükler ve bunlara karşılık gelen yer değiştirmeler kullanılarak çizilmektedir. Şekillerden de görüldüğü gibi, boşluksuz ve boşluklu çerçevelerin çevrimsel yük eğrileri simetriğe yakındır. Boşlukların simetrik oluşu bu bulguları desteklemektedir.



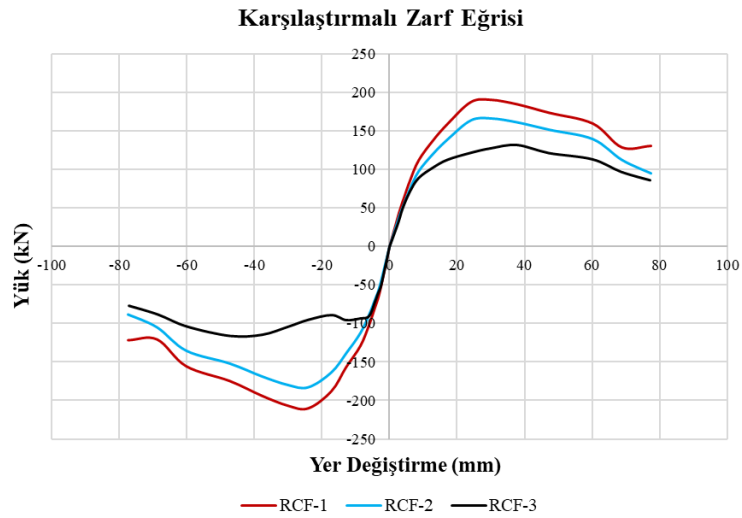


Şekil 4. Dolgu duvarlı çerçevelerin çevrimsel yük-yer değiştirme eğrileri.

IV. TARTIşMA

A. YÜK TAşIMA KAPASİTELERİ

Çevrimsel yükleme sonucu elde edilen zarf eğrileri karşılaştırılmalı olarak Şekil 5’de verilmiştir. İtme ve çekme yönlerinde elde edilen maksimum yük ve bu yüke karşılık gelen yer değiştirmeler ise Tablo 6’da verilmektedir.

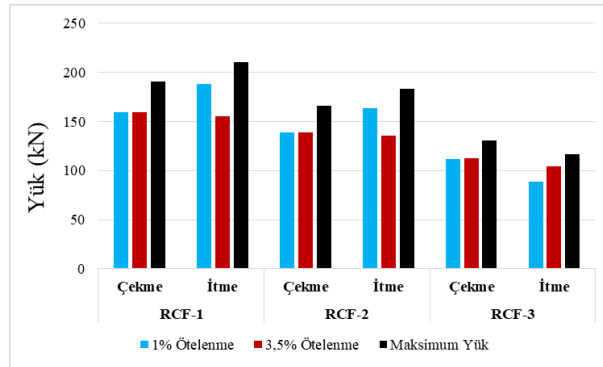


Şekil 5. Dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin karşılaştırılmalı zarf eğrisi.

Tablo 6. Maksimum yük ve maksimum yüke karşılık gelen yer değiştirme değerleri.

Yüklemeye Yönü	RCF-1		RCF-2		RCF-3	
	İtme	Çekme	İtme	Çekme	İtme	Çekme
Maksimum Yük (kN)	210,454	190,413	183,004	165,576	116,339	130,460
Yer Değiştirme (mm)	24,127	30,048	24,074	30,108	47,158	37,744

Şekil 5 ve Tablo 6 incelendiğinde, gaz beton dolgu duvarlı çerçevelerin, simetriye yakın bir davranış gösterdiği görülmektedir. RCF-1, RCF-2 ve RCF-3 çerçevelerinin maksimum yüke karşılık gelen yer değiştirme değerlerinin, sırasıyla itme yönünde 210,454kN – 24,074mm, 183,004kN – 24,074mm, 116,339kN – 47,158mm olduğu ve çekme yönünde 190,413kN – 30,108mm, 165,576kN – 30,108mm, 130,460kN – 37,744mm olduğu tespit edilmiştir. RCF-1 ve RCF-2 çerçeveleri itme yönünde maksimum yüke 8. çevrimde, çekme yönünde ise 9. çevrimde ulaşmıştır. Maksimum yükler göz önüne alındığında, RCF-2 çerçevesinin yük taşıma kapasitesinin, RCF-1 çerçevesine göre itme yönünde ve çekme yönünde %13 azaldığı görülmektedir. RCF-1 çerçevesinin RCF-3 çerçevesine göre yük taşıma kapasitesi ise itme yönünde %45 ve çekme yönünde %31 daha fazladır. Bu durum dolgu duvar boşluklarının taşıma kapasitesini önemli ölçüde etkilediği sonucunu ortaya koymaktadır. Ayrıca RCF-2 ve RCF-3 çerçevelerinde boşluk alanlarının aynı olmasına rağmen, biçim ve konumlarının farklı olması RCF-3'nin RCF-2'e göre daha düşük bir taşıma kapasitesi oluşmasına sebep olmuştur. Ötelenme oranlarına göre (%1 ve %3,5) karşılık gelen yükler ve maksimum yükler Şekil 6'da verilmiştir.

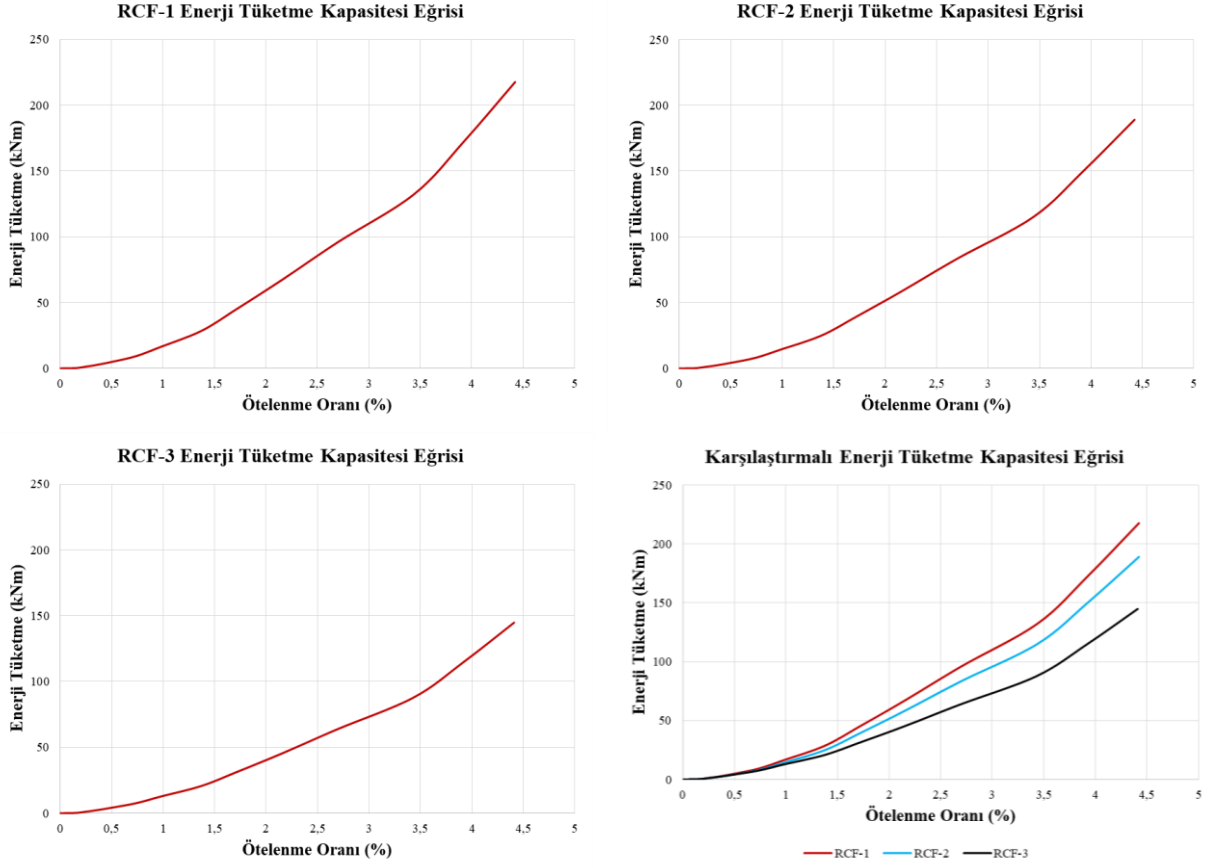


Şekil 6. Ötelenme oranlarına karşılık gelen yükler.

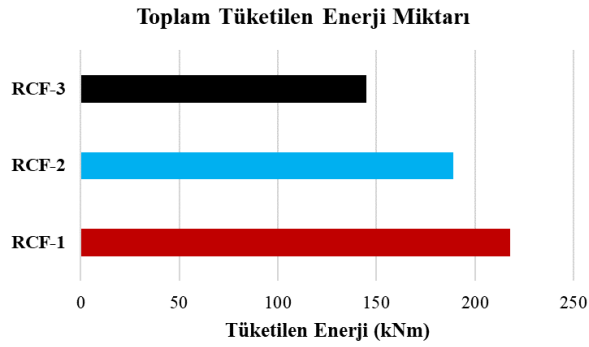
Şekilden de görüldüğü gibi, dolgu duvarlardaki pencere boşlukları yük taşıma kapasitesini etkilemektedir. Bunu yanında, pencere boşluk alanları aynı olmasına karşılık, RCF-3 çerçevesinin taşıma kapasitesindeki önemli düşüş, boşluk sayısının önemini ortaya koymuştur. Zira boşluk miktarının artmasıyla kritik kesitlerin daha fazla oluşması bu sonucu ortaya çıkarmaktadır.

B. ENERJİ TÜKETME KAPASİTELERİ

Gaz beton dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin yığılımlı enerji tüketme kapasiteleri, her bir çevrimde yük-yer değiştirme eğrisinin altındaki alanların yığılımlı olarak toplanmasıyla elde edilmektedir. Betonarme çerçevelere ait yığılımlı enerji tüketme kapasiteleri Şekil 7'de ve toplam tüketilen enerji miktarları Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 7. Dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin yığılımlı olarak tüketilen enerjileri



Şekil 8. Dolgu duvarlı betonarme çerçevelere ait toplam tüketilen enerji miktarları

Şekil 7 incelendiğinde, en yüksek enerji tüketme kapasitesine, yük taşıma kapasitesinde de göstermiş olduğu performansla birlikte RCF-1 kodlu betonarme çerçeve ulaşmıştır. Dolgu duvarlarda bırakılan boşluk şekillerine göre enerji tüketme kapasitelerinde düşüşler meydana gelmiştir. Şekil 7’den de görüldüğü gibi, özellikle %1.00 ötelenme oranından sonra, RCF-2 ve RCF-3 deney çerçevelerinin tükettikleri enerjilerin azalarak arttığı görülmektedir. Bu durum lokal hasarlardan dolayı, duvarların çerçevelerden ayrılması ve farklı bloklar halinde çalması ile açıklanabilir.

C.KIRILMA BİÇİMLERİ

Çevrimsel yükler altında davranışları incelenen dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin deney başlangıcı anındaki görüntüleri Şekil 9'da, %1 ötelenme oranına gelindiğindeki görüntüleri Şekil 10'da, %3,5 ötelenme oranına gelindiğindeki görüntüleri Şekil 11'de ve deney sonundaki görüntüleri Şekil 12'de verilmiştir.



Şekil 9. Deney Başlangıcında betonarme çerçevelerin dolgu duvarları.



Şekil 10. %1 ötelenme oranında, dolgu duvarlarda meydana gelen hasarlar.



Şekil 11. %3,5 ötelenme oranında, dolgu duvarlarda meydana gelen hasarlar.



Şekil 12. Deney sonunda meydana gelen hasarlar ve dolgu duvarlara ait kırılma biçimleri.

Şekillerden de görüldüğü gibi, hasar biçimleri dolgu duvar boşlukları da bulunan boşluklara göre değişiklik göstermektedir. RCF-1 deney çerçevesinde, duvar boyunca her iki köşegen doğrultusunda diyagonal çatlaklar oluşmuştur. Kolonlarda eğilme çatlakları, kolon diplerinde yaklaşık kolon uzun boyutunun yarısı yüksekliğinde oluşmaya başlamıştır. İlerleyen yükleme adımlarında, temel diplerinden mafsallaşmanın oluşmasıyla taşıma kapasitesine ulaşılmıştır. RCF-2 çerçevesinde çatlaklar

boşluk köşelerinde yoğunlaşmıştır. Pencere boşluklarının her iki tarafındaki duvar elemanlarının ayrılmasıyla, kolonda pencere boşluk seviyesinde eğilme çatlakları görülmüştür. İlerleyen yükleme adımlarında RCF-2 çerçevesine benzer şekilde kolon diplerinde mafsallaşma oluşmuştur. Son olarak RCF-3 çerçevesinin kırılma biçimi incelendiğinde, duvar ortasında bulunan blok ilk yüklemde üst parçadan ayrılarak ayrı çalışmaya başlamıştır. Yüklemin ilerlemesiyle orta blokta çapraz çatlaklar oluşmuş ve duvar üst ve alt blok olarak ayrı olarak çalışmaya başlamıştır. Yine kolonda pencere alt seviyesinde belirgin kesmeli-eğilme çatlakları oluşmuştur. Diğer çerçevelerde olduğu gibi kolonların diplerinde mafsallaşma ile taşıma kapasitesine ulaşılmıştır.

V. SONUÇ

Boşluksuz ve farklı boyutlarda pencere boşluklarına sahip gaz beton dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin, çevrimsel yükler altında yapısal davranışlarının incelendiği bu deneysel çalışmanın tamamından çıkarılacak başlıca sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Maksimum yükler göz önüne alındığında, en yüksek taşıma kapasitesine sahip olan çerçevenin RCF-1 olduğu görülmektedir. Bırakılan boşlukların taşıma kapasitesini düşürdüğü belirlenmiştir. Taşıma kapasitesini, boşluk alanından daha çok, boşluk adedinin daha fazla düşürdüğü tespit edilmiştir.
- En yüksek enerji tüketme kapasitesine, yük taşıma kapasitesinde de olduğu gibi RCF-1 kodlu betonarme çerçeve ulaşmıştır.
- Enerji tüketme kapasiteleri karşılaştırmalı olarak incelendiğinde, RCF-2 ve RCF-3 çerçevelerinin %1 ötelenme oranından sonra enerji tüketmelerinde azalmalar meydana geldiği tespit edilmiştir.
- Çerçevelerde oluşan hasar biçimlerinin, boşluk alanı ve yerine göre değişiklik göstererek enerji tüketme kapasitesi ve yük taşıma kapasitesini değiştirdiği gözlemlenmiştir.
- Boşluklu çerçevelerde, boşluk seviyelerinde kesmeli eğilme çatlaklarının görülmesi, kısa kolon oluşumunu hatırlatmaktadır. Bu sebeple kolonların donatılmasına daha fazla önem verilmelidir.
- Tüm çerçevelerde taşıma kapasitesine ulaşıldıktan sonra kolon diplerinde mafsallaşmalar meydana geldiği görülmüştür.

Sınırlı sayıda deney elemanı ile elde edilen bu sonuçlar, gaz beton dolgu duvar boşluklarının çerçeve davranışını değiştirdiğini ortaya koymaktadır. Buradan çıkan sonuçların, genelleştirilebilmesi için farklı konfigürasyonlara sahip betonarme boşluklu çerçevelerin test edilmesi gerekmektedir.

VI. KAYNAKLAR

[1] Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. (2021, 18 Haziran). *Türkiye bina deprem yönetmeliği* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2018/03/20180318M1-2.htm>.

[2] S. Hak, P. Morandi, and G. Magenes, "Prediction of inter-storey drifts for regular RC structures with masonry infills based on bare frame modelling," *Bulletin of Earthquake Engineering*, vol. 16, no. 1, pp. 397-425, 2018.

- [3] P. Ricci, M. T. De Risi, G. M. Verderame, and G. Manfredi, "Influence of infill distribution and design typology on seismic performance of low- and mid-rise RC buildings," *Bulletin of Earthquake Engineering*, vol. 11, no. 5, pp. 1585-1616, 2013.
- [4] F. Braga, V. Manfredi, A. Masi, A. Salvatori, and M. Vona, "Performance of non-structural elements in RC buildings during the L'Aquila, 2009 earthquake," *Bulletin of Earthquake Engineering*, vol. 9, no. 1, pp. 307-324, 2011.
- [5] A. T. Council, "*Reducing the risks of nonstructural earthquake damage*," Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C., Rep. ATC-69-1, 2012.
- [6] Earthquake Engineering Research Institute. (2021, June 18) *The M_w 6.3 Abruzzo, Earthquake of April 6; 2009 (EERI Special Earthquake Report)* [Online]. Available: http://www.reluis.it/doc/pdf/Aquila/EERI_L_Aquila_report.pdf.
- [7] A. T. Council, "*Evaluation of earthquake damaged concrete and masonry wall buildings*," Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C., Rep. ATC-43, 2012.
- [8] I. S. Misir, "Potential use of locked brick infill walls to decrease soft-story formation in frame buildings," *Journal of Performance of Constructed Facilities*, vol. 29, no. 5, pp. 04014133, 2015.
- [9] B.S. Smith, "Lateral stiffness of infilled frames.," *Journal of the Structural Division*, vol. 88, no. 6, pp. 183-99, 1962.
- [10] V. V. Bertero and J. W. Axley, "*Infill panels: Their influence on seismic response of buildings*," Earthquake Engineering Research Center, Berkeley, California, Rep. UCB/EERC-79/28, Sep. 1979.
- [11] S. K. Jain and C. V. R. Murty, "Beneficial influence of masonry infill walls on seismic performance of RC frame buildings," *12th World Conference on Earthquake Engineering*, 2000, pp. 1790-1796.
- [12] M. S. Gunay and K. M. Mosalam, "*Structural engineering reconnaissance of the April 6, 2009, Abruzzo, Italy, earthquake, and lessons learned*," University of California, Berkeley, Rep. 2010/105, 2010.
- [13] X. Cheng, Z. Zou, Z. Zhu, S. Zai, S. Yuan, Y. Mo, W. Chen, and J. He, "A new construction technology suitable for frame partitioned infill walls with sliding nodes and large openings: Test results," *Construction and Building Materials*, vol. 258, pp. 119644, 2020.
- [14] S. Shan, S. Li, M. M. Kose, H. Sezen, and S. Wang, "Effect of partial infill walls on collapse behavior of reinforced concrete frames," *Engineering Structures*, vol. 197, pp. 109377, 2019.
- [15] A. De Angelis and M. R. Pecce, "Out-of-plane structural identification of a masonry infill wall inside beam-column RC frames," *Engineering Structures*, vol. 173, pp. 546-558, 2018.
- [16] B. Binici, E. Canbay, A. Aldemir, O. İsmail, U. Uzgan, Z. Eryurtlu, K. Bulbul, and A. Yakut, "Seismic behavior and improvement of autoclaved aerated concrete infill walls," *Engineering Structures*, vol. 193, pp. 68-81, 2019.
- [17] M. Buitrago, E. Bertolesi, J. Sagaseta, P. A. Calderón, and J. M. Adam, "Robustness of RC building structures with infill masonry walls: Tests on a purpose-built structure," *Engineering Structures*, vol. 226, pp. 111384, 2021.

- [18] M. Prakash and K. S. Satyanarayanan, "Experimental study on progressive collapse of reinforced concrete frames under a corner column removal scenario," *Materials Today: Proceedings*, vol. 40, pp. 569-574, 2020.
- [19] A. Jalaefar and A. Zargar, "Effect of infill walls on behavior of reinforced concrete special moment frames under seismic sequences," *Structures*, vol. 28, pp. 766-773, 2020.
- [20] A. T. Council, "*Interim testing protocols for determining the seismic performance characteristics of structural and nonstructural components*," Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C., Rep. ATC-58, 2007.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Derleme Makalesi

Atık Yağ, Gres ve Lipid Maddeleri ile Uzun Zincirli Yağ Asitlerinin Anaerobik Prosesle Arıtılabilirliği Üzerine Derleme Çalışması

 Dilek ERDİRENCELEBİ^{a,*}

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

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

DOI: 10.29130/dubited.865916

Öz

Bu derleme çalışması kapsamında yağ, gres ve lipid maddelerinden (YGLM) anaerobik biyoteknoloji ile biyoenerji eldesi, atıksulardaki kaynakları, oluşumları, biyolojik parçalanma özellikleri, anaerobik arıtım mikrobiyolojisi ve uygulamaları incelenmiştir. Etkin YGLM giderimi gerçekleştiren gerçek ölçekli anaerobik proses uygulamalarına ait bilgi ulusal literatürde bulunmamakta ve mevcut uygulamalar kentsel çamur çürütme ile endüstriyel ölçekte atıksulardan kolay ayrışabilir organik madde giderimi ile sınırlı kalmaktadır. Hindistan ve Çin gibi fosil yakıt kaynağı bulunmayan ülkelerde evsel atıksuların da anaerobik arıtıma yönlendirilmesi, bu prosesin uygulama potansiyelinin geniş kapsamını göstermektedir. YGLM evsel ve birçok endüstriyel atıksu/atıkta farklı konsantrasyonlarda bulunurken sonraki biyolojik arıtım performansını korumak için çoğunlukla yağ ayırma ünitelerinde atık olarak atıksulardan ayrılmakta ve depolama sahalarına veya çimento fabrikalarına gönderilerek uzaklaştırılmaktadır. Mevcut durumda aerobik prosesle işletilen ve yüksek maliyetlere yol açan endüstriyel atıksu arıtımında anaerobik prosesin yaygınlaşması ve YGLM'nin enerji kaynağı olarak prosese katılması önemli ekonomik katkı sağlayacaktır. YGLM'nin yüksek metan/enerji eldesine dönüşüm potansiyelinin optimum şekilde açığa çıkması için uygun reaktör tipi seçimi ile organik yükleme hızı (OYH), besleme modu ile inhibisyon önleme gibi özel proses işletim şartları gerekmektedir. Bu çalışma, yenilenebilir enerji kaynağı olarak YGLM'nin anaerobik prosesle değerlendirilmesine yönelik sahada arıtım ile akademik araştırma çalışmalarına katkı sağlaması amacıyla literatürde verilen teorik ve uygulama bilgilerinin derlenmesi ile oluşturulmuştur. YGLM'nin ilk basamak hidroliz reaksiyonunda oluşan ara ürünlerin yüksek sayıda C zincirli ve hidrofobik yapıları nedeniyle anaerobik mikroorganizmalar üzerinde inhibisyon etkisi oluşmakta, biyokütlenin reaktörde flotasyonu ve sonrasında kaçışı ile proses bozulması gerçekleşmektedir. Yapılan ilk arıtım çalışmalarında inhibisyon etkisinin kontrolünde toplam yağ asidi konsantrasyonunun eşik değeri belirlenmiş fakat ilerleyen araştırmalarda farklı yağ asidi türleri için farklı inhibisyon değerleri ve etkileri belirlenmiştir. Ardışık anaerobik reaksiyonlarla yağ asitlerinin oksidasyon hızını ve yönünü etkileyen önemli mikrobiyal reaksiyonlar belirlenmiştir. Kesikli besleme modu, reaktörde biyokütle tutunumu sağlayan düşük OYH, floküler çamur ve mezofilik sıcaklık seviyesi gibi işletim koşulları ile yeterli seyrelme sağlayan reaktör tipleri uygun bulunmuştur. Ayrıca protein içerikli atıklarla çoklu anaerobik çürütmenin avantaj ve potansiyeli belirtilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yağ, Gres, Lipid, Anaerobik, Arıtım, Yenilenebilir Enerji, Uzun Zincirli Yağ Asitleri, İnhibisyon, İşletim.

A Review on the Anaerobic Treatability of the Waste Oil, Fat, Grease and Lipid Materials and Long Chain Fatty Acids

ABSTRACT

In this study, origins, characteristics, anaerobic treatability studies and applications including related microbiology were reviewed towards the removal and energy gain from fat, oil and grease (FOG) matter and their intermediate products present in the wastewaters. This review was aimed to contribute to the national literature and design of the full-scale applications on efficient conversion of FOG matter in waste and wastewaters to biogas using anaerobic treatment as nationwide applications are mostly limited to industrial wastewaters with biodegradable soluble organic wastes at industrial scale. Operational biogas plants receive mostly organic wastes originating from animal husbandry and agricultural activities at pre-described rates by the manufacturers. Worldwide applications proved the large range of feasibility for anaerobic process from complex wastes to dilute municipal wastewater. FOG is present in many industrial and municipal wastewaters but mostly separated in DAF units and disposed in landfills or cement factories. FOG presents a high potential for energy recovery in the form of methane gas through anaerobic biotechnology. Performance data were presented regarding to optimum operational characteristics and reactor choice for implementation in the field. Specific operational parameters as organic loading rate (OLR), feeding mode and prevention of inhibition are required to achieve the potential due to the first and slow hydrolysis stage and intermediate products which possess high C number and low solubility in water (hydrophobic) inducing low degradability and inhibitory characteristics. Hydrophobic fatty acids get adsorbed on the bacterial cell wall, prevent the transfer of materials essential to cell metabolism and promote the biomass float and getting washed out of the reactor where biomass immobilization is crucially important to overcome the inhibitory effect. Failure of the process is the gradual result disabling longterm operation. First research studies focused on the threshold value for the total fatty acid concentration tolerable before the start of inhibition and then single fatty acid characteristics were investigated. Several activities conducting and promoting beta-oxidation of fatty acids were stated. Sequential feeding, low OLR, biomass immobilization and reactors enabling sufficient dilution were emphasized for optimum conversion of FOG to methane. Additionally, co-digestion with proteinaceous wastes were presented with synergetic advantages.

Keywords: Fat, Oil, Grease, Anaerobic, Treatment, Renewable Energy, Long Chain Fatty Acids, Inhibition, Operation.

I. GİRİŞ

Atıksularda bulunan yağ, gres ve lipid maddeleri (YGLM), yarattığı olumsuz durumlar (birikme, yüzme, tıkanma vb.) nedeniyle kanala deşarjda sınır getirilen önemli bir kirletici parametredir [1]. Kanal işletimi ve sonundaki ortak arıtımı korumak için endüstriyel tesislerin kanala deşarj öncesinde ön arıtım ile atıksularındaki yağ-gres konsantrasyonunu uygun seviyeye indirmeleri yönetmeliklerce zorunlu tutulmuştur; ör. organize sanayi bölgeleri (OSB) veya endüstrilerin kentsel kanalizasyona deşarj kriterleri. YGLM, endüstriyel atıksu arıtma aerobik veya anaerobik reaktörlerde arıtım performansı üzerinde negatif etki göstermektedir [1]-[3]. Mevcut durumda yüksek YGLM içeriği çoğunlukla ön arıtım kademesindeki yağ tutma ünitelerinde ayrılarak katı atık depolama sahalarında veya çimento fabrikalarında bertaraf edilmektedir.

Artan şehirleşme trendine ek olarak endüstriyel atıksu girişi ve kentsel yiyecek sektörü atıkları, YGLM'nin kentsel atıksularda belirgin bir seviyenin üzerine çıkmasına neden olmaktadır. Sonuç olarak hem kentsel atıksu arıtma tesisleri (AAT) ana hat biyolojik arıtım performansı bozulmakta hem de oluşan arıtma çamurlarının çökelme ve yoğunlaşma kabiliyeti düşmektedir. Serbest YGLM ön çöktürme ünitelerinde yüzeyden sıyırma ile kısmen atıksudan ayrılmakta, fakat emülsiyeye türler daha çok çöken partikül maddelerin yüzeyinde adsorplanmış olarak birincil ve ikincil arıtma çamurlarına geçmektedir. Ana hat biyolojik arıtım ünitesinde de bakteri yüzeyinde adsorplanma sonucunda boğulma ile canlılık kaybı ve flotasyon ile çökmeden kaçan biyokütleyle sebep olmaktadır [1]. Her iki durumda da biyolojik aktivitede önemli düşüşler meydana gelmektedir. YGLM ve hidroliz ürünlerinin arıtma çamurlarında belirgin seviyede bulunmaları, bu maddelerin partikül/kolloid ve bakteri yüzeylerine adsorplanma sonrasında yeterince giderime uğramadan atık çamurda birikime uğradıklarını göstermektedir [2]. Anaerobik arıtım/dönüşüm/çürütme prosesi arıtma çamurlarının çürütülmesinde yaygın olarak kullanılan çamur stabilizasyon yöntemidir. Arıtma çamurunun organik içeriği yaklaşık %40-50 mertebesinde %65-70 metan ve %30-35 CO₂'den oluşan biyogaza dönüşürken tarımda kullanıma uygun

organik ve nütrient içeriğine sahip, patojen ve vektör giderimi sağlanmış stabilize çamur/biyokatiya dönüşüm ve aynı zamanda kentsel AAT'lerin yüksek seviyede gerçekleşen işletim masraflarının karşılanmasında önemli katkı sağlanır [4]. Anaerobik çürütücüler çoğunlukla tasarlanandan daha düşük katı madde (KM) içeriğinde çamurla beslendikleri için dışarıdan organik atık ilavesi ile eş-zamanlı çürütme potansiyeline de sahiptirler [5]-[7].

Anaerobik çürütme, kuvvetli ve kompleks karakterdeki organik atıkları ardışık hidroliz-asitlenme-metanlaşma reaksiyonlarıyla ayrıştırarak metan ve CO₂'e dönüştürme özelliği sayesinde yenilenebilir enerji üreten teknoloji olarak dünyada giderek yaygınlaşmaktadır [3], [5]. Endüstriyel atıksuların YGLM içeriği arıtılmadan kentsel kanalizasyona deşarj edildiği durumlarda evsel atıksu içeriğinde YGLM tür ve miktar olarak değişir. Anaerobik bozunma ürünleri olan uzun zincirli yağ asitleri (UZYA) ile anaerobik çamur çürütme prosesinde kısıtlı seviyede giderim sonucu çıkış süzöntü suyunda ve çamurda yüksek konsantrasyonda gerçekleşirler ve stabilize/çürümüş çamur susuzlaşma ve faydalı kullanıma yönelik kalitesini düşürerek maliyet artışına neden olurlar [1,8]. Artan arıtma çamuru miktarı ve kirletici içeriği önemli bir problemdir ve anaerobik çamur çürütücülerde uygulanan tipik hidrolik bekletme süreleri (HBS) ve sıcaklık değerleri bu tip maddelerin etkin giderimi için yeterli olmamaktadır [7]. Ayrıca anaerobik çürütücülerde oluşan köpüklenme işletim problemlerine neden olmaktadır [8], [9]. Buna ilaveten çürütücü çıkış süzöntü sularının AAT ana hattına geri devri mevcut arıtım sistemini olumsuz etkilemekte ve olası yan akım arıtımının da YGLM içeriğine göre tasarlanması gerekmektedir [10]. Mevcut durumda YGLM ve parçalanma ürünlerinin kentsel AAT'lerde oluşturduğu problemler kaynağı bilinmeyen işletim problemleri olarak da ortaya çıkmaktadır. Diğer yandan YGLM'nin biyogaz üretimini belirgin şekilde arttırdığı, çürütücülere beslenen ek organik madde çalışmaları ile ortaya konmaktadır [9]. Bu maddelerin kaynağında arıtılarak enerjiye dönüştürülmesi daha uygun ve sürdürülebilir bir yaklaşım olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu maddelerin etkin ve kararlı giderimi için hem endüstriyel arıtım tesislerinde hem de kentsel anaerobik çamur çürütücülerde gerekli arıtım ve işletim şartlarının uygulanmasına ihtiyaç bulunmaktadır. Bu şartlar sağlandığında yüksek metanlaşma, arıtım ve işletim verimi ile uygun stabilize çamur kalitesine ulaşmak mümkündür.

Bu derleme çalışması kapsamında atıksularda bulunan YGLM ve ayrışma ürünleri UZYA'nın özellikleri, arıtım uygulamaları, oluşan problemlere yönelik çalışmalar ve elde edilen sonuçlar, sahada yürütülen mühendislik çalışmalarına ve yeni tasarımlara yol gösterici olması bakımından incelenmiş ve sunulmuştur.

II. YGLM, UZYA VE ARITILABİLİRLİK ÖZELLİKLERİ

YGLM bitkisel, hayvansal veya mineral bazlı olmaktadır. Yağlar, yağ asitlerinin (YA) gliserol esterleri olan çeşitli trigliseritlerden oluşurlar ve katı, sıvı veya gres olarak sınıflandırılmaları ortalama molekül ağırlıklarına ve doyunluk derecelerine göre gerçekleşir; ör. serbest yağ, fiziksel emülsiyonlar, kimyasal emülsiyonlar veya çözünmüş yağlar [1]. YGLM hidrofobik ve suda çözünürlüğü farklı derecelerde düşük maddelerdir ve bu özelliklerinden dolayı yüzeyler üzerinde adsorplanma ve su yüzeyine çıkma (flotasyon) eğilimi gösterirler. Farklı özelliklerine göre katı yağlar düşük erime derecelerine sahipken (donyağı, tereyağ ve domuz yağı), sıvı yağlar oda sıcaklığında sıvı formda bulunurlar ve yenilebilir türleri pamuk, ayçiçeği, palm, fındık, kanola, zeytin, soya ve mısır gibi bitkilerden elde edilir. Mineral türleri petrol hidrokarbonlarından oluşur ve gres ise katı-sıvı yağlar, balmumu maddeleri ve sabunların yarı-katı fiziksel formlarıdır.

Endüstri tiplerine göre atık veya atıksularda oluşan YGLM türleri Tablo 1'de sunulmuştur [1], [9]. Kimyasal emülsiyonlar çoğunlukla otomotiv ve makine/parça üreten endüstrilerde metalle işlem aşamalarında kullanım sonucunda açığa çıkmaktadır. Bu akışkanlar iki karışmayan sıvının (petrol/mineral yağ ve su) bir emülsifiye edici kimyasal ile kararlı hale getirilmiş karışımıdır. Su ve yağı ayırmak için emülsifiye kimyasalı bir asit tuzu (ör. alum) ile parçalanmalıdır. Emülsifiye yağlar ise kararlı yağ-su karışımlarıdır ve sudan ayrılmaları için ısıtma veya kimyasal ilavesi gerektirirler. Fiziksel yağ-su emülsiyonları su ve suda çözünmeyen ağır yağların mekanik olarak (yüksek hızda santrifüj

pompalama gibi) oluşturulmuş karışımlardır ve kimyasal emülsiyonlardan daha düşük kararlılıktadır ve sudan ayrılmaları sıcaklık veya koagülant ilavesi ile (ör. alum) sağlanabilir.

Evsel ve endüstriyel atıksularda en yaygın bulunan YGLM türleri doymamış sıvı yağ ve doymuş katı yağlardır. YGLM atıksularda emülsiyon, serbest yüzen yağ veya katılara tutunmuş/adsorplanmış şekilde bulunurlar. Serbest yüzen yağların yoğunluğu 1'den düşük olduğu için graviteli çöktürücülerde veya havalandırılmalı flotasyon ünitelerinde yüzeyden sıyrılarak ayrılabilirler. Bu tip yağlar rafinerilerde, petrokimya tesislerinde, çelik üretiminde ve endüstriyel çamaşırhanelerde oluşurlar. Yüksek hidrofobisite özelliklerinden dolayı atıksulardaki partiküllere adsorplanarak birincil çamur (BÇ), atık biyolojik çamur (ikincil çamur (İÇ)) ve karışık çamur (KÇ) içeriğinde kentsel AAT çamur çürütücülerine giriş yaparlar [2]. BÇ ve İÇ olarak oluşan evsel arıtma çamurları genellikle yüksek miktarda lipid ve serbest YA içerirler. Yüksek sayıda yemek/yiyecek sektörünün faaliyet gösterdiği büyükşehirlerin sadece evsel kaynaklı AAT çamurlarında da yüksek seviyede YGLM bulunabilmektedir. Katı ve sıvı yağlar, yağ-gres parametresi olarak en yüksek BÇ içeriğinde (%6-35 toplam katı madde (TKM)) gerçekleşirken ve İÇ ve çürütülmüş stabilize çamurda sırasıyla %5-12 ve 5-20 TKM [2] seviyesinde verilirken KÇ'da %20-25 yağ-gres ve 40-100 mg UZYA/L [11] aralığında bildirilmiştir.

UZYA'ların 3-gliseridli esterlerinden oluşan lipidler süt, balık işleme, dondurma, yağ, mezbaha ve sebze işleme atıklarının içeriğinde yüksek seviyelerde bulunurlar ve büyük bir kısmı yağların işlenmesi sırasında açığa çıkarlar. Lipidlerin düşük çözünürlüklerinden dolayı biyolojik olarak parçalanmaları zordur. Yakma ile bertarafında ise yüksek su içeriği sebebiyle yüksek maliyetler oluşur. Farklı yapıda birçok madde lipidler sınıfı içinde yer alırken ortak nokta YA olmakta, YA taşımayanların lipidler sınıfına dahil edilebilmeleri için YA ile esterleşebilir veya diğer bazı özelliklere (apolar ve hidrofobik yapı, sadece organik solventlerde çözünebilirlik, biyolojik olarak kullanılabilirlik) sahip olmaları gerekir [9].

Tablo 1. Endüstri bazında atıksularda oluşan YGLM tipleri (WEF ve Alves ve d.'den adapte edilmiştir [1,9])

Endüstriler	YGLM Türü	YGLM İçeriği (mg/L)	Kaynak
Süt İşleme, Süt ürünleri	Hayvansal	900-2000	Kim ve d. [12]
Şeker üretimi	Bitkisel		
Rendering, Mezbaha ve et üretimi	Hayvansal	350-520	Sayed ve d. [13]
Sabun üretimi	Bitkisel ve hayvansal		
Bitkisel yağ rafinerileri	Bitkisel	200-1300* 5000-25000**	Saatci ve d. [14] Beccari ve d. [15]
Lokantalar	Bitkisel ve hayvansal		
Yemek fabrikaları	Bitkisel ve hayvansal		
Çamaşırhaneler	Hayvansal, bitkisel ve mineral		
Metal işleme	Mineral		
Yün yıkama	Hayvansal	5000-25000	Becker ve d. [16]
Evsel Arıtma Çamurları	Hayvansal, bitkisel ve mineral	40-100	Quémeneur ve Marty [11]

* Ayçiçek yağı üretimi, ** Zeytinyağı Üretimi

Evsel arıtma çamurları, mezbahalar ve et paketleme tesisleri vb. birçok endüstri atıksularında yüksek miktarda lipid ve serbest YA içeriği bildirilmiştir: ör. oleat (C18:1) ve linoleat (C18:2) atıksu ve atıklarda en yüksek miktarda bulunan doymamış UZYA'lar olarak belirlenmiştir [11], [17]. Süt endüstrisi atıksuyu bileşiminde %37, 13, 27 ve 7 oranlarında sırasıyla oleat, linoleat, palmitat ve stearat bulunurken diğer türler toplamda sadece %16 seviyesinde bulunmuştur. Oleik asit zeytinyağında, badem ve bitkisel yağlarda, stearik asit kakao, donyağı, mum yağı ve hayvansal yağlarda bulunmaktadır [18]. Oleat atıklarda en yaygın olarak bulunurken palmitat ve stearat mezbaha atıksularında ve stearat ise

bitkisel yağ kaynaklı olarak evsel atıksularda yüksek konsantrasyonlarda bulunmaktadır [11], [17]. Palmitik, palmitoleik ve eikosapentaenoik asitler palm ve balık yağlarında yüksek seviyede bulunurlar [19]. Eikosapentaenoik asit bir omega-3 YA'dır ve ticari olarak değere sahiptir. Evsel atıksuda belirlenen türler ve konsantrasyonları ülke ve bölge bazında yerel ürünler ve yemek alışkanlıklarına göre önemli derecede değişmektedir. Palmitat ve oleat sırasıyla en çok bulunan doymuş ve doymamış UZYA türleri olmaktadır. Atıksu ve yağ ham maddelerinin UZYA kompozisyonundaki baskın türlerin literatürde verilen seviyeleri Tablo 2'de özetlenmiştir.

Tablo 2. Atıksu ve yağ ham maddelerinin UZYA kompozisyonundaki baskın türleri [9]

YAĞLAR	UZYA Kompozisyonu (%)			
	palmitat	oleat	linoleat	stearat
Palmiye yağı	42,9	39		
Zeytin yağı	14,3	71,4		
Soya yağı	11	21,9	49	
Kakao yağı	26,7	33,8		32,9
Süt yağı	21	39	13	
Tavuk yağı	21	42,4	20	
Sığır donyağı	28,1	37,6		20
Süt atıksuyu	27	37	13	
Evsel atıksu	16,4	30,5	29,2	8,1

UZYA türleri nötr pH ve üzerinde iyonize karboksilat formlarında bulunurlar ve –at olarak tanımlanırlar [9]. Alifatik zincirinde çift bağa sahip olan ve olmayan UZYA'lar sırasıyla doymamış ve doymuş olarak tanımlanırlar [20]. Doğada birçok doymamış UZYA cis konfigürasyonunda (ör. cis-9-oleik asit) bulunur ve cis çift bağları içeren bileşikler doymuş UZYA'lara göre daha kısıtlı ayrışabilirliğe sahiptir. UZYA'ların zincir uzunluğu (C sayısı) arttıkça suda çözünürlükleri azalır; ör. palmitik ve stearik asitlerin suda çözünürlüğü (20°C) sırasıyla 7,2 ve 2,9 mg/L su'dur. Daha kısa zincirli kaprilik asitin suda çözünürlüğü 30°C'de 790 mg/L olurken, doymamış türler göreceli olarak daha yüksek çözünürlüğe sahiptirler; ör. linoleik asit 160 mg/L (6,7°C).

Kentsel arıtma çamurlarında ve anaerobik çürütücülerde YGLM ve UZYA miktarı ve değişimi ve metan eldesine katkısı rutin analiz olarak izlenmemektedir çünkü bu maddeler için özel analiz yöntemleri gereklidir ve rutin UYA ölçüm sonuçları da bu konuda faydalı bilgi vermezler. Bu önemli enerji kaynağının anaerobik proses ile optimum kullanımını sağlayacak kentsel veya endüstriyel uygulamalarda optimum HBS, organik yükleme hızı (OYH) ve sıcaklık gibi tasarım ve işletim parametre değerleri önem arz etmektedir. Kentsel AAT'lerde mevcut yaygın uygulamada 20 gün'lük HBS ve 35-37°C'lik sıcaklık aralığı gibi yaygın kriterlerle işletimde bu potansiyelin ne kadarının kullanılmakta olduğu bilinmemektedir [2].

YGLM içerikli atıksuların aerobik biyolojik proses ile arıtımı mümkün değilken anaerobik proses ile oksijensiz ve indirgeyici ortamda ardışık reaksiyonlarla CH₄, CO₂ ve su buharı gibi kararlı son ürünlere dönüşürler [5]. İlk aşama hidroliz basamağında makro moleküller (karbonhidratlar, proteinler ve yağlar) hücre dışı enzimler yardımıyla (selülaz, proteaz ve lipaz vb.) şeker, aminoasit, UZYA ve gliserol gibi monomerlere, beta-oksidasyon reaksiyonu ile asidojen bakterilerce uçucu yağ asitleri (UYA), asetojenlerce H₂, CO₂ ile asetata dönüşüm sonrası iki ana grup metanojen tarafından metana çevrilirler. Detaylı proses mikrobiyolojisi Rittmann ve McCarty içeriğinde sunulmuştur [21].

YGLM'nin anaerobik proses ile arıtımı diğer organik madde tiplerine göre daha yüksek metan dönüşümü sağlamaktadır. Yağların dönüşümü sonucunda oluşan metan değeri 1 m³/kg YGLM (1,25 m³ CH₄/kg UAKM) olarak, protein (0,63 m³/kg (0,7 m³ CH₄/kg UAKM)) ve karbonhidrat (0,42 m³/kg (0,8 m³ CH₄/kg UAKM)) için gerçekleşenden daha yüksektir [1]. Biyokütle sentezinde ise dönüşüm oranının, protein ve karbonhidrata kıyasla yağlar için düşük olması da yüksek enerji eldesinde düşük çamur (uçucu askıda katı madde (UAKM)) oluşumu avantajını göstermektedir; protein ve

karbonhidratlar için biyokütle/besin dönüşüm oranı sırasıyla 0,2 ve 0,35 g UAKM/g KOİ ve YGLM dönüşümünde 0,038 g UAKM/g KOİ olarak en düşük seviyede belirlenmiştir [9].

Teorik olarak YGLM'nin mezofilik sıcaklık seviyesinde anaerobik çürütülmesi sonucunda protein ve karbonhidratlarla karşılaştırıldığında metan içeriği daha yüksek biyogaz üremektedir ve:

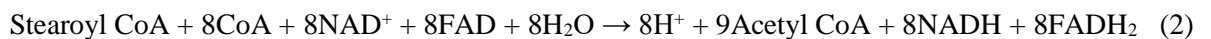
- Yağlar için metan içeriği %68 CH₄ + 32 CO₂,
- Karbonhidratlar için metan içeriği %50 CH₄ + 50 CO₂,
- Proteinler için metan içeriği %71 CH₄ + 29 CO₂

şeklinde oluşur.

Termofilik anaerobik çamur çürütme, kompleks maddelerin hidrolizi ve metana dönüştürülmesinde daha etkin bir metot olmasına rağmen proses kararsızlığı yüksektir ve literatürde çok sayıdaki çalışma ağırlıklı olarak laboratuvar ölçeklidir [22]-[25]. Gerçek ölçekli uygulamalarda ise çoğunlukla mezofilik seviyenin (35-37°C) tercih edilmesinin nedeni yüksek stabilite ve susuzlaşma özelliği olmaktadır. Sıcaklık artışı ile özellikle YGLM gibi kompleks yapıları organik atıkların daha etkin stabilize edilmesi mümkündür fakat yüksek UYA oluşumunu kontrollü seviyede tutacak işletim şartları (ör. yüksek HBS veya kademelendirme) gerekmektedir.

Anaerobik proses sağladığı enerji ile yenilebilir enerji teknolojileri arasında gittikçe artan uygulama alanı bulmaktadır [3], [4], [7]. Ayrıca yüksek HBS ile yeterli patojen ve vektör azaltımı, düşük işletme maliyeti ve nütrient gereksinimine ilaveten kentsel AAT'nin enerji ihtiyacının önemli miktarını karşılayabilmektedir [2], [6]. Son yıllarda dışarıdan farklı organik atık türlerinin kabulü ile kentsel anaerobik çürütücülerin kapasitesi ve enerji verimi arttırılmaya çalışılmaktadır [4], [7], [26]. YGLM katkısı ile C:N oranı arttırılarak sinerjik etki oluşturulabilmektedir [27]. Anaerobik çamur çürütme sürecinde arıtma çamurlarının yapısındaki protein yüzdesel olarak en yüksek seviyededir ve C:N oranı düşük kalmaktadır. Proses, protein ayrışmasıyla ortaya çıkan ara ve son ürünler bakımından zengin olurken en önemli son ürün amonyak azotu ortamdan H⁺ protonu alarak zayıf baz-asit dengesi gereği kısmen amonyum azotuna dönüşür ve bu süreçte ortamda kalan OH⁻ iyonu (OH⁻ + CO₂ (aq) → HCO₃⁻) sebebiyle ortama net alkalinite eklenmiş olur ve pH yükselir. Arıtma çamurlarındaki YGLM yüzdesi daha düşüktür ve anaerobik hidroliz-β (beta) oksidasyonunu takiben oluşan UZYA + UYA, pH dengesi bakımından ters yönde etki gösterir ve dengelenme sağlar. Sonuç olarak, arıtma çamurlarının pH seviyesini belirleyen ana unsur ham çamurdaki YGLM oranıdır ve endüstriyel atıksu/atık ilavesi durumunda yüksek oranda YGLM içeriği, anaerobik reaksiyonlarda hem pH'yı dengeleyici rol oynar hem de metan eldesini arttırır [27].

YGLM'nin anaerobik parçalanmasında hidrolitik, fermentatif, sintrofik asetojen ve metanojen mikroorganizmalar yer alır [9]. YGLM çok yavaş hidrolize olduğundan bu tip atıkların anaerobik çürütülmesinde hidroliz reaksiyonu hız sınırlayıcı basamak olmaktadır. Lipaz olarak adlandırılan esteraz grubunun reaksiyonu ile UZYA, galaktoz ve gliserol oluşur. Gliserol kısa zincirli yağ asitlerine parçalanırken UZYA sintrofik asetojenler (*Syntrophomonadaceae*) tarafından beta oksidasyona tabi tutulurlar ve her UZYA beta karbonundan kırılarak her kırılmada bir asetat molekülü ayrılır (denklem 1 ve 2) [28]-[29]. Çift sayıda karbonlu UZYA'lar tamamen asetata daha sonra da metanojenler tarafından CO₂ ve CH₄'a dönüşürler. Beta oksidasyonun egzotermik olarak devam etmesi için oluşan asetat, format ile H₂'in metanojenler tarafından hızlı bir şekilde metana dönüştürülmesi gerekmektedir. Sonuç olarak UZYA'ların beta-oksidasyon hızı, diğerine göre daha hızlı gerçekleşen hidrojenotrofik metanlaşmadan ziyade asetiklastik metanlaşma hızına bağlı olarak gerçekleşmektedir.



Anaerobik prosesin ardışık reaksiyonlarının yüksek kararlılıkta ilerlemesi için asidojen+asetojen bakterileri ile metanojen arke reaksiyonları arasında denge sağlamak üzere prosesin optimize edilmesi

gerekmektedir. Mevcut organik maddenin %72'si asetiklastik metanojenler tarafından asetat ve kalan %28'i hidrojenotrofik metanojenlerce H_2+CO_2 üzerinden metana çevrilmekte ve bu nedenle proses performans ve kararlılığı, çevresel şartlara en hassas bu türlerin yüksek aktivitesi ile sağlanabilmektedir [30]. $pH < 6,5$ değerlerinde UZYA ve UYA'ların asit formu toksik etki oluşturmaktadır. UYA'ların çamur çürütücülerde bulunma aralığı olarak 50-300 mg toplam UYA/L olarak gerçekleşirken bu içeriğin yaklaşık olarak %85'i asetik asitten oluşmaktadır.

Protein ve/veya YGLM içeriği yüksek atıksuların arıtımında hidroliz basamağı hız kısıtlayıcı olurken yüksek YGLM içeriğinde oluşan UZYA konsantrasyonuna bağlı olarak oluşacak inhibisyon durumunda beta oksidasyon reaksiyonu hız kısıtlayıcı olabilmektedir [31]. Beta oksidasyonu gerçekleştiren bakterilerle özellikle hidrojenotrof metanojenler arasındaki sintrofik ilişki sayesinde hidrojenin yeterince hızlı tüketilmesi " $pH_2 < 10^{-3}$ atm" şartını sağlar ve termodinamik açıdan uygun şartlar oluşur [32]. Metanojenler yüksek hidrojen kısmi basıncından etkilenmeseler de ortamda hidrojenin birikimi asetojen bakterilerin reaksiyonlarını inhibe eder. Asetojenler ile asetiklastik metanojenler arasında da paralel bir sintrofi bulunur ve her oksidasyon basamağında oluşan ürün asetatın metana çevrimi sağlanır [30]. Bu sintrofinin kesikli karışımli veya granüler çamur sistemlerinde yakın temastan dolayı sürekli karışımliılara göre daha etkin gerçekleştiği gösterilmiştir [23]. Hidrojenotrof metanojenlerin inhibisyon şartlarına daha yüksek tolerans göstermeleri, inhibisyon durumunda H_2 yerine asetatın birikime uğramasından anlaşılmaktadır. YGLM arıtımında asetat ve H_2 'in sırasıyla asetiklastik ve hidrojenotrofik metanojenlerce tüketilerek seviyelerinin düşürülmesi, asetojen bakterilerin canlılığı ve aktivitesi için çok önemlidir [31]. Özellikle YGLM'nin anaerobik arıtımında bu dengesizlik durumu maksimum seviyeye çıkabilmektedir. Uygulanacak OYH'nin sistemde inhibisyon yaratmayacak seviyede UZYA oluşumu sağlayacak şekilde optimize edilmesi gerekmektedir. Yüksek YGLM içeriğine sahip atıksuların arıtımında yüksek seyrelme sağlayan tam karışımli ve yüksek HBS'li sistemler avantajlı olmaktadır. Kentsel AAT anaerobik çamur çürütücüleri veya hayvansal atık biyogaz tesisleri bu sebeple ilave YGLM katkısı için uygun sistemlerdir ve bu yolla C:N oranı artırılarak biyogaz üretiminde artış mümkün olmaktadır [27], [33].

III. YGLM ve UZYA KAYNAKLI PROBLEMLER

YGLM'nin anaerobik arıtımında karşılaşılan problemler; mikrobiyal flok ve granüllerin flotasyon ile reaktörden kaçması (yıkanması), köpük oluşumu ve UZYA'ların mikrobiyal büyüme ve metabolizma üzerindeki inhibisyonudur [9]. Yüksek oranda seyrelmenin gerçekleştiği anaerobik çamur çürütücülerde UZYA inhibisyonuna rastlanmamakta fakat stabilize çamurda birikim oluşmakta ve susuzlaşma kabiliyeti düşerek kimyasal maliyetini artmaktadır [7]-[8], [34]. Endüstriyel atık/atıksuların kentsel AAT'lere kabul edildiği durumlarda metan üreten metanojenler üzerinde toksik etki oluşturacak en önemli maddeler yüksek karbonlu ($>C16$) UZYA'leri olmaktadır çünkü arıtma çamurlarına kolayca geçerek yoğunlaşmakta ve anaerobik çamur çürütücülerde birikebilmektedirler.

YGLM içeren atıksuların yüksek OYH'de anaerobik arıtımında hidroliz basamağı sonrasında beta-oksidadasyon reaksiyonları hız kısıtlayıcı basamak olabilmekte ve sistemde UZYA'ların birikimi ile inhibisyon etkileri asetojen ve metanojen aktivitesini kısıtlamaktadır [35]. Yüzey aktif UZYA'nın inhibisyon etkisi hücre duvarı üzerine adsorplanma sonrasında madde taşınım veya korunum fonksiyonunun bozulması şeklinde oluşmaktadır [36]-[40]. Gerçekleşen inhibisyonda sintrofik asetojen ve methanojenler arasındaki elektron taşıyıcılarının madde transferi difüzyon hızlarındaki azalmanın etkili olduğu ortaya atılmıştır [32]. UZYA'ların deterjan-benzeri fiziksel ve biyokimyasal özellikleri hücre membranı lipid tabakası ve proteinlerini çözerek ölüm, enzim aktivitesini durdurma ve elektron taşınımını sekteye uğratma gibi etkiler oluşturur. Hücre duvarı üzerine fiziksel adsorpsiyonla hücrenin madde alışverişi kısıtlanırken kesikli maruziyet durumunda UZYA inhibisyonu tersinir olabilmektedir [41]-[42]. Beta oksidasyonunu gerçekleştiren türlerle ilgili araştırmalar arttıkça adaptasyon/aklimasyonun bu türleri ve sayılarını arttırmadaki gerekliliği ve metanojenlerle sintrofik ilişkilerinin önemi daha iyi anlaşılmaktadır [20], [29], [43].

UZYA'ların beta oksidasyonunda kısıtlayıcı ve inhibisyon oluşturan şartların termodinamik denge ve dengesizlik durumlarında olduğu ortaya konmuştur [32]. Buna göre UZYA inhibisyonu iki durumda oluşmaktadır: ilk durum besi maddeleri ve ürünler arasında termodinamik dengeye yaklaşıldıkça ($\Delta G=0$) veya ikinci durum sintrofik asetojen-metanojen ilişkisindeki elektron taşınma hızının beta oksidasyon hızından düşük kalmasına bağlı olarak oluşmaktadır. Asetat ve propiyonatın oksitlenmesi, ürün olarak oluşan H_2 ve CO_2 'in kısmi basınç seviyelerinden etkilenmektedir. UZYA'ların düşük konsantrasyonlarında beta-oksidasyon ve metanlaşma arasındaki elektron geçişleri aynı hızda gerçekleşmektedir. UZYA konsantrasyonlarının veya zincir uzunluğunun yükselmesi durumunda sıvı fazda H_2 ve CO_2 'in kısmi basınçlarının artması ile reaksiyon endotermi özelliği göstermektedir. Egzotermi durumu, yüksek mezofilik veya termofilik sıcaklık seviyelerinde ve tam karışımli reaktör sistemlerinin uygulanması ile sağlanabilmektedir. Ayrıca anaerobik biyokütlenin yeterli aklımasyon süreci sonrası uygun oksidasyon/redüksiyon şartlarında sistem dengeye gelene kadar etkin mikrobiyal türleri seçtiği ve beta-oksidasyonla üretilen düz zincir UZYA'yı etkin şekilde parçaladığı gösterilmiştir [41]-[42]. Burada önemli şart, etkin hidrojenotrofik ve asetiklastik metanlaşma sayesinde oluşan oksidasyon-redüksiyon dengesi olarak öne çıkmaktadır.

Oleik asit atıksularda en sık bulunan UZYA türü olurken laurik (C12:0) ve oleik (C18:1) asitler diğer UZYA'lar içinde en toksik türler olarak belirlenmiştir [44]-[45]. Laurik asit genelde eser miktarda bulunmaktadır. Oleik asitin süt endüstrisi ve zeytinyağı atıksularında arıtımı zorlaştıran en önemli UZYA olduğu belirlenmiştir [46]-[47]. Oleatın palmitat ve stearata göre daha hızlı beta-oksidasyona uğradığı belirlenmiş [17] ve bu durum oleatın daha yüksek çözünürlük özelliğine bağlanmıştır [48]. Oleatın beta oksidasyonla ilk basamak parçalanma ürünü palmitat (C16:0) oluşurken inhibisyon etkisi başlamaktadır [49]. Palmitat hücre duvarlarına adsorplanmakta ve oleatın yüksek seviyeleri palmitatın da oksidasyonunu durduran bir toksik etki göstererek birikimine yol açmakta ve iki sintrofik grubu da (asetojenler ve metanojenler) inhibe etmektedir. UZYA'ların oksidasyon hızı, hidrojenotrofik metanlaşmadan ziyade asetiklastik metanlaşma hızına bağlı olarak gerçekleştiği için uygulanan YGLM yüklemelerinin seviyesi önem kazanmaktadır.

UZYA'lar nötr pH ve üzerinde tuz, düşük pH'da ise serbest asit formunda olurlar. Sıcaklık arttıkça yüzey aktivitelerini ve dolayısıyla toksik etkilerini artırarak daha yüksek seviyede bakteri ve diğer canlılarda hücre parçalanmasına yol açarlar [50]-[52]. Termofilik proseste Angelidaki ve Ahring [24] serbest YA'ların belli bir konsantrasyonun üzerinde anaerobik reaktöre ilavesinin, asetojen ve metanojenler üzerinde geri dönülemez bozulmalar meydana getirdiğini gözlemişlerdir.

UZYA her üç mikrobiyal grup üzerinde de inhibisyon etkisi gerçekleştirir. Oleik asit inhibisyonunun en yüksek asetojenler, ikinci sırada asetiklastik metanojenler ve 3. sırada hidrojenotrofik metanojenler üzerinde olduğu gözlenmiştir [38]. Lalman ve Bagley [53] karışım halinde ya da kendi başlarına linoleat, oleat ve stearat (C:18) varlığında hidrojenotrofik metanojenler üzerinde düşük seviyede inhibisyon tespit etmişlerdir. Termofilik çürütmede yüksek hızda gerçekleşen hidroliz ile daha yüksek seviyede UZYA oluşumu, ilk sırada asetojenleri etkilemiştir [54]. Diğer bir termofilik hayvan atığı çürütmesinde oleat (0,5 g/L) ve stearatın (1,0 g/L) toksisitesine özellikle asetiklastik metanojenler için adaptasyon elde edilememiştir [24]. Mezofilik granüler çamurun kaprik asit ile beslenmesinde de 6,7-9,0 mol/m³ aralığında toksik eşik oluşmuş ve asetiklastik metanojenler için adaptasyon elde edilememiştir [35]. Toksik etkiden ilk önce asetojen ve hidrojenotrof metanojenler çıkarken asetiklastik metanojenler en geç aktiviteye dönen grup olmuştur. Her iki çalışmada da toksisitenin doğrudan UZYA konsantrasyonuna bağlı olarak geliştiği, UZYA:biyokütle oranının önemsiz kaldığı vurgulanmıştır. 1000 mg KOİ-UZYA/L seviyesine kadar UZYA kaynaklı toksisitenin kalıcı olmadığı, biyokütle adaptasyonu ile azaldığı literatürde belirtilmiştir [9].

Kim vd. [17] UZYA toksik etkisinin substrat inhibisyon modeline uyduğunu belirlemişlerdir. Oleik, linoleik, palmitik ve stearik asitlerin asetiklastik metanojen, propiyonat oksitleyen asetojen ve beta-oksitleyiciler üzerinde etkisini araştırdıkları çalışmada asetattan metanlaşmanın UZYA konsantrasyonu ve çift bağ sayısı arttıkça azaldığını gözlemişlerdir. Ayrıca propiyonat oksidasyonunun UZYA inhibisyonu durumunda etkin olarak hidrojenotrof metanojenlerin metan üretimi sayesinde gerçekleştiğini ve inhibisyon etkisinin biyokütle adaptasyonu ile azaldığını belirlemişlerdir.

Oleat için 40°C sıcaklıkta farklı aşı çamurları ile kesikli toksisite deneylerinde 588-882 mg/L aralığında IC₅₀ değerleri elde edilmiş ve inhibisyon derecesinin askıda floküler çamur için en yüksek derecede gerçekleştiği belirtilmiştir [45]. Akut toksisite testleri çalışmasında adapte olmayan asetiklastik metanojenler için oleatın akut toksik eşik değerleri IC₅₀ olarak 55, 40 ve 30°C için sırasıyla 0,35-0,79, 0,53-2,27 ve 2,35-4,30 mM olarak elde edilmiştir [55]. 40°C’de anaerobik floküler ve granüler çamur tiplerinin karşılaştırıldığı çalışmada yüzey alanı daha geniş olan floküler çamur sisteminin toksisiteden daha yüksek seviyede etkilendiği belirlenmiştir [45]. Doymamış UZYA’ların inhibisyon etkisinin doymuş olanlara göre daha yüksek seviyede gerçekleştiği de tespit edilmiştir [53].

UZYA’nın 1,4 g/L’nin üzerindeki konsantrasyon seviyelerinde beta-oksidasyonu gerçekleştiren *Syntrophomonadaceae* ailesinden asetojenlerin inhibe olduğu gösterilmiştir [56]. Kaprik (C10:0), myristik (C14:0) ve oleik (C18:1) asitlerin 1,3-1,4 g KOİ/L ve laurik asitin (C12:0) 0,5 g KOİ/L konsantrasyon seviyelerinin üzerinde metanojenik aktivitede ani bir düşüş elde edilmiştir [44]. Palatsi ve d. granüler çamur üzerinde de 0,5 g/L kesikli oleat beslemesinde inhibisyon oluştuğunu, beta-oksidasyonun hız kısıtlayıcı olmadığını ve metanojen aktivitesi üzerinde tersinir etkinin oluştuğunu göstermişlerdir [57]. Oleatın tamamen tüketilmesi sonrasında oluşan palmitatın biyokütle üzerinde adsorplandığı gözlenmiş ve mikrobiyal adaptasyonun önemine vurgu yapılmıştır.

IV. ANAEROBİK ARITILABİLİRLİK UYGULAMALARI

AB ülkelerinde YGLM/UZYA içerikli atıksuların anaerobik teknoloji ile arıtım araştırmaları 25 yıldan fazla süredir sürmektedir [9]. Bugün gelinen noktada, belirli OYH değerlerinde, çok kademeli ön hidroliz (fiziksel/kimyasal)+anaerobik arıtım, hidroliz (biyolojik)/asitleme + metanlaşma veya termofilik+mezofilik kademeli reaktör sistemleri veya enzim (lipaz) katkısı ile YGLM biyogaza dönüştürülmektedir. Mekanik veya kimyasal ön işlemler (yüksek basınçlı homojenleştirme, ultrasonikasyon, termal ve kimyasal) kullanılarak yüksek YGLM içerikli atıksular ve atıklar anaerobik arıtıma uygun hale getirilebilmektedir.

Atıksu/atık içeriğindeki organik madde tipleri (protein, YGLM veya karbonhidrat) ve miktarlarına, reaktör teknolojisi ve proses sıcaklığına göre uygulanacak HBS ve OYH değerleri değişmektedir. YGLM gibi yavaş ve zor parçalanabilen kompleks maddelerin ayrışmaları için 20-40 gün gibi uzun HBS’li bir sistemde yüksek biyokütle konsantrasyonu sağlandığı takdirde toksik ve şok organik yüklemelere karşı tolerans ve toksisite sonrası iyileşme elde edilmektedir. Düşük HBS ve yüksek OYH’lerde sistemden en çok kaçacak türler olması sebebiyle uygulanacak değerlerin metanojenlere göre seçilmesi ve uygulanması önemlidir çünkü metanojenik aktivite yokluğunda sadece doymamış UZYA’ların hidrojene doyurulması reaksiyonları gerçekleşmekte ve beta-oksidasyon oluşmamaktadır. Bunun nedeni beta-oksidasyonu mümkün kılan ortam şartlarının, H₂ ve asetatın metanojenlerce metana çevrimi ile termodinamik olarak sağlanmasıdır [32].

Biyokütle yüzeyine YGLM ve UZYA adsorpsiyonu sonucunda oluşan çamur flotasyonu ve çamur yıkanması üzerine yapılan çalışmada granüler anaerobik çamur yatağı reaktörde (AÇYR) tek substrat olarak oleat beslemesi çalışılmış ve granüler çamur yapısında çözülme ve jelatimsi floküler çamur yapısının oluştuğu bildirilmiştir [57]. Yüzde 65 seviyesinde düşük KOİ giderimi elde edilmiştir. UZYA’ların düşük kısmi hidrojen basıncında oksidasyonu nedeniyle granüler çamurun stabilitesini ve sürekliliğini sağlayan yüksek hidrojen kısmi basınç şartının oluşmamasının, granüler yapının bozulmasına neden olduğu belirtilmiştir.

Rinzema vd. [58] kaprat ve laurat içerikli atıksuların granüler AÇYR ve genişmiş yatak reaktörde arıtılabilirliğini araştırmışlar ve 2-3 kg KOİ/m³.gün üzerindeki OYH’lerde flotasyon nedeniyle sistemden biyokütle yıkanması gözlemlenmişlerdir. Daha düşük OYH’lerde de önceden tahmin edilemeyen biyokütle kaçışları sebebiyle AÇYR dezavantajlı bulunmuştur. Genişmiş yatak reaktör laurat ve kaprat arıtımında 30 kg KOİ/m³.gün’e kadar yüksek verimle çalışmıştır.

Hawkes vd. [59] yüksek yağ içerikli dondurma atıksuyunun uzun dönemli pilot ölçekli arıtım çalışmasında anaerobik filtre, temas reaktörü, AÇYR ve akışkan yatak reaktör performanslarını karşılaştırmalı olarak incelemiştir. 3.3 m³'lük Pall halkaları ile oluşturulan filtre 6 kg KOİ/m³.gün hızda %67 KOİ giderimi ile çalışmıştır. Temas reaktörünün %80 verimine rağmen zayıf çökeltme kabiliyeti nedeniyle reaktör biyokütlesi 3 g/L konsantrasyonun üzerine çıkmamıştır ve uygulanabilen OYH 1 kg KOİ/m³.gün seviyesinde kalmıştır. Akışkan yatak reaktörler kum veya granüler aktif karbon (GAC) medya ile oluşturulmuş ve sırasıyla 4 ve 2 kg KOİ/m³.gün OYH'de %60 KOİ giderimi elde edilmiştir. GAC parçalanması meydana gelmiştir. AÇYR ise en düşük performansı sergileyerek 2 kg KOİ/m³.gün'de %50 KOİ giderimi sağlamış fakat granül oluşumu gerçekleşmemiştir. Yağ içeriği sebebiyle reaktörlerde zayıf biyokütle tutunumu performans düşüklüğünün nedeni olarak belirlenmiştir. Anaerobik filtrede dolgu malzemesinin yarıya azaltılması sonrası uzun dönemli işletimde performans verimi ve kararlılığı azalma göstermiştir. Gerçek ölçekli uygulama için maksimum biyokütle tutunumunun sağlandığı filtre reaktör tercih edilmiştir.

Hwu vd. [45] granüler AÇYR'de oleat veya oleat+palmitat+stearat karışımıyla uygulanan beslemelerde UZYA konsantrasyonundan ziyade yükleme hızının reaktörden çamur yıkanmasında etkili olduğunu gözlemlemiştir. 0,09 g KOİ/g UAKM.gün'den yüksek yüklemelerde çamur flotasyonunun başladığı ve 0,2 g KOİ/g UAKM.gün'ün üzerinde granüllerin tamamen flotasyona uğradığı belirtilmiştir. Flotasyonla biyokütle kaybının metanojenler üzerinde inhibisyonun daha önce gerçekleşerek prosesi etkilemesi, UZYA bazlı OYH uygulamasının önemini desteklemiştir.

YGLM'nin tasarım kriteri anaerobik reaktörler için maksimum 150-300 mg/L yağ-gres konsantrasyonu olarak önerilmiştir [60]. UZYA'ların 1000-5000 mg KOİ-UZYA/L konsantrasyon aralığında gerçekleşen inhibisyon etkisinin spesifik metan üretimi deneyinde asetiklastik ve hidrojenotrof metanojenler için tersinir özellikte olduğu gözlenmiştir [61]. Fakat sürekli sistemler için anaerobik biyokütle UZYA'ya adapte olma derecesi ve beta-oksitleyici kültürleri ne oranda içerdiği önem kazanmaktadır.

Karbonhidrat, protein ve yağların hidrolizinde 4-24 sa'lik HBS'de sırasıyla %31-65, 20-45 ve 14-24'ünün monomerlerine ayrıldığı belirlenmiştir [62]. Hidroliz hızları sırasıyla mezofilik seviye için 0,25, 0,2 ve 0,1 gün⁻¹ olarak elde edilmiştir. YGLM içeriğindeki mevcut KOİ'nin %90'ı hidrolizden sonra UZYA olarak oluşmaktadır [9]. Arıtımda maksimum UZYA konsantrasyonunun 1000-1500 mg/L aralığı ile pH>7,0 şartının sağlanması önemlidir çünkü UZYA'ların serbest asit formlarına bağlı olarak toksik etki artmaktadır [62]. Metanojenler üzerinde bu etkinin minimize edilmesi için iki kademeli proses uygulamasında oleat ve linoleatın tamamen doymuş forma dönüşmesi için asitlenme reaktöründe minimum 8 sa'lik HBS öngörülmüştür [63]. Piston akım yerine yüksek seyrelme sağladığı için tam karışımli reaktör sistemlerinin UZYA arıtımına uygunluğu vurgulanmıştır.

Oleat ve stearatın sırasıyla 0,2 ve 0,5 g/L seviyelerinde inhibisyona neden olduğu ve 0,5 ve 1 g/L seviyesinde kesikli deneylerde termofilik hayvan atığı arıtımını tamamen çöktürdüğü bildirilmiştir [24]. Oleatın nötr yağ olarak eklenmesi durumunda daha düşük seviyede inhibisyon gerçekleşmesi, serbest (asidik) YA formunun daha toksik olduğunu göstermiştir.

YGLM'nin en önemli hidroliz ürünü olan oleatın anaerobik arıtımı için mezofilik sıcaklık seviyesi, yüksek hassasiyet gösteren termofilik prosese göre daha uygun bulunmuştur [55]. Akut toksisite testleri çalışmasında adapte olmayan asetiklastik metanojenler için oleatın akut toksik eşik değerleri IC₅₀ olarak 55, 40 ve 30°C için sırasıyla 103-233, 156-670 ve 693-1170 mg/L olarak elde edilmiştir. Termofilik floküler çamur, mezofilik granüler çamura göre yüksek yüzey alanından dolayı 12 kat yüksek inhibisyon etkisi göstermiştir. Elde edilen kontrol SMÜ değerleri 0.40-1.08 g CH₄-KOİ/g UKM.gün (0,158-0,427 L CH₄/g UKM.gün) aralığında iken oleat beslemesi sonrası aktivite ¼ seviyesinde gerçekleşmiştir.

Pereira vd. [49] floküler ve granüler biyokütle performansını karşılaştırmak için 2-8 kg KOİ/m³.gün aralığında ve 37°C'de sürekli artan oleat beslemesi çalışmışlar ve biyoküttele sadece palmitatın adsorplanarak biriktiğini ve ancak oleat giderildiğinde palmitat oksidasyonunun başladığını tespit

etmişlerdir. Daha fazla UZYA adsorplama ve giderim kapasitesi göstermesi bakımından floküler çamur, reaktörde tutunum kabiliyetinde granüler çamura göre daha verimli bulunmuştur. Ayrıca yüksek lipid seviyelerinin arıtımında adsorpsiyon ve giderime olanak sağlayacak ardışık kesikli beslemelerin metan üretimini artırdığı tespit edilmiş ve önerilmiştir.

Mikroalg biyokütlesinden biyokimyasal metan üretimi çalışmasında yavaş hidroliz hızları sayesinde UZYA'ların sistemde aynı hızda oluşması birikim+inhibisyon durumunu engellemiştir [19]. Çalışmada 2,5 g/L konsantrasyonunda palmitatın 22 haftalık kesikli inkübasyon sürecinde %79 oranında yavaş ve sabit hızda giderildiği ve inhibisyon oluşturmadığı gözlenmiştir. Palmitoleatın arıtımında ise metanojen aktivitesi tamamen inhibe olurken, ürün miristik asit veya ana substrattan hangisinin inhibisyona neden olduğu belirlenememiştir. Eicosapentaenoik asit ayrışması 11 haftalık inkübasyon sürecinde gerçekleşmiş fakat teorik metan dönüşümünün yarısına ulaşmıştır. UZYA'nın alg biyokütlesinde ağırlıkça %10 ve 20 oluşumunda metan eldesi yükselirken %50 seviyesinde tam inhibisyon gerçekleşmiştir.

Kim vd. [17] oleat (C18:1), linoleat (C18:2), palmitat (C16:0) ve stearatın (C18:0) sırasıyla 0,54 mM (153 mg/L), 0,11 mM (30 mg/L), 1,62 mM (415 mg/L) ve 2,58 mM (734 mg/L) konsantrasyonlarında metan üretim hızında %10 düşüş elde etmişlerdir. Daha yüksek seviyede metan üretiminde düşüş ise %50 ile sırasıyla 3,10 mM (876 mg/L), 0,72 mM (202 mg/L), 5,71 mM (1464 mg/L) ve 5,37 mM (1528 mg/L) konsantrasyonlarında gerçekleşmiştir. Propiyonat oksidasyonunda ise %10 ve %50 aktivite düşüşü oleat, linoleat, palmitat ve stearat için sırasıyla 1,02 (288 mg/L), 0,18 (50,5 mg/L), 2,34 (600 mg/L), 1,92 mM (546 mg/L) ve 4,38 (1237 mg/L), 1,17 (328 mg/L), 5,88 (1508 mg/L) ve 5,18 mM (1474 mg/L) seviyelerinde daha düşük derecede UZYA kaynaklı inhibisyon oluşmuştur. Oleat, linoleat, palmitat ve stearat için beta-oksidasyon hızları sırasıyla 0,21 mmol/g UAKM.gün (59,3 mg/g UAKM.gün), 0,09 mmol /g UAKM.gün (25,2 mg/g UAKM.gün), 0,12 mmol/g UAKM.gün (30,8 mg/g UAKM.gün) ve 0,08 mmol/g UAKM.gün (22,8 mg/g UAKM.gün) olarak elde edilmiştir.

Pereira vd. [41] anaerobik biyotanın 5 g KOİ-UZYA/g UAKM oranına kadar UZYA toleransı gösterdiğini, bakterisit etki oluşmadığını ve maksimum UZYA oksidasyon hızı sağlayan optimum UZYA oranının yaklaşık 1 g KOİ-UZYA/g UAKM olduğunu ortaya koymuştur. 743 mg KOİ-UZYA/g UAKM oranında çamur için biyokütle bazında 434 mg KOİ-CH₄/g UAKM.gün'lük metana dönüşüm hızı elde edilmiştir. Oran 3272 mg KOİ-UZYA/g UAKM'ye yükseltildiğinde dönüşüm hızı 241 mg KOİ-CH₄/g UAKM.gün olarak düşük seviyede gerçekleşmiştir.

Rinzema vd. [58] kaprat ve laurat içerikli atıksuların granüler AÇYR ve genleşmiş yatak reaktörde arıtılabilirliğini araştırmışlar ve giriş KOİ'nin %50'sinin üzerinde YGLM oranının arıtımı için AÇYR'nin uygun olmadığını bildirmişlerdir. Genleşmiş yatak reaktör laurat ve kaprat arıtımında 30 kg KOİ/m³.gün'e kadar %83-91 aralığında oldukça yüksek verimle çalışmıştır.

Dinsdale vd. [64] sürekli beslemeli-karışımli reaktörlerle lipid arıtımı çalışmasında uzun dönemli performans özelliklerini incelemişlerdir. Ağırlıkça yüzde 26-33 oranında lipid içeriğine sahip kahve kalıntısı içeren atık suyun anaerobik çürütme çalışmasında mezofilik ve termofilik seviyede sırasıyla %87 ve 65 verimle giderildiğini tespit etmişlerdir. Optimum HBS 25 gün ve mezofilik 1,3 kg KOİ/m³.gün'lük OYH'de uzun dönemli arıtımda proses alkali ihtiyacının karşılanmasında sodyum bikarbonat (9,0 g/L) yetersiz kalmış ve sulu kireç (1 g/L), azot, fosfor (400:7:1 KOİ:N:P) ve iz elementlerin ilavesi ile %60 UKM giderimi ve biyogaz üretiminde yüksek verim elde edilmiştir. Termofilik proses için bikarbonat veya kireç + nütrient + iz element ilavesi şartında optimum OYH 1,6 kg KOİ/m³.gün ve HBS 20 gün olarak ise sadece 50 günlük işletim sağlanabilmiştir.

Cavaleiro vd. [60] KOİ içeriğinin %50'si oranında oleik asit içeren sentetik atıksuyun arıtımında sürekli beslemeli yukarı akışlı anaerobik reaktörde (37°C) ardışık kesikli besleme ve reaksiyon fazlarından oluşan başlama periyodu uygulamış ve sonuç olarak etkin UZYA gideren reaktör biyokütlesi elde etmişlerdir. Reaktör floküler çamurla kurulmuş ve çıkışındaki çöktürme tankı ile kaçan biyokütle çöktürülerek reaktöre geri beslenmiştir.

Wu vd. [65] tek kademe mezofilik ve geri devirli ve devirsiz 2-kademeli termofilik-mezofilik reaktör sisteminde %14 lipid içeren yemek atığının anaerobik arıtımını araştırmışlar ve tek kademede HBS:30 gün ve OYH: 2,4 kg UKM/m³.gün işletim şartlarında 0,74 L/kg UKM_{eklenen}.gün'lük spesifik metan üretimi ile palmitat, oleat ve linoleatın tamamen giderimini elde etmişlerdir. Çalışmada geri devirli 2 kademeli sistemin UKM gideriminde daha başarılı olduğu ve geri devirin ilk kademe reaktörde pH'yı yükselterek hidroliz ve asitlenme reaksiyonlarını ilerlettiği gözlenmiştir. Cavaleiro vd. [66] %50 KOİ oranında oleattan oluşan sentetik atıksu ile sürekli beslemeli lab-ölçekli AÇYR'de 21 kg KOİ/m³.gün'lük OYH'de 9 sa'lik HBS, %99 giderim ve KOİ bazında %71.5 metan dönüşümüne ulaşmışlardır. 11,5 kg KOİ/m³.gün'lük OYH'de ise 12 sa'lik HBS, %99 giderim ve %98.4 metan dönüşümüne ulaşmışlardır. Maksimum spesifik metan üretim hızı 1170 mg KOİ-CH₄/g UAKM.gün olarak elde edilmiştir. Bu yüksek arıtım performansını, kesikli besleme ve reaksiyon fazları uygulayarak işletilen başlangıç döneminde yüksek seviyede beta-oksitleyici bakteri konsantrasyonuna ulaşarak elde etmişlerdir.

Pereira vd. [42] oleat ve palmitatın ayrı beslemesinde UZYA davranışının sırasıyla biyokütle yüzeyinde adsorplanma ve Ca²⁺/Mg²⁺ ile çökelek oluşturarak bakteri floğunun içinde hapsolma olarak gerçekleştiğini, oleatın hızla palmitata parçalandığını ve her iki durumda da palmitatın birikime uğradığını gözlemlemişlerdir. Oleat beslemesinde UZYA'ların oksidasyonunda sadece inhibisyon değil adsorpsiyon nedeniyle hücreler arası madde transferini kısıtlayan fiziksel bariyerlerin de söz konusu olduğunu belirtmişlerdir. Palmitat beslemesinde madde transfer sınırlaması gözlenmemiştir. Beslemeyi takiben gerçekleşen UZYA/(Ca²⁺+Mg²⁺): 4,1-4,47 molar oranlarında, toplam KOİ gideriminin oleat ve palmitat beslemesi için sırasıyla %80 ve 62 seviyesinde çökelek oluşumu ile gerçekleştiği hesaplanmıştır. Kesikli inkübasyonda her iki reaktörde de UZYA mineralizasyonu sonrası benzer metanlaşma aktiviteleri gözlenmiştir. Hücre yüzeyine adsorpsiyon sonrası UZYA'ların oksidasyon hızı, ilk olarak hidrojenotrofik metanlaşma ile gerçekleşmiş ve asetiklastik metanlaşma hızına bağlı olarak da tamamlanmıştır. Bu hızların üzerinde gerçekleşen UZYA yüklemelerinde biyokütle yüzeyinde beta-oksidasyon kısıtlanmış ve birikim artmıştır.

Termofilik sıcaklıkta hayvan atığı arıtan lab-ölçekli reaktörden alınan aşı çamuruna 25 gün ara ile kesikli UZYA beslemeleri (2x4 g/L oleat, stearat ve palmitat karışımı 40:10:50 w:w) yapılarak biyokütle üzerinde kesikli biyoaktivite testi uygulanmıştır [67]. Sonuçlara göre inhibisyondan ilk çıkış aktivitesi hidrojenotrof metanojenlerin hidrojeni metana dönüştürmesi olmuştur. Bunun nedeninin hidrojen molekülünün küçük boyutu sayesinde hücre duvarını kaplayan UZYA tabakasından difüzyon ile geçişi olduğu önceki çalışmada da belirlenmiştir [42]. UZYA ilavesi sonrası hidrojenotrof metanojenlerde aktivite artışı olurken beta-oksitleyici asetojenler ile asetiklastik metanojenlerde aktivite seviyesi aynı kalmıştır. En yüksek inhibisyon etkisini asetiklastik metanojenler, 127,7-122,9 mg KOİ-CH₄/g UKM.gün normal aktiviteye göre 44,6-56,7 mg KOİ-CH₄/g UKM.gün reaksiyon hızına düşerek göstermişlerdir. Toplam popülasyonda beta-oksidasyonu gerçekleştiren *Clostridium* ve *Sintrofomonas* aileleri ile *Metanosarcina sp.* türlerinde artış ile biyokütle adaptasyonunun gerçekleştiği belirlenmiştir.

Hidrojenotrofik aktivitenin YGLM giderimindeki önemi Erdirencelebi'nin [68] 14-24,5 g/L YGLM içeren peyniraltı suyunun arıtımı çalışmasında ortaya konmuştur. HBS'leri sırasıyla 18-24 sa, 48 ve 48 sa olan 3 kademeli (tam karışimli asitlenme, ardışık AÇYR) sistemde yüksek UYA birikimi ve inhibisyon durumunun giderilmesi için atıksuya sülfat ilavesi (400-500 mg/L) ve optimum 1:1'lik geri devir uygulaması ile hidrojenotrofik sülfat indirgeyici bakteri (SİB) aktivitesi teşvik edilmiştir. Geri devir ile asitlenme reaktörüne çıkış suyundan SİB ve alkalinite temin edilerek AÇYR'lerde UYA konsantrasyonu düşürülmüş ve inhibisyon etkisi giderilmiştir. Çalışmada optimum giriş KOİ 15000 mg/L seviyesinde %80-92 KOİ giderimi sağlanmıştır. Alkalinite ihtiyacı 0,28-0,32 g HCO₃⁻/g KOİ_{beslenen} (4,4-5 g CaCO₃/L) seviyesinden en yüksek OYH: 7 kg KOİ/m³.gün'de 0,05 g OH/g KOİ_{beslenen}'e düşürülmüştür. Hidrojenotrofik SİB'nin düşük pH'da yüksek aktivitesinden faydalanılarak, metanojenler üzerinde oluşan toksik UYA seviyelerinin düşürülmesi sağlanmış ve alkalinite üretilmiştir. İki kademeli ardışık AÇYR uygulaması ile 1. kademede oluşan performans düşüşü ve biyokütle kaçıışı 2. kademede telafi edilmiştir.

Jeganathan vd. [69] yemek endüstrisinden kaynaklı karışık yağlı atıksuyun (%50 oleat ve %30 palmitat) AÇYR kullanarak arıtımında 3,0 g KOİ/L.gün OYH'nda %80'in üzerinde KOİ giderimi elde edilmiş fakat daha yüksek OYH'de çamur flotasyonu ile sistemden biyokütle kaçıışı ve performans düşüşü gerçekleşmiştir. Proses performansının bozulmasında, giriş YGLM konsantrasyonundan ziyade biyokütlede birikimin etkili olduğu belirtilmiştir. YGLM birikim hızı 1,04 g YGLM/g UAKM ve başlıca birikim gösteren (%60) UZYA'nın palmitat olduğu belirlenmiştir. Bu çalışma sonuçları da oleatın palmitata dönüşümünün hızlı ama palmitat oksidasyonunun hız-kısıtlayıcı olduğunu göstermiştir.

Kuang vd. [70] protein (sistein)ve karbonhidrat (glukoz) maddelerinin eklenmesi ile yüksek hızlı anaerobik reaktörlerde metanojenesis üzerinde oleat kaynaklı UZYA inhibisyonunun azaldığını ve granülleşmenin korunduğunu belirlemişlerdir. Glukozun sisteine göre daha yüksek seviyede iyileştirici etkisi elde edilmiştir. Aynı ekibin sonraki çalışmasında 0,06 g/L.gün hızında oleat beslemesi ile tamamen inhibe edilen lab-ölçekli granüler çamurlu anaerobik reaktörlere glukoz, sistein ve glukoz+sistein'in 6,0 g KOİ/L.gün beslenmesine başlanmış, en yüksek pozitif etki glukoz+sistein karışımı ile elde edilmiş ve 40 gün sürecinde hem oleat giderimi artırılmış hem de metanojen büyümesinde artış ile reaktördeki inhibisyon etkisi tamamen giderilmiştir [71]. Glukoz ilavesi ile bakteri ve arke hücrelerinde daha fazla artış sağlanmıştır.

Astals vd. [27] selüloz, kazein, zeytinyağı ve mezbaha atıklarının birlikte ve ayrı çürütülmesinde sinerjik ve antagonistik etkiyi kesikli çalışmada araştırmışlardır. Bulgularına göre üç farklı atığın birlikte çürütülmesinde reaksiyon hızlarının artması sinerjistik etkiyi ortaya koymuştur. Ayrıca karbonhidrat maddelerinin YGLM'nin ayrışabilirliğini arttırdığı belirlenmiştir.

Termofilik hayvan atığı çürütmesinde, UZYA ilavesinin (oleat:stearat:palmitat 40:10:50 w:w:w) proses verimini düşürmemesi için %40 seyreltme (taze hayvan atığı, aktif aşı çamuru veya su ilavesi) ve UZYA konsantrasyonunu düşürücü adsorbent (toz bentonit, süzölmüş çürümüş hayvan atığından elde edilmiş lifler) ilavesi stratejileri uygulanmış, sonuç olarak aktif aşı çamuru ilavesi ile biyokütle/UZYA oranını artırma ve adsorbent ilavesi en etkili kontrol stratejileri olarak belirlenmiştir [26]. Bu stratejilerle yarı-sürekli beslemeli reaktörlerde 10 gün'lük iyileşme süresi 2 gün'e düşürülmüştür. Tekrarlı besleme (inhibisyon) ve iyileşme ile aklimasyon/adaptasyon elde edilmiştir. UZYA'nın toksik seviyelerinde tekrarlı beslemeler sonucunda sistemin iyileşme sürecinin kısalması ile 0,04'den 0,16 g KOİ-CH₄/g UKM.gün spesifik metan üretim hızına ulaşılmıştır. Ca²⁺ veya Mg²⁺ katkılı adsorbentlerin UZYA inhibisyonunun azaltılmasındaki katkısı bentonit ilavesi ile granüler çamur için de gösterilmiştir [72]. UZYA'ların +2 değerlikli katyonlarla çökelek oluşturma özelliği, biyokütle flokları arasında tutularak birikim oluşturma nedenlerinden biri olarak bildirilmiştir [42].

YGLM, arıtma çamurunun çoklu anaerobik çürütülmesinde uygun bir yardımcı eş besiyeri (ko-substrat) olabilmekte ve birçok avantaj sağlamaktadır [33], [73]-[77]. YGLM yükleme hızı ve OYH, optimum bakteri adaptasyonu ve aktivitesi üzerinde etkili olurken UZYA'ların inhibisyon etkisini azaltan birçok faktör uygulanabilmektedir; seyreltme, tam karışım, çoklu organik madde kaynağı, Ca²⁺/Mg²⁺ tuz ilavesi veya yeni reaktör tasarımı gibi. Kabouris vd. [33] yarı-sürekli beslemeli lab-ölçekli mezofilik ve termofilik anaerobik çürütücülerde yemek sektörü kaynaklı polimerle susuzlaştırılmış YGLM'nin anaerobik çamur çürütücüyeye KÇ ile %48 UKM/UKM (w:w (YGLM:arıtma çamuru)) oranında yüklemesinde metan veriminde mezofilik (35°C) seviyede 2,95 (152'ye karşılık 449 mL CH₄/g UKM_{eklenen}) ve termofilik (52°C) seviyede 2,6 kat artış (197'ye karşılık 512 mL CH₄/g UKM_{eklenen}) elde etmişlerdir. Davidson vd. [73] arıtma çamurunun yağ atığı ile eş çürütmesinde UKM bazında %10-30 UKM oranında yağ atığı ilavesi ile metan üretiminde %9-27'lik artış elde etmişlerdir. Ayrıca bu artış sürecinde reaktör UKM'sinde artış meydana gelmemiştir. Tekli yağ atığı beslemesinde ise uzun dönemli stabil performans gerçekleşmemiştir.

Et işleme tesisi YGLM'si ile arıtma çamurlarının eş-çürütmesinde (%46 g UKM/g UKM, HBS 16 gün, OYH 3,46 kg UKM/m³.gün, 35°C) metan veriminde %60 artış elde edilmiştir [74]. Çamur içeriğinde adsorplanmış YGLM'nin metan üretimine katkısı 640 m³ CH₄/g UKM (YGLM) olarak elde edilmiştir. YGLM'nin %55 ve 71 ilavesinde beta-oksidasyon tamamlanmamış ve metan verimi aynı kalmış veya düşmüştür. Noutsopoulos vd. [75] evsel atıksu YGLM atığının KÇ ile lab-ölçekli yarı sürekli anaerobik

reaktörlerde arıtımında optimum 2,4 kg UKM-YGLM/m³.gün OYH belirlenmiştir. UKM bazında %60 atık yüklemesi ile 3,5 kg UKM-YGLM/m³.gün OYH'de %55 metan artışı edilse de pratikte uygulama zorlukları oluşmuştur.

Silvestre vd. [76] 35°C ve HBS 20 gün'de kentsel KÇ'un lab-ölçekli reaktörde sürekli karışimli yarı-sürekli beslemeli çoklu çürütme çalışmasında optimum %23 YGLM-UKM ilavesi ile OYH: 1,6 kg UKM/m³.gün (3,0 kg KOİ/m³.gün)'de metan dönüşümünde 1,38 kat artış ve 516 mg/L UZYA elde etmişlerdir. Anaerobik biyotada gerçekleşen adaptasyon sonucunda beta-oksitleyici asetojen ve asetiklastik metanojenlerin sırasıyla 3,75 ve 2,5 kat artan fakat hidrojenotrofik metanojenlerin azalan aktivitesi elde edilmiştir. OYH 1,7 kg UKM/m³.gün'de ise metan dönüşümünde gerçekleşen azalma ve 1349 mg/L'lik UZYA konsantrasyonu, maksimum YGLM (%37) karışım seviyesi ile ilişkilendirilmiştir. Pastor vd. [77] kentsel AAT'de oluşan arıtma çamurunun çöp sızıntı suyu ve kullanılmış yağlar ile birlikte mezofilik eş çürütmesinin biyometan potansiyel testlerini yürütmüşlerdir. Çalışmada biyogaz miktarı katı atık süzöntü suyu ve yağ için sırasıyla 12 ve 97 L/kg UKM olarak elde edilmiş ve yardımcı substrat olarak kullanılmış yağ tercih edilmiştir. Sürekli beslemeli sistemde (38°C) optimum yağ besleme oranı UKM bazında %19 olarak elde edilmiştir. Eş-beslemenin UKM giderimi ve metan üretimine sırasıyla %11 ve 23,5 oranında katkısı elde edilmiştir.

Anaerobik çamur çürütme prosesinde en yaygın uygulanan sıcaklık seviyesi 35-37°C olmakla beraber son yıllarda prosesin arıtım verimini arttırmak için termofilik sıcaklık uygulamaları artmaktadır [78]. Tek kademede yüksek kararsızlık nedeniyle iki kademeli termofilik + mezofilik sistemler tek kademe çürütücülerin yerini almaktadır [79]. Özellikle hidroliz basamağının hız kısıtlayıcı olduğu kompleks atıklar için yüksek metan ve kalitede çıkış çamuru eldesi hedeflendiğinde sıcaklık kademelendirmesi işletim zorluğu ve maliyetine rağmen yüksek potansiyel içermektedir.

Anaerobik çamur flotasyonunun engellenemediği UZYA içerikli atıksuların arıtımı için Alves vd. yeni bir reaktör tipi geliştirmiştir [80]. Ters çevrilmiş çamur yatağı reaktör (Inverted Anaerobic Sludge Bed reactor) olarak çalıştırılan sistemin içine biyokütle çökmesi için de ünite oluşturulmuştur. Çöken çamurun giriş atıksu ile teması sağlanacak şekilde reaktör tasarımı gerçekleştirilmiştir.

V. SONUÇLAR

YGLM ve ayrışma ürünleri UZYA özellikleri, atıksulardaki kaynakları, oluşumları, biyolojik parçalanma özellikleri, arıtım uygulamaları, oluşan problemlere yönelik çalışmalar ve elde edilen optimum reaktör ve çamur tipleri ile işletim özellikleri literatürdeki çalışmalardan derlenerek sunulmuş ve aşağıda belirtilen sonuçlara ulaşılmıştır:

- YGLM ve UZYA adsorplanma sonrası biyokütlelenin flotasyonuna sebep olduğu için reaktörde tutunumlu etkin arıtım için ilk öne çıkan faktörler optimum OYH ve ilave oranı olmaktadır.
- Hidroliz hızına eşit hızda UZYA oksidasyonu, birikimi dolayısıyla inhibisyon durumunu engellemekte ve asetojen ile metanojen aktivitelerinin optimum dengede ilerlemesini sağlamaktadır. Bu sebeple uygulanacak YGLM yükleme değerinin bu maddelerin hidroliz hızını aşmaması, arıtım kararlılığı ve verimi açısından ilk sırada önem arz etmektedir.
- Yüksek hidroliz hızlarının gerçekleştiği termofilik proseste, özellikle floküler çamur biyokütlesi için yüksek toksisite gerçekleşmektedir. Termofilik-mezofilik karşılaştırmalı çalışmalar mezofilik prosesi önermektedir.
- Yüksek yüzey alanına sahip olması nedeniyle floküler çamur, sistemde tutunumu şartıyla, granüler çamura göre daha etkin UZYA arıtımı sağlamaktadır.
- Yüksek HBS ve seyrelme sağlayan tam karışimli reaktör tipi inhibisyon etkisinin gideriminde etkili olmaktadır.

- Yüksek YGLM içeriğinin etkin arıtımında ardışık kesikli beslemeler, adsorplanma sonrası daha etkin beta-oksidasyon ve metanlaşma sağlaması bakımından faydalı bulunmaktadır.
- Oleat, stearat ve linoleat gibi C18 UZYA'lar en yüksek toksik etkiyi göstermeleri bakımından anaerobik reaktörlere kesikli besleme ile verilmeleri uygun olmaktadır. Bu UZYA'ların palmitata oksidasyonu hızlı ve inhibisyondan bağımsız gerçekleşmektedir. Oleat mevcudiyeti, oleattan oluşan palmitatın beta-oksidasyonunu engellemektedir. Bu nedenlerle palmitat reaktörlerde en fazla oluşan UZYA olmaktadır. Bu durumda kesikli besleme ile beta-oksidasyon reaksiyonlarının ilerlemesi ve beta-oksitleyici bakteri sayısının artması sağlanabilmektedir. Sadece palmitat içerikli beslemelerde konsantrasyona bağlı olarak belirgin bir inhibisyon oluşmamaktadır.
- YGLM, arıtma çamuru veya diğer proteinli atıkların çoklu anaerobik çürütülmesinde uygun bir yardımcı eş besiyeri (ko-substrat) olabilmekte ve birçok avantaj sağlamaktadır.

VI. KAYNAKLAR

- [1] WEF, *Industrial Wastewater Management, Treatment, and Disposal*, WEF Manual of Practice No. FD-3, 3rd edition, Water Environment Federation, Alexandria, 2008.
- [2] Metcalf ve Eddy, *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse*, 4th edition, McGraw-Hill Book Co, New York, 2003.
- [3] L. Appels, J. Lauwers, J. Degreè, L. Helsen, B. Lievens, K. Willems, J. Van Impe and R. Dewil, "Anaerobic digestion in global bio-energy production: potential and research challenges," *Renewable Sustainable Energy Reviews*, vol.15, pp. 4295–4301, 2011.
- [4] C. M. Braguglia, A. Gallipoli, A. Gianico, and P. Pagliaccia, "Anaerobic bioconversion of food waste into energy: A critical review," *Bioresource Technology*, vol. 248, pp. 37–56, 2018.
- [5] İ. Öztürk. *Anaerobik arıtma ve uygulamaları*, Su Vakfı Yayınları, İstanbul, 2007.
- [6] D. Erdirencelebi and M. Kucukhemek, "Diagnosis of the anaerobic reject water effects on WWTP operational characteristics as a precursor of bulking and foaming," *Water Science and Technology*, vol. 71, no. 4, pp. 572-579, 2015.
- [7] L. D. Nghiem, K. Koch, D. Bolzonella and J. E. Drewes, "Full scale co-digestion of wastewater sludge and food waste: Bottlenecks and possibilities," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol.72, pp. 354–362, 2017.
- [8] D. Erdirencelebi and C. Bayhan, "Feasibility and potential of separate anaerobic digestion of municipal sewage sludge fractions," *Water SA*, vol. 46, no. 1, pp. 123-130, 2020.
- [9] M. M. Alves, M. A. Pereira, D. Z. Souza, A. J. Cavaleiro, P. Merjin, H. Smidt and A. J. M. Stams, "Waste lipids to energy: how to optimize methane production from long-chain fatty acids (LCFA)," *Microbial Biotechnology*, vol. 2, no. 5, pp. 538-550, 2009.
- [10] D. Erdirencelebi and S. Koyuncu, "Optimization of Biological Nitrogen Removal over Nitrite in the Presence of Lipid Matter by Regulation of Operational Modes," *Journal of Environmental Engineering (ASCE)*, vol. 144, no. 2, pp. 40170991-40170999, 2018.

- [11] M. Quémeneur and Y. Marty, "Fatty-acids and sterols in domestic wastewaters," *Water Research*, vol. 28, pp. 1217–1226, 1994.
- [12] S.-H. Kim, S.-K. Han and H.-S. Shin, "Two-phase anaerobic treatment system for fat-containing wastewater," *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, vol. 79, pp. 63–71, 2004b.
- [13] S. Sayed, J. van der Zanden, R. Wijffels and G. Lettinga, "Anaerobic degradation of the various fractions of slaughterhouse waste-water," *Biological Waste*, vol. 323, no. 117–142, 1988.
- [14] Y. Saatci, E. I. Arslan and V. Konar, "Removal of total lipids and fatty acids from sunflower oil factory effluent by UASB reactor," *Bioresource Technology*, vol. 87, pp. 269–272, 2003.
- [15] M. Beccari, M. Majone and L. Torrisi, "Two-reactor system with partial phase separation for anaerobic treatment of olive oil mill effluents," *Water Science and Technology*, vol. 38, pp. 53–60, 1998.
- [16] P. Becker, D. Koster, M.N. Popov, S. Markossian, G. Antranikian and H. Markl, "The biodegradation of olive oil and the treatment of lipid-rich wool scouring wastewater under aerobic thermophilic conditions," *Water Research*, vol. 33, pp. 653–660, 1999.
- [17] S.-H. Kim, S.-K. Han and H.-S. Shin, "Kinetics of LCFA Inhibition on Acetoclastic Methanogenesis, Propionate Degradation and β -Oxidation," *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, vol. A39, no. 4, pp. 1025–1037, 2004a.
- [18] J. A. Lalman and D. M. Bagley, "Anaerobic degradation and methanogenic inhibitory effects of oleic and stearic acids," *Water Research*, vol. 35, no. 12, pp. 2975–83, 2001.
- [19] J.-C. Frigon, R. H. Abdou, P. J. McGinn, S. J. B. O'Leary and S. R. Guiot, "Fate of palmitic, palmitoleic and eicosapentaenoic acids during anaerobic digestion of *Phaeodactylum tricornutum* at varying lipid concentration," *Algal Research*, vol. 6, pp. 46–51, 2014.
- [20] D. Z. Sousa, H. Smidt, M. M. Alves and A. J. M. Stams, "Ecophysiology of syntrophic communities that degrade saturated and unsaturated long-chain fatty acids," *FEMS Microbiology Ecology*, vol. 68, pp. 257–272, 2009.
- [21] B. E. Rittmann and P. L. McCarty, *Environmental Biotechnology: Principles and Applications*, McGraw-Hill Book Co, Singapore, 2001.
- [22] I. Angelidaki and B. K. Ahring, "Effects of free long-chains fatty acids on thermophilic anaerobic digestion," *Applied Microbiology and Biotechnology*, vol. 37, pp. 808–812, 1992.
- [23] M. Kim, Y.H. Ahn and R. E. Speece, "Comparative process stability and efficiency of anaerobic digestion; mesophilic vs. thermophilic," *Water Research*, vol. 36, pp. 4369–4385, 2002.
- [24] J. Palatsi, M. Laurenzi, M. V. Andrés, X. Flotats, H. B. Nielsen and I. Angelidaki, "Strategies for recovering inhibition caused by long chain fatty acids on anaerobic thermophilic biogas reactors," *Bioresource Technology*, vol. 100, pp. 4588–4596, 2009.
- [25] Y. Z. Chia, Y.Y. Li, M. Ji, H. Qiang, H. W. Deng and Y. P. Wu, "Mesophilic and Thermophilic Digestion of Thickened Waste Activated Sludge: A Comparative Study," *Advanced Material Research*, vol. 113, pp. 450–458, 2010.
- [26] C. B. D. Cavinato, P. Pavan, F. Fatone and F. Cecchi, "Mesophilic and thermophilic anaerobic co-digestion of waste activated sludge and source sorted biowaste in pilot- and full-scale reactors," *Renewable Energy*, vol. 55, pp. 260–265, 2013.

- [27] S. Astals, D. J. Batstone, J. Mata-Alvarez and P. D. Jensen, "Identification of synergistic impacts during anaerobic co-digestion of organic wastes," *Bioresource Technology*, vol. 169, pp. 421–427, 2014.
- [28] R. H. Abeles, P. A. Frey, W. P. Jencks. *Biochemistry*, Jones and Bartlett Publishers, Boston, 1992.
- [29] D. Z. Sousa, M. A. Pereira, A. J. M. Stams and M. M. Alves, "Microbial communities involved in anaerobic degradation of unsaturated or saturated long chain fatty acids (LCFA)," *Applied and Environmental Microbiology*, vol. 73, no. 4, pp. 1054-1064, 2007.
- [30] R. E. Speece, *Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewaters*, Archae Press, Nashville, 1996.
- [31] M. Pereira, A. Cavaleiro, M. Mota and M. Alves, "Accumulation of long chain fatty acids onto anaerobic sludge under steady state and shock loading conditions: effect on acetogenic and methanogenic activity," *Water Science and Technology*, vol. 48, no. 6, pp. 33–40, 2003.
- [32] S.T. Oh and A.D. Martin, "Long chain fatty acids degradation in anaerobic digester: Thermodynamic equilibrium consideration," *Process Biochemistry*, vol. 45, pp. 335–345, 2010.
- [33] J. C. Kabouris, U. Tezel, S. G. Pavlostathis, M. Engelmann, J. Dulanay, R. Gillette and A. C. Tood, "Methane recovery from the anaerobic co-digestion of municipal sludge and FOG," *Bioresource Technology*, vol. 100, pp. 3701–3705, 2009.
- [34] G. J. Silvestre, B. Fernandez and A. Bonmati, "Thermophilic anaerobic co-digestion of sewage sludge with grease waste: Effect of long chain fatty acids in the methane yield and its dewatering properties," *Applied Energy*, vol. 117, pp. 87-94, 2014.
- [35] A. Rinzema, M. Boone, K.V. Knippenberg and G. Lettinga, "Bactericidal effect of long chain fatty acids in anaerobic digestion," *Water Environment Research*, vol. 66, no. 1, pp. 40–49, 1994.
- [36] H. Galbraith and T. B. Miller, "Effect of metal cations and pH on the antibacterial activity and uptake of long chain fatty acids," *Journal of Applied Bacteriology*, vol. 36, pp. 635-646, 1973a.
- [37] H. Galbraith and T. B. Miller, "Physicochemical effects of long chain fatty acids on bacterial cells and their protoplasts," *Journal of Applied Bacteriology*, vol. 36, pp. 647-658, 1973b.
- [38] M. M. Alves, J. A. Mota Vieira, R. M. Álvares Pereira, M. A. Pereira and M. Mota, "Effects of lipids and oleic acid on biomass development in anaerobic fixed-bed reactors. Part II: oleic acid toxicity and biodegradability," *Water Research*, vol. 35, no. 1, pp. 264–270, 2001.
- [39] C. J. Zheng, J.-S. Yoo, T.-G. Lee, H.-Y. Cho, Y.-H. Kim and W.-G. Kim, "Fatty acid synthesis is a target for antibacterial activity of unsaturated fatty acids," *FEBS Letters*, vol. 579, no. 23, pp. 5157–5162, 2005.
- [40] A. Desbois and V. Smith, "Antibacterial free fatty acids: activities, mechanisms of action and biotechnological potential," *Applied Microbiology Biotechnology*, vol. 85, no. 6, pp. 1629–1642, 2010.
- [41] M. A. Pereira, D. Z. Sousa, M. Mota and M.M. Alves, "Mineralization of LCFA Associated With Anaerobic Sludge: Kinetics, Enhancement of Methanogenic Activity, and Effect of VFA," *Biotechnology Bioengineering*, vol. 88, no. 4, pp. 502-511, 2004.
- [42] M. A. Pereira, O. C. Pires, M. Mota and M. M. Alves, "Anaerobic biodegradation of oleic and palmitic acids: evidence of mass transfer limitations caused by long chain fatty acid accumulation onto the anaerobic sludge," *Biotechnology Bioengineering*, vol. 92, no. 1, pp. 15–23, 2005.

- [43] F. Roy, E. Samain, H. Dubourguier and C. Albagnac, “*Syntrophomonas sapovorans* sp. nov., a new obligately proton reducing anaerobe oxidizing saturated and unsaturated long chain fatty acids,” *Archives of Microbiology*, vol. 145, pp. 142-147, 1986.
- [44] I. W. Koster ve A. Cramer, “Inhibition of methanogenesis from acetate in granular sludge by long chain fatty acids,” *Applied and Environmental Microbiology*, vol. 53, no. 2, pp. 403–409, 1987.
- [45] C. S. Hwu, B. Donlon and G. Lettinga, ‘Comparative toxicity of Long-chain fatty acid to anaerobic sludges from various origins,’ *Water Science and Technology 18th Biennial Conference of the International-Association-on-Water-Quality*, Singapore Jun 23-28, 1996, 34(5-6), pp. 351-358.
- [46] M. Perle, S. Kimchie and G. Shelef, “Some biochemical aspects of the anaerobic degradation of dairy wastewater,” *Water Research*, vol. 29, pp. 1549-1554, 1995.
- [47] M. Beccari, F. Bonemazzi, M. Majone and C. Riccardi. “Interaction between acidogenesis and methanogenesis in the anaerobic treatment of olive oil mill effluents,” *Water Research*, vol. 30, pp. 183-189, 1996.
- [48] J. T. Yoke III, “The solubility of calcium soaps,” *Journal of Physical Chemistry*, vol. 62, no. 6, pp. 753–755, 1958.
- [49] M. A. Pereira, O. C. Pires, M. Mota and M. M. Alves, “Anaerobic degradation of oleic acid by suspended sludge: identification of palmitic acid as a key intermediate,” *Water Science and Technology*, vol. 45, no. 10, pp. 139-144.
- [50] M. Asther and G. Corrieu, “Effect of Tween 80 and oleic acid on ligninase production by *Phanerochaete chrysosporium* INA-12,” *Enzyme Microbiology Technology*, vol. 9, pp. 245-249, 1987.
- [51] M. A. Lewis, “The effects of mixtures and other environmental modifying factors on the toxicities of surfactants to freshwater and marine life,” *Water Research*, vol. 26, pp. 1013-1023, 1992.
- [52] E. Thies, T. Jenkins and F. Stutzenberger, “Effects of the detergent Tween 80 on *Thermomonospora curvata*,” *World Journal of Microbiology Biotechnology*, vol. 10, pp. 657-663, 1994.
- [53] J. Lalman and D. M. Bagley, “Effects of C18 long chain fatty acids on glucose, butyrate and hydrogen degradation,” *Water Research*, vol. 36, no. 13, pp. 3307–3313, 2002.
- [54] R. A. Labatut, L. T. Angenent and N. R. Scott, “Conventional mesophilic vs. thermophilic anaerobic digestion: A trade-off between performance and stability?” *Water Research*, vol. 53, pp. 249-258, 2014.
- [55] C. S. Hwu and G. Lettinga, “Acute toxicity of oleate to acetate-utilizing methanogens in mesophilic and thermophilic anaerobic sludges,” *Enzyme Microbiology Technology*, vol. 21, pp. 297–301, 1997.
- [56] K. Hanaki, T. Matsuo and M. Nagase, “Mechanism of inhibition caused by long-chain fatty acids in anaerobic digestion process,” *Biotechnology Bioengineering*, vol. 23, no. 7, pp. 1591–1610, 1981.
- [57] J. Palatsi, R. Affes, B. Fernandez, M. A. Pereira, M. M. Alves and X. Flotats. “Influence of adsorption and anaerobic granular sludge characteristics on long chain fatty acids inhibition process,” *Water Research*, vol. 46, pp. 5268-5278, 2012.
- [58] A. Rinzema, A. Alphenaar and G. Lettinga, “Anaerobic digestion of long-chain fatty acids in UASB and expanded granular sludge bed reactors,” *Process Biochemistry*, vol. 28, no. 8, pp. 527–537, 1993.

- [59] F. R. Hawkes, T. Donnelly and G. K. Anderson, "Comparative performance of anaerobic digesters operating on ice-cream wastewater," *Water Research*, vol. 29, pp. 525–533, 1995.
- [60] A. J. Cavaleiro, M. A. Pereira, A. P. Guedes, A. J. M. Stams, M. M. Alves and D. Z. Sousa, "Conversion of C_n-Unsaturated into C_{n-2}-Saturated LCFA Can Occur Uncoupled from Methanogenesis in Anaerobic Bioreactors," *Environmental Science and Technology*, vol. 50, pp. 3082–3090, 2016.
- [61] P. Sam-soon, R. E. Loewenthal, M. C. Wentzel and G. V. R. Marais, "A long-chain fatty acid, oleate, as sole substrate in upflow anaerobic sludge bed (UASB) reactor systems," *Water SA*, vol. 17, pp. 31–36, 1991.
- [62] D. J. Batstone, J. Keller, R. B. Newell and M. Newland, "Modelling anaerobic degradation of complex wastewater. I: model development," *Bioresource Technology*, vol. 75, pp. 67-74, 2000.
- [63] T. Komatsu, K. Hanaki and T. Matsuo, "Prevention of lipid inhibition in anaerobic processes by introducing a two-phase system," *Water Science and Technology*, vol. 23, pp. 1189–1200, 1991.
- [64] R. M. Dinsdale, F. R. Hawkes and D. L. Hawkes, "The mesophilic and thermophilic anaerobic digestion of coffee waste containing coffee grounds," *Water Research*, vol. 30, pp. 371–377, 1996.
- [65] L.-J. Wu, T. Kobayashi, Y.-Y. Li and K.-Q. Xu. "Comparison of single-stage and temperature-phased two-stage anaerobic digestion of oily food waste," *Energy Conversion and Management*, vol. 106, pp. 1174–1182, 2015.
- [66] A. J. Cavaleiro, A. F. Salvador, J. I. Alves and M. M. Alves, "Continuous high rate anaerobic treatment of oleic acid based wastewater is possible after a step feeding start-up," *Environmental Science and Technology*, vol. 43, pp. 2931-2936, 2009.
- [67] J. Palatsi, J. Illa, F. X. Prenafeta-Boldú, M. Laureni, B. Fernandez, I. Angelidaki and X. Flotats, "Long-chain fatty acids inhibition and adaptation process in anaerobic thermophilic digestion: Batch tests, microbial community structure and mathematical modelling," *Bioresource Technology*, vol. 101, pp. 2243–2251, 2010.
- [68] D. Erdirencelebi, "Treatment of high-fat-containing dairy wastewater in a sequential UASBR system: influence of recycle," *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, vol. 86, pp.525–533, 2011.
- [69] J. Jeganathan, G. Nakhla and A. Bassi, "Long-term performance of high-rate anaerobic reactors for the treatment of oily wastewater," *Environmental Science and Technology*, vol. 40, pp. 6466– 6472, 2006.
- [70] Y. Kuang, M. Lepesteur, P. Pullammanappallil and G. E. Ho, "Influence of co-substrates on structure of microbial aggregates in long-chain fatty acid-fed anaerobic digesters," *Letters in Applied Microbiology*, vol. 35, no. 3, pp. 190–194, 2002.
- [71] Y. Kuang, P. Pullammanappallil, M. Lepesteur and G. E. Ho, "Recovery of oleate inhibited anaerobic digestion by addition of simple substrates," *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, vol. 81, no. 6, pp.1057–1063, 2006.
- [72] H. Yu, X. Zheng, Z. Hu and G. Gu, "High-rate anaerobic hydrolysis and acidogenesis of sewage sludge in a modified upflow reactor," *Water Science and Technology*, vol. 48, no. 4, pp. 69-75, 2003.
- [73] A. Davidsson, C. Lovstedt, J. L. Jansen, C. Gruvberger and H. Aspegren, "Co-digestion of grease trap sludge and sewage sludge," *Waste Management*, vol. 28, no. 6, pp. 986–992, 2008.

- [74] S. Luostarinen, S. Luste and M. Sillanpaa, "Increased biogas production at wastewater treatment plants through co-digestion of sewage sludge with grease trap sludge from a meat processing plant," *Bioresource Technology*, vol. 100, no. 1, pp.79–85, 2009.
- [75] C. Noutsopoulos, D. Mamais, K. Antoniou, C. Avramides, P. Oikonomopoulos and I. Fountoulakis, "Anaerobic co-digestion of grease sludge and sewage sludge: The effect of organic loading and grease sludge content," *Bioresource Technology*, vol. 131, pp. 452–459, 2013.
- [76] G. Silvestre, A. Rodríguez-Abalde, B. Fernández, X. Flotats and A. Bonmatí, "Biomass adaptation over anaerobic co-digestion of sewage sludge and trapped grease waste," *Bioresource Technology*, vol. 102, pp. 6830–6836, 2011.
- [77] L. Pastor, L. Ruiz, A. Pascual and B. Ruiz, "Co-digestion used oils and urban landfill leachates with sewage sludge and the effect on the biogas production," *Applied Energy*, vol. 93, pp. 438–45, 2013.
- [78] Y. J. Shao, H. S. Kim, S. Oh, R. Iranpour and D. Jenkins, "Full-scale sequencing batch thermophilic anaerobic sludge digestion to meet EPA class A biosolids requirements," *Proceedings of the 75th Annual Conference and Exposition, WEFTEC 2002, Chicago, Ill., USA, September 28-October 2, 2002*, pp. 573–591, ISSN 1938-6478.
- [79] S. Krugel, K. Hamel and B. K. Ahring, "North America's first new temperature phased anaerobic digestion system – a successful start-up at the western lake superior sanitary district (WLSSD)," *Proceedings of the 75th Annual Conference and Exposition, WEFTEC 2002, Chicago, Ill., USA, September 28-October 2, 2002*, vol. 19, pp. 452-470, ISSN 1938-6478.
- [80] M. M. Alves, M. A. Picavet, M.A. Pereira, A. J. Cavaleiro and D. Z. Sousa, "Novel anaerobic reactor for the removal of long chain fatty acids from fat containing wastewater," 2007, WO 2007058557, <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2007058557>.



Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

Analysis of Air Pollution in Bayburt Province with Statistical Methods

 Tuğçe HIRCA ^{a,*},  Gökçen ERYILMAZ TÜRKKAN ^b,  Hanefi BAYRAKTAR ^c

^a Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Bayburt University, Bayburt, TURKEY

^b Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Balıkesir University, Balıkesir, TURKEY

^c Department of Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Atatürk University, Erzurum, TURKEY

* Corresponding author's e-mail address: tugcehirca1@gmail.com

DOI: 10.29130/dubited.915877

ABSTRACT

In this study, the temporal changes of air pollutants belonging to the city center of Bayburt, their interactions with local meteorological parameters, and trends were analyzed using statistical methods. In this context, hourly measured PM₁₀, SO₂, NO, NO₂, NO_x, O₃ and hourly temperature (t), wind speed (ws), humidity (rh), pressure (p) data for the 2017-2019 period were analyzed. The average value of PM₁₀ concentrations from primary pollutants was 40.5 µg/m³, and the average value of SO₂ concentrations was 6.85 µg/m³. According to the results of the Mann-Whitney U test, it was found that the averages concentrations of the cold season pollutants significantly differed statistically from the averages concentrations of the hot season (p=0.000<0.05). According to the Kruskal Wallis test, a statistically significant difference was found between the averages of the pollutant concentrations by years (p=0.000<0.05). It was determined by Post-Hoc/Tamhane's T2 analysis which years there was a differentiation between. Spearman's rho correlation analysis results reveal a statistically significant relationship between air pollutants and meteorological parameters (p=0.000<0.05). Accordingly, it was determined that the relationship between PM₁₀, and relative humidity is negative, the relationship between SO₂ and air pressure is positive, the relationship between NO, NO₂, and NO_x, wind speed and temperature is negative, the relationship between O₃ and temperature with wind speed is positive. According to the innovative trend analysis method (ITA) results, PM₁₀ levels tend to decrease and other pollutants tend to increase. Considering the time interval of the data used, although it is not observed that the pollutant averages exceed the limit values, the increasing trend of pollutants reveals that more efforts should be made to maintain positive air quality. Statistical data analysis in the study was carried out with SPSS 22 software.

Keywords: Bayburt, Air pollution, Meteorological parameters, Spearman's rho, Trend analysis.

Bayburt İli Hava Kirliliğinin İstatistiksel Yöntemlerle Analizi

Öz

Bu çalışmada Bayburt şehir merkezine ait hava kirleticilerinin zamansal değişimleri, yerel meteorolojik parametreler ile olan etkileşimleri ve trendleri istatistiksel yöntemlerle analiz edilmiştir. Bu kapsamda, 2017-2019 dönemi saatlik ölçülen PM₁₀, SO₂, NO, NO₂, NO_x ve O₃ ile saatlik sıcaklık (t), rüzgâr hızı (ws), nem (rh) ve basınç (p) verileri analiz edilmiştir. Birincil kirleticilerden PM₁₀ konsantrasyonlarının ortalama değeri 40.5 µg/m³ ve SO₂ konsantrasyonlarının ortalama değeri ise 6.85 µg/m³ olarak tespit edilmiştir. Mann-Whitney U testi sonuçlarına göre, kirleticiler konsantrasyonlarının soğuk mevsim ortalamaları sıcak mevsim ortalamalarından istatistiksel manada anlamlı şekilde farklılaştığı tespit edilmiştir (p=0.000<0.05). Kruskal Wallis testine göre kirleticiler konsantrasyonlarının yıllara göre ortalamaları arasında da istatistiksel açıdan anlamlı bir farklılaşma olduğu saptanmıştır (p=0.000<0.05). Hangi yıllar arasında farklılaşmanın olduğu Post-Hoc/Tamhane's T2 analizi ile

belirlenmiştir. Spearman's rho korelasyon analizi sonuçları hava kirleticiler ile meteorolojik parametreler arasında istatistiki manada anlamlı bir ilişki ortaya koymaktadır ($p=0.000<0.05$). Buna göre, PM_{10} ile bağıl nem arasındaki ilişkinin negatif yönlü, SO_2 ile hava basıncı arasındaki ilişkinin pozitif yönlü, NO, NO_2 ve NO_x ile rüzgâr hızı ve sıcaklık arasındaki ilişkinin negatif yönlü, O_3 ile sıcaklık ve rüzgâr hızı arasındaki ilişkinin pozitif yönlü olduğu tespit edilmiştir. Yenilikçi trend analiz yöntemi (ITA) sonuçlarına göre, PM_{10} seviyeleri azalış, diğer kirleticiler ise artış eğilimi göstermektedir. Kullanılan verilerin zaman aralığı göz önüne alındığında kirletici ortalamalarının her ne kadar sınır değerleri aştığı gözlenirse de kirleticilerin artış eğiliminde olması, pozitif hava kalitesinin korunması için daha fazla çaba gösterilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Çalışmadaki istatistiksel veri analizleri SPSS 22 programı ile gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bayburt, Hava kirliliği, Meteorolojik parametreler, Spearman's rho, Trend analizi.

I. INTRODUCTION

The rapid increase in the world population, irregular urbanization, and increasing energy needs as a result of agriculture and industrial development have caused the deterioration of the balanced relationship between humans and the natural environment [1]. The uncontrolled release of waste materials generated by the rapid consumption of natural resources to nature also brings some ecological concerns. Nowadays, air pollution is at the top of the increasing environmental problems, threatening the ecological structure of the future and exposing it to ecological and biological hazards [2]. The adverse effects of pollutants that cause air pollution on human health is an undeniable fact [3]. In this context, the EPA (Environmental Protection Agency) defines air pollution as "the presence of pollutants in the air in a way that will harm human health or welfare or create other harmful environmental effects" [4,5]. In clinical studies on humans, pollutants such as O_3 , SO_2 , PM_{10} , NO_x , and biogenic antigens such as pollen have been reported to increase respiratory diseases [6-8]. It has been found that there is a relationship between air pollution and admission to hospitals or emergency services for adults and children due to respiratory complaints or exacerbation of asthma [9-11].

The causes of air pollution observed in Turkey can be largely based on fuels consumed for household fuel and motor vehicles. The poor quality of the fuels used in heating and the insufficiency of the appropriate combustion techniques cause an increase in the number of pollutants sent to the atmosphere [12]. In addition, meteorological parameters also affect the distribution of air pollutants in the atmosphere. Air pollutants move horizontally and vertically in the atmosphere. As a result of these movements, the larger the volume of pollutants mix with the air, the more they dilute, and their concentration decreases. The reduction of pollutant concentrations has a reducing effect on the adverse effects of pollutants [12,13]. Many studies in the literature have found a relationship between pollutant concentrations and meteorological parameters. [14-18].

Air pollutants can be of natural origin or human origin. Although naturally sourced pollutants are not permanent (acute effect), they are released into the air in greater concentrations than anthropogenic pollutants. Human source pollutants, on the other hand, are in high or low concentrations but are continuous (chronic effect). In this case, considering the pollutant loads in the atmosphere, it is seen that the atmosphere can control naturally originated pollutants over time but cannot adequately control anthropogenic pollutant concentrations [19]. For this reason, it is essential to examine the changes in air pollutants over time. In recent studies, changes in pollutant concentrations over time have been examined using trend analysis methods [20-22].

In this study, the temporal changes of air pollutants in the city center of Bayburt, their interactions with local meteorological parameters, and their trends were examined by statistical methods. In this context, hourly measured PM_{10} , SO_2 , NO, NO_2 , NO_x , and O_3 and hourly temperature (t), wind speed (ws), humidity (rh), and pressure (p) data for the 2017-2019 period were used in the analysis.

II. MATERIALS AND METHODS

A. STUDY AREA AND GEOGRAPHICAL FEATURES

Bayburt is located between 40°37' north latitude and 40°45' east longitude, 39°52' south latitude, and 39° 37' west longitude. It is a province with a surface area of 3652 km², established in the northeast of Anatolia, on the banks of the Çoruh River, and at an altitude of 1550 m from the sea. Bayburt and its surroundings generally consist of three parts in terms of landforms. The first is the Bayburt plain, which forms the western half of the field, the second is the valleys formed by streams, and the third is the mountainous areas surrounding the region and located in the eastern half. In the province of Bayburt, a transition climate with predominant terrestrial features prevails between the Eastern Black Sea climate and the Eastern Anatolian climate [23,24].



Figure 1. Bayburt city center and air quality observation station (Google Earth Image © 2021).

B. THE DATA FOR THIS STUDY

Two types of databases were used in the study: air pollutants and local meteorological parameters. These different databases are the "hourly" measured and recorded data, which are the same period time, and cover the 2017-2019 period. Hours with missing any parameters or incorrect measurements are completely ignored. In this way, included 18434 data for each variable in the study were used in the statistical analyses. Hourly air pollution parameters (PM₁₀, SO₂, NO, NO₂, NO_x, and O₃) for the 2017-2019 period were obtained from the air quality monitoring station in the city center. Hourly meteorological parameters (temperature (t), wind speed (ws), humidity (rh), and pressure (p)) were also obtained from the same station [25]. The location of the air quality measurement station is presented in Figure 1.

C. METHODS APPLIED IN DATA ANALYSIS

To increase the air quality, an emission inventory of the region should be created. In this context, in the design of projects to be carried out to improve air quality, regular and continuous measurement of the pollutant parameters of the region, their interpretation under local meteorological parameters, and the

changes in air pollution parameters over time should be examined [19]. As in all other environmental data, data on air pollutants are generally asymmetrical, seasonal, sequentially dependent, and nonnormal distribution, containing contradictory and missing observations [22]. Because of all these features should do a normality test to decide whether parametric or nonparametric tests should be used in analyzes from statistical methods. In cases where the sample size is 30 and above ($n \geq 30$), the fitness of the quantitative variable to the normal distribution is tested with the Kolmogorov Smirnov test [26]. Both histogram graphs and Kolmogorov Smirnov test results ($p < 0.05$) revealed that the meteorological and air pollutant parameters were not normally distributed. Therefore, nonparametric tests were used in statistical methods. Within the scope of this study, first of all, general descriptive statistical parameters (means, confidence intervals for the average at 95% significance level, min/max values) belonging to the air pollution parameters and meteorological parameters of the city center were calculated.

Whether the seasonal averages of the air pollution parameters have a statistically significant difference or not was investigated by the Mann-Whitney U test. Similarly, investigated the significance of the difference between the annual averages of the air pollution parameters with the Kruskal Wallis test. The years between which there was a significant difference in parameters with significant differences were determined by Post-Hoc/Tamhane's T2 test. The statistical relationships of each hourly data with each other were examined with Spearman's rho analysis. Especially in recent years, the change of data in climatological and hydrological large data sets over time is often investigated with trend analyses. [19,27,28].

In this study, since it is considered that the data sets of air pollutants may have seasonal changes, may contain incomplete or abnormal values, the changes of air pollutants over time have been examined by nonparametric trend analysis method. Because parametric tests are possible under a series of restrictive assumptions such as normal distribution, specific data length, and independent structure of time series, for this reason, in the study, the changes in air pollutants in a certain period were examined using the innovative trend analysis method (ITA) proposed by Şen (2012) [29]. In the innovative trend analysis method, the time series is first divided into two equal parts, and the separated series are ordered from the smallest to the largest. Then, as shown in Figure 2, the first half of the time series (x_i) is placed on the X-axis of the cartesian coordinate system and the second half of the time series (x_j) on the Y-axis. These series set in the coordinate system are mutually punctuated. If the points stay above the 1:1 (45°) line as in Figure 2, it is concluded that there is an increasing trend in the time series, a decreasing trend if it falls below the line, and if it remains in the 1:1 line, it is concluded that there is no trend.

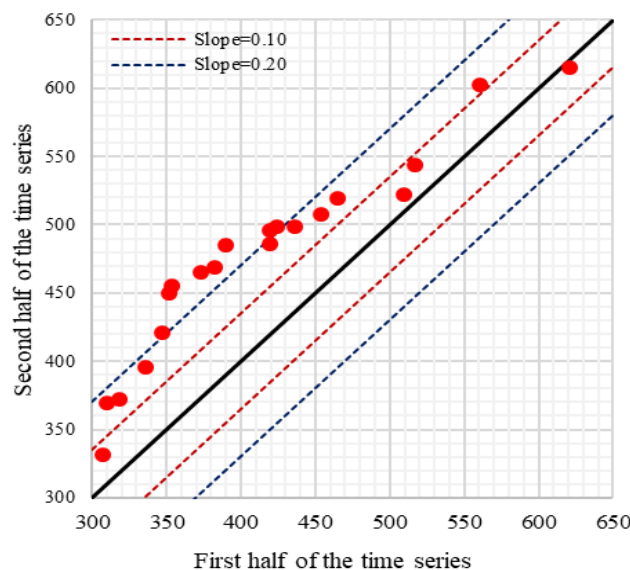


Figure 2. Graph showing innovative trend analysis.

The examination of air pollution and meteorological parameters with statistical methods was carried out with SPSS 22 software. The results obtained from these analyses are explained in detail in the next section.

III. RESULTS AND DISCUSSION

A. GENERAL STATISTICAL INFORMATION ON AIR POLLUTION AND METEOROLOGICAL PARAMETERS

General descriptive statistical parameters (averages, confidence intervals for the average at 95% significance level, min/max values) of air pollutants (PM₁₀, SO₂, NO, NO_x, NO₂ ve O₃), and of meteorological parameters (temperature (t), wind speed (ws), relative humidity (rh) and air pressure (p)) that make up the wide data set in the study are presented in Table 1.

Table 1. General descriptive statistics on air pollution and meteorological parameters.

Descriptive Statistical Parameters	Air Pollution Parameters						Meteorological Parameters				
	PM ₁₀	SO ₂	NO	NO ₂	NO _x	O ₃	t (°C)	ws (m/sn)	rh (%)	p (mbar)	
Mean	40.5	6.85	7.74	27.2	34.9	39.2	10.1	1.58	56.1	837.58	
CI*	Lower	39.9	6.76	7.48	26.9	34.5	38.9	9.90	1.57	55.9	837.04
	Upper	41.1	6.93	7.99	27.5	35.5	39.5	10.2	1.59	56.3	838.11
Change	Min.	0.00	0.96	0.09	2.80	3.05	0.40	-20.9	0.00	2.81	808.40
Range	Max.	449	99.5	435	134	493	159	39.7	6.17	89.5	1046.9
N	18434										

*Confidence interval of the mean at the 95% significance level

N: Number of data

As stated in the previous section, the study covers the 2017-2019 period, and the hourly measurement value was taken for each parameter. Hours with missing any parameters or incorrect measurements are completely ignored. Thus, 18434 data were included in the analysis. Considering the long-hour averages of the most important air pollutants (PM₁₀, SO₂ and, NO₂) in this context, the following conclusions can be reached.

The average value of PM₁₀ concentrations measured in the city center is determined to be 40.5 µg/m³, and it is estimated that the value of PM₁₀ at the statistical significance level of 95% is between 39.9 and 41.1 µg/m³. The highest hourly PM₁₀ level was measured at 449 µg /m³ on 25 October 2017 at 1 pm. This maximum value measured is approximately nine times higher than the air quality legal limit. (Air Quality Assessment and Management Regulation, ANNEX 1-B 24-hour limit value for PM₁₀, 50 µg /m³) [30]. The average of long-hour SO₂ concentrations measured in the city center was calculated as 6.85 µg /m³. It is estimated that the average value of SO₂ at the statistical significance level of 95% is between 6.76 and 6.93 µg/m³. During the study period, the highest SO₂ concentration was measured as 99.5 µg/m³ at around 6 pm on 24 November 2019. It was determined that the maximum hourly measured SO₂ value was below the legally allowable limits. (Air Quality Assessment and Management Regulation, ANNEX1-B for SO₂ hourly limit value, 350 µg /m³) [30]. The average of long-hour NO₂ concentrations measured in the city center is calculated as 27.2 µg/m³ and it is estimated that the average value of NO₂ at the statistical significance level of 95% is estimated to be between 26.9 and 27.5 µg/m³. Within the scope of the study period, the highest NO₂ concentration was measured as 134 µg/m³ at around 5 pm on 24 November 2019. It was determined that the maximum hourly measured NO₂ value was below the allowed legal limits. (Air Quality Assessment and Management Regulation, ANNEX1-B, hourly limit value for NO₂, 200 µg/m³) [30].

The highest levels of pollutant parameters PM₁₀, SO₂, and NO₂ were observed during the cold season (October 1st-March 31st) as expected, and at noon and end of the shift (1 pm, 6 pm, and 5 pm). It is thought that reasons such as heavy traffic activities in the city center during these hours, coal used for

heating due to the cold season, fuel-oil emissions and use of poor quality fuel are the main causes of air pollution in the city center.

B. STATISTICAL ANALYSIS OF SEASONAL AND ANNUAL DISTRIBUTIONS OF AIR POLLUTANTS

It is also essential to examine the seasonal changes in air pollutants formed in city centers. Especially during the mild season transitions when sudden temperature and pressure differences are observed, the increase in air pollutant levels and adverse meteorological conditions create adverse health effects on people living in city centers [19]. The cold (winter) season has been specified as "October 1-March 31" within the scope of the "Air Quality Assessment and Management Regulation" [30]. In this context, under this heading, the Mann-Whitney U test was applied to nonnormal distribution data (PM₁₀, SO₂, NO, NO₂, NO_x, and O₃) to analyze the significance of the differences in the mean of air pollutants measured in the city center in the cold and hot seasons.

PM₁₀ levels in cold seasons (average: 46.58 µg/m³) are mathematically higher than PM₁₀ levels in hot seasons (33.34 µg/m³). It has been determined that SO₂ levels (average: 8.98 µg/m³) in cold seasons are higher than SO₂ levels in hot seasons (average:4.32 µg/m³). In the Air Quality Assessment and Management Regulation Annex 1-B Limit values, evaluation, and warning thresholds table, the cold season limit value for SO₂ is given as 20 µg/m³, and it has been determined that the SO₂ levels occurring in the city center are below the allowable limit values for the cold seasons [30]. It has been determined that NO levels in cold seasons (average: 10.75 µg /m³) are higher than NO levels in hot seasons (average: 4.16 µg /m³). Similarly, NO₂ levels in cold seasons (average: 31.81 µg/m³) were determined to be higher than NO₂ levels in hot seasons (average: 21.83 µg/m³). It was determined that NO_x levels in cold seasons (average: 42.54 µg/m³) are higher than NO_x levels in hot seasons (average: 25.99 µg /m³). Finally, the changes in O₃ levels in cold and hot seasons were investigated. O₃ levels in cold seasons (average: 33.82 µg/m³) were determined to be less than O₃ levels in hot seasons (average: 45.57 µg/m³). According to the Mann-Whitney U test results, this difference between the seasons is statistically significant at 95% significance level in all parameters (p_{value} = 0.000). Although natural gas-fired heating systems have been switched to in recent years, PM₁₀, SO₂, NO, NO₂ and NO_x levels increase in cold months since part of the city center still has coal-fired heating systems. Ozone is the only parameter where the hot season level is higher than the cold season level. At this point, it should not be forgotten that air temperature is essential in ozone formation and that ozone formation may reach higher values in hot seasons between May-September. Statistical descriptive information on pollution changes over the years is presented in Table 2.

Table 2. Statistics of pollutants by years.

	Years	N	Mean	Lower Bound	Upper Bound	Minimum	Maximum
PM ₁₀	2017	5953	42.29	41.16	43.43	0.00	449
	2018	7428	43.71	42.88	44.55	1.01	373.89
	2019	5053	33.77	33.04	34.51	1.22	272
SO ₂	2017	5953	6.84	6.72	6.96	1.32	38.96
	2018	7428	5.04	4.95	5.13	0.96	63.52
	2019	5053	9.53	9.31	9.75	2.51	99.5
NO	2017	5953	9.16	8.71	9.61	0.09	259.51
	2018	7428	5.51	5.28	5.74	0.11	152.86
	2019	5053	9.34	8.64	10.03	0.13	435
NO ₂	2017	5953	29.47	28.91	30.02	3.27	116.33
	2018	7428	25.11	24.75	25.46	2.80	109.07
	2019	5053	27.79	27.21	28.38	3.90	134
NO _x	2017	5953	38.59	37.67	39.50	3.40	362.89
	2018	7428	30.61	30.08	31.14	3.05	201.49
	2019	5053	37.13	35.97	38.29	4.08	493
O ₃	2017	5953	33.03	32.53	33.52	0.40	83.80
	2018	7428	40.46	39.98	40.94	0.52	114.33
	2019	5053	44.60	43.93	45.27	0.97	159

Variance analyzes were applied to analyze the changes of the pollutant parameters of the previous years, how the pollutant changes were between 2017 and 2019, in which years these pollutants reached their highest pollutant levels in this period time or in which years they had the lowest pollutant levels. In this context, the Kruskal Wallis Test, which is applied for nonnormal distribution parameters, was used in this part of the study. According to the results of these tests, the annual averages of all parameters are not equal, the differences between the year averages are statistically significant ($p_{\text{value}} = 0.000$, $X^2 = 381.117$ for PM_{10} ; $p_{\text{value}} = 0.000$, $X^2 = 2894.454$ for SO_2 ; $p_{\text{value}} = 0.000$, $X^2 = 196.262$ for NO ; $p_{\text{value}} = 0.000$, $X^2 = 27.816$ for NO_2 ; $p_{\text{value}} = 0.000$, $X^2 = 45.220$ for NO_x and $p_{\text{value}} = 0.000$, $X^2 = 623.209$ for O_3). Tamhane's T2, which is one of the methods used in cases where variances are not homogeneously distributed, was chosen to determine which years there was a significant difference (Table 3).

Table 3. Post-Hoc/Tamhane's T2 test results, including yearly comparisons of parameters.

Parameter	(I) Years	(J) Years	Average Difference (I-J)	Pvalues
PM₁₀	2017	2018	-1.42	0.138
		2019	8.52	0.000*
	2018	2017	1.42	0.138
		2019	9.94	0.000*
	2019	2017	-8.52	0.000*
		2018	-9.94	0.000*
SO₂	2017	2018	1.80	0.000*
		2019	-2.69	0.000*
	2018	2017	-1.80	0.000*
		2019	-4.49	0.000*
	2019	2017	2.69	0.000*
		2018	4.49	0.000*
NO	2017	2018	3.65	0.000*
		2019	-0.18	0.964
	2018	2017	-3.65	0.000*
		2019	-3.83	0.000*
	2019	2017	0.18	0.964
		2018	3.83	0.000*
NO₂	2017	2018	4.36	0.000*
		2019	1.67	0.000*
	2018	2017	-4.36	0.000*
		2019	-2.69	0.000*
	2019	2017	-1.67	0.000*
		2018	2.69	0.000*
NO_x	2017	2018	7.98	0.000*
		2019	1.46	0.151
	2018	2017	-7.98	0.000*
		2019	-6.52	0.000*
	2019	2017	-1.46	0.151
		2018	6.52	0.000*
O₃	2017	2018	-7.43	0.000*
		2019	-11.57	0.000*
	2018	2017	7.43	0.000*
		2019	-4.14	0.000*
	2019	2017	11.57	0.000*
		2018	4.14	0.000*

* The mean difference is significant at the 0.05 level.

The highest annual average of PM_{10} levels was measured in 2018, while measured the lowest annual average of PM_{10} in 2019. The highest annual SO_2 average was measured in 2019, measured the lowest annual SO_2 average in 2018. Likewise, measured the highest annual NO average in 2019 and the lowest

annual NO average in 2018. The highest annual average of NO₂ levels was measured in 2017, while the lowest annual average of NO₂ was measured in 2018. The highest annual average of NO_x levels was measured in 2017, while the lowest annual average NO_x was measured in 2018. The highest annual average at O₃ levels was measured in 2019, while the lowest annual average of O₃ was measured in 2017. The years when air pollutants peak or the years when they reach their lowest level are different from each other.

C. INTERACTIONS BETWEEN AIR POLLUTANTS AND METEOROLOGICAL PARAMETERS

Regional meteorological conditions play an important role in the primary and secondary formation, transport, and accumulation of air pollutants [31]. Many studies have revealed an important relationship between air pollution and meteorological parameters [12, 32-34]. Therefore, in this section, the strength and direction of the relationship between the pollutant parameters causing air pollution and meteorological parameters were calculated with Spearman's rho correlation coefficient, and the SPSS 22 analysis output is presented in Table 4.

According to the results of Spearman's rho correlation analysis, changes in PM₁₀ levels in the city center of Bayburt can be negatively and weakly correlated with the relative humidity (rh) and then wind speed (ws) parameters. The highest correlation coefficients were determined by relative humidity ($r = -0.161$, $p < 0.01$) and wind speed ($r = -0.153$, $p < 0.01$), and there is a trend toward a decrease in PM₁₀ levels when relative humidity and wind speed increase.

When examined SO₂ levels, determined that the highest correlation coefficient was in the air pressure (p) parameter ($r = 0.428$, $p < 0.01$), and this relationship were linear/positive. After the air pressure parameter, in the temperature (t) ($r = -0.416$, $p < 0.01$) parameter, moderate correlation but negative relationship can be mentioned. Namely, SO₂ levels tend to decrease with an increase in temperature and tend to increase with increasing air pressure.

The relationship of NO levels with air pressure (p) ($r = 0.221$, $p < 0.01$) is weakly correlated with a linear/positive directional. In addition, it was determined that there is a negative directional and weak correlation with the parameters of temperature (t) ($r = -0.188$, $p < 0.01$) and wind speed (ws) ($r = -0.181$, $p < 0.01$). In other words, NO levels tend to decrease with the increase in temperature and wind speed and tend to increase with the increase of air pressure.

The relationship of NO₂ levels with the parameters of temperature (t) ($r = -0.273$, $p < 0.01$) and wind speed (ws) ($r = -0.298$, $p < 0.01$) is negative directional and weak correlation. However, its relationship with relative humidity (rh) ($r = 0.156$, $p < 0.01$) and air pressure (p) ($r = 0.128$, $p < 0.01$) is linear/positive directional and weak correlation. That is, NO₂ levels tend to decrease with increasing temperature and wind speed, and tend to increase with increasing air pressure and relative humidity.

The relationship between NO_x levels and the parameters of temperature (t) ($r = -0.274$, $p < 0.01$) and wind speed (ws) ($r = -0.287$, $p < 0.01$) is negative directional and weak correlation. However, its relationship with relative humidity (rh) ($r = 0.143$, $p < 0.01$) and air pressure (p) ($r = 0.158$, $p < 0.01$) is linear/positive directional and weak correlation. That is, NO_x levels tend to decrease with increasing temperature and wind speed and tend to increase with increasing air pressure and relative humidity.

The relationship of O₃ levels with the parameters of temperature (t) ($r = 0.339$, $p < 0.01$) and wind speed (ws) ($r = 0.533$, $p < 0.01$) is positive and moderate correlation. However, its relationship with relative humidity (rh) ($r = -0.384$, $p < 0.01$) and air pressure (p) ($r = -0.317$, $p < 0.01$) is negative and moderate correlation. In other words, O₃ levels tend to decrease with increasing air pressure and relative humidity and tend to increase with increasing temperature and wind speed.

Table 4. The matrix of Spearman's rho correlations.

		PM ₁₀	SO ₂	NO	NO ₂	NO _x	O ₃	t	ws	rh	p
PM₁₀	Correlation Coefficient	1,000	,296**	,423**	,482**	,487**	-,296**	,098**	-,153**	-,161**	,078**
	Sig. (2-tailed)	.	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000
	N	18434	18434	18434	18434	18434	18434	18434	18434	18434	18434
SO₂	Correlation Coefficient	,296**	1,000	,470**	,459**	,483**	-,112**	-,416**	,038**	-,040**	,428**
	Sig. (2-tailed)	,000	.	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000
	N	18434	18434	18434	18434	18434	18434	18434	18434	18434	18434
NO	Correlation Coefficient	,423**	,470**	1,000	,736**	,817**	-,434**	-,188**	-,181**	,039**	,221**
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	.	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000
	N	18434	18434	18434	18434	18434	18434	18434	18434	18434	18434
NO₂	Correlation Coefficient	,482**	,459**	,736**	1,000	,989**	-,483**	-,273**	-,298**	,156**	,128**
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	.	,000	,000	,000	,000	,000	,000
	N	18434	18434	18434	18434	18434	18434	18434	18434	18434	18434
NO_x	Correlation Coefficient	,487**	,483**	,817**	,989**	1,000	-,492**	-,274**	-,287**	,143**	,158**
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000	.	,000	,000	,000	,000	,000
	N	18434	18434	18434	18434	18434	18434	18434	18434	18434	18434
O₃	Correlation Coefficient	-,296**	-,112**	-,434**	-,483**	-,492**	1,000	,339**	,533**	-,384**	-,317**
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000	,000	.	,000	,000	,000	,000
	N	18434	18434	18434	18434	18434	18434	18434	18434	18434	18434
t	Correlation Coefficient	,098**	-,416**	-,188**	-,273**	-,274**	,339**	1,000	,233**	-,566**	-,328**
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000	,000	,000	.	,000	,000	,000
	N	18434	18434	18434	18434	18434	18434	18434	18434	18434	18434
ws	Correlation Coefficient	-,153**	,038**	-,181**	-,298**	-,287**	,533**	,233**	1,000	-,499**	-,006
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	.	,000	,400
	N	18434	18434	18434	18434	18434	18434	18434	18434	18434	18434
rh	Correlation Coefficient	-,161**	-,040**	,039**	,156**	,143**	-,384**	-,566**	-,499**	1,000	,013
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	.	,072
	N	18434	18434	18434	18434	18434	18434	18434	18434	18434	18434
p	Correlation Coefficient	,078**	,428**	,221**	,128**	,158**	-,317**	-,328**	-,006	,013	1,000
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,400	,072	.
	N	18434	18434	18434	18434	18434	18434	18434	18434	18434	18434

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

D. TREND ANALYSIS OF AIR POLLUTANTS

It is common to examine the changes of environmental data over time with nonparametric analysis. In this study, the innovative trend analysis method proposed by Sen (2012) was used to examine the changes in air pollutants over time (Figure 3). In addition, in this study, on the innovative trend analysis method (ITA), parallel to the 1:1 (45°) line trend bands of $\pm 10\%$ and $\pm 20\%$ are drawn. Thanks to the trend bands, inferences can be made about the percentage of the trend change.

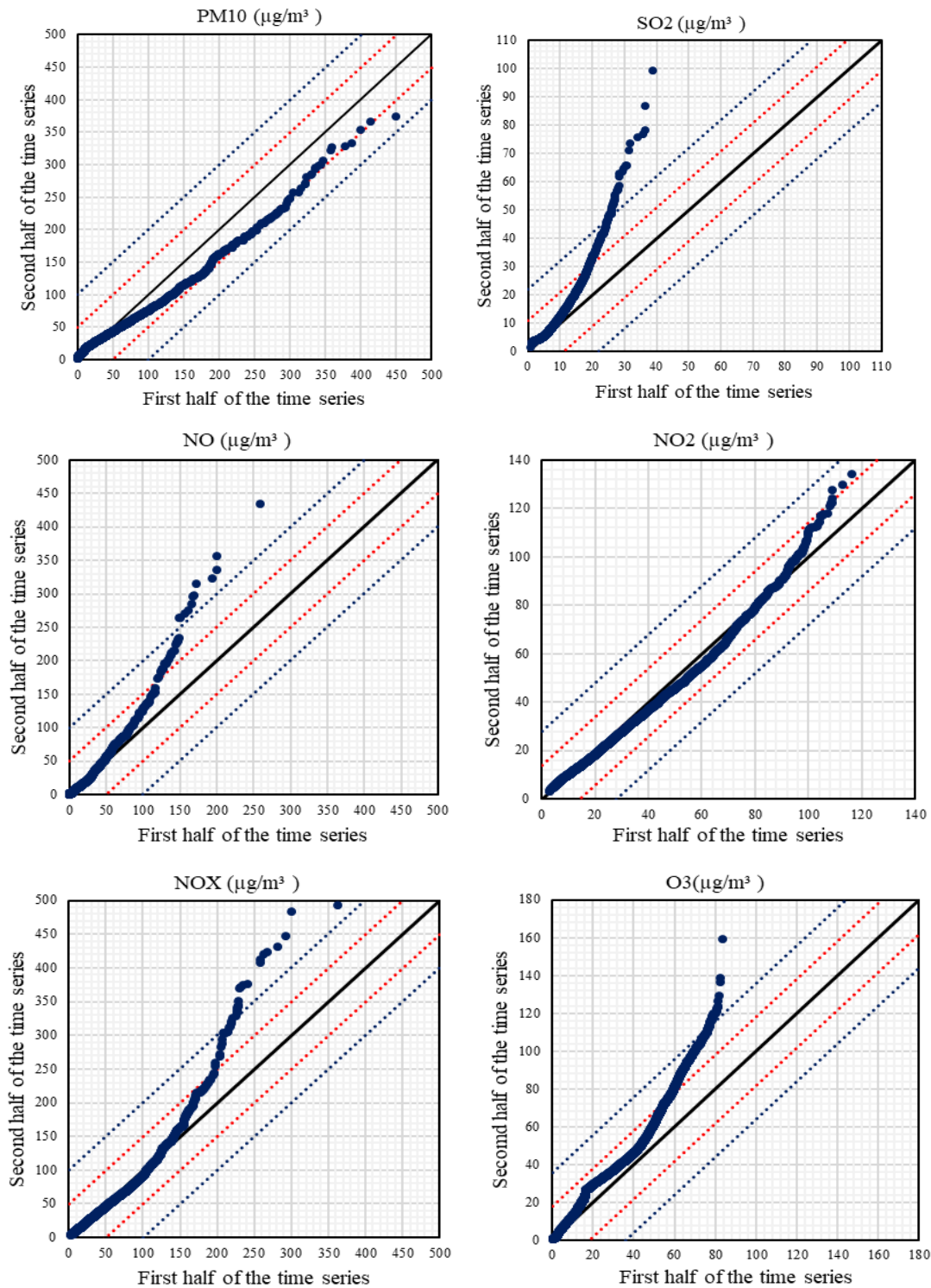


Figure 3. ITA results of Bayburt city center air pollutants.

While there is no trend between 0-50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ in PM_{10} levels, a decreasing trend is observed as this value increases. At levels exceeding the limit value of PM_{10} (50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), a reduction trend of up to-10% was determined. When the changes in SO_2 concentrations are examined, a trend between 0-10 can not be found. However, as this value increases, an increasing trend is seen with a trend that exceeds the + 20% trend band. In addition, the hourly average limit value (Air Quality Assessment and Management Regulation, ANNEX1-B for SO_2 hourly limit value is relevant, 350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). It seems that it has not been exceeded at all for the working period. Similarly, it is valid for NO, and there is no trend between 0-60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, but as this value increases, the trend exceeding the + 20% band also increases. When the NO_2 graph is considered, there is no trend between 0-100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, while there is a trend up to + 10% in values after this interval. However, the hourly average limit value for the working period has never been exceeded (Air Quality Assessment and Management Regulation, ANNEX1-B, the hourly limit value for NO_2 are 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). From the NO_x graph, it can be seen that there is no trend between 0-150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; as this value increases, the trend exceeding the + 20% band also increases. NO and NO_2 , together form NO_x . NO_x is generally (in 90% cases) exhausted as NO. Therefore, an increase in one of the NO_x -forming pollutants will increase NO_x . Finally, the ITA method was applied in the study area for the changes in O_3 levels, and no trends between 0-20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ were found. As with other pollutants, there is an increasing trend as this value increases. O_3 pollution occurs mainly in summer, sunny weather, and high temperature ($\text{NO}_2 + \text{sunlight} = \text{NO} + \text{O} \rightarrow \text{O} + \text{O}_2 = \text{O}_3$). Therefore, the growth of the pollutants that form it, similar to NO_x , causes an increase in O_3 .

IV. CONCLUSION

As a result of the rapid increase in industry and population in the study area, increasing use of fossil fuels for energy and heating purposes and increasing vehicle exhaust gases cause air pollution. In other words, the main reason for air pollution is (artificial) anthropogenic reasons. Due to these reasons, large amounts of pollutants are mixed into the air. However, most of the time, different factors also affect air pollution. In this study, the effect of meteorological parameters, one of these factors, was examined.

The presence of the study area in the bowl, surrounded by high mountains, causes air circulation in the plain to be complicated. Since there is a transitional climate between the Eastern Black Sea climate and the Eastern Anatolia climate, with its terrestrial characteristics, the need for heating is high, causing an increase in air pollution.

In this study, investigated seasonal and annual changes of air pollutants belonging to the research area by using hourly data for the 2017-2019 period. Then, correlation analyzes were conducted to reveal the relationship between climatic/meteorological parameters and air pollutants of the same period. Finally, investigated the change of air pollutants over time with the ITA trend analysis method. Thanks to this study, detailed information about the air pollution situation at Bayburt city center has been revealed. These results obtained from the study can be summarized as follows;

- Mann-Whitney U test was used to analyze the changes in air pollutant levels in cold and hot seasons. According to the test results, found the difference between the averages of all pollutants in cold and hot seasons statistically significant at the 95% significance level ($p_{\text{value}} = 0.000$). Only O_3 levels averages in hot seasons are higher than averages in cold seasons. It is thought that the reason for this situation is that the air temperature is essential in the formation of O_3 and that the ozone formation reaches higher values in the hot seasons between May and September. The average cold season is higher than the average hot season in all other air pollutant parameters. As a reason for this situation, the increase in household fuel consumption during the cold season and the condensation of the cooling air during this season can be considered an increase in pressure by collapsing towards the earth under the influence of weight and gravity. High-pressure conditions and inversion, especially in the cold season, are meteorological parameters that prevent the removal of pollutants added to the air.

- Kruskal Wallis Test was applied to test the significance of the difference between the previous years' averages. As a result of the test, the difference between the annual averages of all pollutants was found to be statistically significant. Post-Hoc/Tamhane's T2 test examined the years in which there was a significant difference. The test results revealed that the years of peak pollutants or the years of their lowest level differ from each other. Although the study period covers a short period of time on an annual basis (2017-2019), hourly data were used in the analyzes (18434 data). Therefore, it is thought that the main reason for the variation between years is the instantaneous change in pollutants (anthropogenic origin) arising from traffic, transportation, industry, and heating in this time period.
- The strength and direction of the relationship between pollutant parameters causing air pollution and meteorological parameters were calculated with Spearman's rho correlation coefficient. As a result of this analysis, it was seen that there is a statistically significant (pvalue = 0.000) relationship between city center air pollution and meteorological parameters. It has been determined that there is a negative relationship between other pollutants except for O₃ and SO₂ and wind speed. It is expected that the concentration will decrease when the wind speed increases because, with the increasing wind speed, the transport and dilution of the pollutants become more. But the reason for the positive relationship between wind speed and O₃ may be that the wind brings O₃ from other regions. One of the biggest factors causing air pollution is household fuel and the properties of these fuels. Therefore, air temperature is a factor that closely affects the burning times and degrees of household fuel. If there is no inversion, an increase in temperature will cause less emission of air pollution parameters caused by household fuel use. Air temperature affects air movement, and thus the movement of air pollution. Because the Earth's surface absorbs energy from the Sun, air near the ground is warmer than air that is further up in the troposphere. The warmer, lighter air at the surface rises, and the cooler, heavier air in the upper troposphere sinks. This is known as convection and it moves pollutants from the ground to higher altitudes. The issues mentioned above may be the reasons for the negative relationship between temperature and air pollution parameters. O₃ is a secondary pollutant, which means it is not directly emitted by traffic, or industry. But it is formed on warm summer days by the influence of solar radiation on a cocktail of airborne pollutants. Therefore, this situation may explain the positive relationship between O₃ and temperature. High air pressure conditions and heat inversion are meteorological events that prevent the pollutants entering the air from going away. For this reason air pressure is positively correlated with all parameters (except O₃). Low-pressure systems bring wet and windy conditions. A passing storm front can wash pollutants out of the atmosphere or transport them to a new area, producing clear skies. It is important to note, however, that the pollutants are not gone; rather they have been moved to a new location.
- ITA analyzed trend changes in pollutant parameters. Although there is a tendency to decrease PM₁₀ levels, an increasing trend has been observed in other pollutants.
- It has been determined that pollutants tend to increase in Bayburt due to traffic, industry, and household fuel (caused by the need for heating). It has been determined that the average of pollutants does not exceed their limit values. This is due to the location of the sampling point or meteorologically to the high dispersion.

It is seen from the study that there is a close relationship between air pollution and the climatic and topographic characteristics of the region. Considering the time interval of the data used, although it is not observed that the pollutant averages exceed the limit values, the increasing trend of pollutants reveals that should make more efforts to maintain positive air quality. In this context, it is clear that providing the necessary incentives for industries and combustion processes used for heating to turn to alternative energy sources will help reduce pollution.

ACKNOWLEDGEMENTS: We would like to thank The Ministry of Environment and Urbanisation for providing the necessary data.

V. REFERENCES

- [1] H. Çukur ve T. Aygören, “Denizli’de hava kirliliği ve iklimik özellikler arasındaki ilişki,” *The Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi*, s. 82, ss. 594-611, 2018.
- [2] E. Vural, “Güneydoğu Anadolu Bölgesi illerinin CBS kullanarak hava kalitesinin mekânsal değişiminin incelenmesi (2007-2019),” *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, c. 7, s. 1, ss. 124-135, 2021.
- [3] L. H. Tecer, “Balıkesir’de hava kirliliğinin çocuk ve yetişkinlerde solunum hastalıklarına etkilerinin belirlenmesi üzerine bir alan çalışması,” *Hava Kirliliği Araştırmaları Dergisi*, c. 2, s. 1, ss. 11-20, 2013.
- [4] S. A. Zencirci ve B. Işıklı, “Hava kirliliği,” *Türk Dünyası Uygulama ve Araştırma Merkezi Halk Sağlığı Dergisi*, c. 2, s. 2, ss. 24-36, 2017.
- [5] C. Güler ve L. Akın, *Halk Sağlığı Temel Bilgiler*, Ankara, Türkiye: Hacettepe Üniversitesi Yayınları, 2015, ss. 670-748.
- [6] T. B. Martonen and J. D. Schroeter, “Risk assessment dosimetry model for inhaled particulate matter: I. Human subjects,” *Toxicology Letters*, vol. 138, no. 1-2, pp. 119–132, 2003.
- [7] H. Moshhammer and M. Neuberger, “The active surface of suspended particles as a predictor of lung function and pulmonary symptoms in Austrian school children,” *Atmospheric Environment*, vol. 37, no. 13, pp. 1737–1744, 2003.
- [8] M. L. Helander, J. Savolainen and J. Ahlholm, “Effects of air pollution and other environmental factors on birch pollen allergens,” *Allergy: European Journal of Allergy & Clinical Immunology*, vol. 52, no. 12, pp. 1207–1214, 1997.
- [9] B. Brunekreef and S. T. Holgate, “Air pollution and health,” *The Lancet*, vol. 360, no. 9341, pp. 1233-1242, 2002.
- [10] G. W. K. Wong, F. W. S. Ko, T. S. Lau, S. T. Li, D. Hui, S. W. Pang, R. Leung, T. F. Fok and C. K. W. Lai, “Temporal relationship between air pollution and hospital admissions for asthmatic children in Hong Kong,” *Clinical and Experimental Allergy*, vol. 31, no. 4, pp. 565-569, 2001.
- [11] M. Gomzi, “Indoor air and respiratory health in preadolescent children,” *Atmospheric Environment*, vol. 33, no. 24-25, pp. 4081-4086, 1999.
- [12] A. Yılmaz, “İklim parametrelerinin hava kirliliği parametreleri üzerine etkisi: Bolu ili örneği,” *Journal of Current Researches on Social Sciences*, c. 7, s. 2, ss. 413-436, 2017.
- [13] M. Karpuzcu, *Çevre Kirlenmesi ve Kontrolü*, İstanbul, Türkiye: Boğaziçi Üniversitesi Yayınları, 1991.
- [14] S. S. Verma and B. Desai, “Effect of meteorological conditions on air pollution of Surat city,” *Journal of International Environmental Application and Science*, vol. 3, no. 5, pp. 358-367, 2008.
- [15] Y. İçağa and E. Sabah, “Statistical analysis of air pollutants and meteorological parameters in Afyon, Turkey,” *Environmental Modeling & Assessment*, vol. 14, no. 2, pp. 259–266, 2009.
- [16] I. Z. Ilić, D. T. Živković, N. M. Vušović, and D. M. Bogdanović, “Investigation of the correlation dependence between SO₂ emission concentration and meteorological parameters: Case

study—Bor (Serbia),” *Journal of Environmental Science and Health Part A*, vol. 45, no. 7, pp. 901–907, 2010.

[17] S. Menteşe and Ş. Tağıl, “The effect of climate elements on air pollution in Bilecik,” *Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, vol. 15, no. 28, pp. 3-16, 2012.

[18] F. Kunt ve Ş. Dursun, “Konya merkezinde hava kirliliğine bazı meteorolojik faktörlerin etkisi,” *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, c. 1, s. 1, ss. 54-61, 2018.

[19] A. Mutlu, “Hava kalitesi ve meteoroloji: korelasyon, trend ve epizot analizleri,” *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 9, s. 4, ss. 724-741, 2019.

[20] E. Şişman, “Türkiye’de seçilen hava kalitesi izleme istasyonları için eğilim (trend) değerlendirmeleri,” *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, c. 5, s. 1, ss. 134-152, 2019.

[21] A. Cicibıyık, N. Şarлак ve D. Üstün, “Karaman ili hava kirliliği durumu,” *Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Dergisi*, c. 1, s. 1, ss. 59-69, 2019.

[22] H. Yolsal, “Estimation of the air quality trends in Istanbul,” *Marmara Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, vol. 38, no. 1, pp. 375 – 399, 2016.

[23] Bayburt Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü. (2021, Apr 8). *Bayburt İli 2019 Yılı Çevre Durum Raporu* [Online]. Available: https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/bayburt_2019_-_l_cevre_durum_raporu-20200901104434.pdf.

[24] G. Eryılmaz Türkkan and T. Hırca, “The investigation of flood risk perception as a quantitative analysis from socio-demographic perspective,” *Natural Hazards*, no. 106, pp. 715–733, 2021.

[25] T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. (2021, Mar 26). *Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı* [Online]. Available: <http://index.havaizleme.gov.tr/Report/Station>

[26] E. Cevahir, *SPSS ile Nicel Veri Analizi Rehberi*, İstanbul, Türkiye: Kibele Yayınları, 2020.

[27] K. Koudahe, K. Djaman, A. Bodian, S. Irmak, M. Sall, L. Diop, A. B. Balde and D. Rudnick, “Trend analysis in rainfall, reference evapotranspiration and aridity index in southern senegal: adaptation to the vulnerability of rainfed rice cultivation to climate change,” *Atmospheric and Climate Sciences*, vol. 7, no. 4, pp. 476– 495, 2017.

[28] C. Guerreiro, V. Foltescu, and F. De Leeuw, “Air quality status and trends in Europe,” *Atmospheric Environment*, vol. 98, pp. 376–384, 2014.

[29] Z. Şen, “Innovative trend analysis methodology,” *Journal of Hydrologic Engineering*, vol. 17, no. 9, pp. 1042-1046, 2012.

[30] Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği, T.C. Resmi Gazete, Sayı: 26898, 06 Haziran 2008.

[31] J. A. Radaideh, “Effect of meteorological variables on air pollutants variation in arid climates,” *Journal of Environmental & Analytical Toxicology*, vol. 7, no. 4, pp. 1-12, 2017.

[32] C. B. Karakuş ve S. Yıldız, “Hava kalite indeksi ile meteorolojik parametreler arasındaki ilişkinin çoklu regresyon yöntemi ile belirlenmesi,” *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 8, s. 2, ss. 698-711, 2019.

[33] H. Zhang, Y. Wang, J. Hu, Q. Ying and X.M. Hu, "Relationships between meteorological parameters and criteria air pollutants in three megacities in China," *Environmental Research*, no. 140, pp. 242-254, 2015.



[34] D. J. Jacob and D. A. Winner, "Effect of climate change on air quality," *Atmospheric Environment*, vol. 43, no. 1, pp. 51-63, 2009.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Perde Duvarlı ve Çerçevesiz Betonarme Binalarda Deprem Tasarım Sınıflarının Bina Maliyetine Etkisi

 Zehra Şule GARİP ^{a,*},  Erhan EREN ^a

^a İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Karabük Üniversitesi, Karabük, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: zsulegarip@karabuk.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.937668

Öz

Betonarme binalarda yeterli dayanım için gerekli kaba inşaat maliyetleri farklı deprem tasarım sınıfları dikkate alınarak araştırılmıştır. Mevcut yapı stokunu temsil etmesi amacı ile belirlenen bina modelleri, dikkate alınan parametreler doğrultusunda dört farklı taban devrilme momenti oranı baz alınarak analiz edilmiştir. Bina modellerinin taşıyıcı sistemleri çerçeve sistem ve perde duvar + çerçeve sistem olmak üzere iki grup halinde dikkate alınmış, perde duvar etkilerinin bina maliyetine etkileri incelenmiştir. Perde duvar + çerçeve taşıyıcı sistemlerin tercih edilmesi durumunda kaba bina maliyetinde önemli bir artış olmadığı görülmüştür. DTS2-DTS3-DTS4 de tasarlanan binalarda hesaplanan kaba bina maliyetleri benzer sonuçlar vermiştir. Ancak DTS1 de maliyet artışı ortalama %10 mertebesinde gerçekleşmiştir. Perde duvar + çerçeve taşıyıcı sistemlerin tercih edilmesi ile sağlanacak ciddi dayanım artışı avantajının yanında ortaya çıkan önemsiz maliyet artışlarının göz ardı edilebileceği kanaatine ulaşılmıştır. Bu nedenle tüm deprem tasarım sınıflarında perde duvar + çerçeve sistemlerin tercih edilmesi önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Deprem Tasarım Sınıfı, Betonarme, Perde Duvar, Yapı Maliyeti.

The Effect of Earthquake Design Classes on Building Cost in Shear Walled and Framed Reinforced Concrete Buildings

ABSTRACT

The rough building costs required for adequate strength in reinforced concrete buildings have been investigated by considering different earthquake design classes. Building models, which were determined to represent the existing building stock, were analyzed based on four different base overturning moment ratios in line with the parameters considered. The structural systems of the building models are considered in two groups as framed system and shear walled + framed system, and the effects of shear wall effects on building costs are examined. It is observed that there is no significant increase in the cost of the rough building costs in the case of shear walled + framed structural systems. The rough building costs calculated in the buildings designed in DTS2-DTS3-DTS4 give similar results. However, the cost increase in DTS1 is approximately 10% on average. It is reached the conclusion that, in addition to the serious strength increase advantage to be provided by the choice of shear walled + framed structural systems, the insignificant cost increases that occur can be ignored. For this reason, it is recommended to prefer shear walled + framed structural systems in all earthquake design classes.

Keywords: Earthquake Design Class, Reinforced Concrete, Shear Wall, Building Cost.

I. GİRİŞ

Deprem kuşağında yer alan Ülkemizde yapısal hasarların ciddi boyutlara ulaştığı birçok deprem meydana gelmiştir. Özellikle güncel depremler ile yapılarımızın hedeflenen dayanımı sağlamadığı, dolayısıyla can ve mal kayıplarına neden olduğu görülmüştür. Depreme dayanıklı betonarme binaların inşası ile can ve mal kayıplarının önüne geçilebileceği açıktır. Taşıyıcı sistemlerin tasarımında güvenli tarafta yer almak deprem güvenliği açısından yerinde bir tercih olacaktır.

23 Ekim ve 9 Kasım Van depremlerinde betonarme binaların deprem etkisinde taşıyıcı elemanlarının yanal yüklemelere yeterli direnci gösteremediği ve kolon kiriş birleşim bölgelerinde meydana gelen hasarlar nedeniyle katların üst üste çöktüğü belirlenmiştir [1]. Elazığ-Sivrice depreminde şehir merkezinde üç adet binada meydana gelen toptan göçmenin başlıca nedenlerinden biri olarak betonarme perde duvar bulunmayışı gösterilmiştir. Ayrıca orta ve ağır hasarlı binalarda yapılan incelemelerde perde duvarların neredeyse hiç bulunmadığı belirtilmiştir [2].

1992 Erzincan Depremi sonrasında yapılan incelemeler neticesinde 2-10 katlı binalarda her bir yönde bina plan alanının en az %1.5 kadar alana sahip perde duvar ile tasarlanması önerilmiştir [3]. Ayrıca bu kanaati araştıran bazı çalışmalar gerçekleştirilmiş ve perde duvar oranı için ilgili yönetmelik bağıntıları dikkate alınarak kesin bir sonuca varmanın mümkün olmadığı belirtilmiştir [4]. Perde duvarlı yapıların çerçeve sistemlere kıyasla az katlı yapılarda, yapı maliyetinin yüksek olduğu ve daha az sünekliğe sahip olduğu belirtilmektedir. Ayrıca az katlı perde duvarlı + çerçeve sistemlerde deprem yüklerinin büyük bölümünün perde duvarlar tarafından karşılandığı, çok katlı yapılarda perde duvarların yatay yüklerden aldığı payın giderek azaldığı vurgulanmıştır [5]. Birçok araştırmacı geçmiş yönetmeliklerde belirtilen deprem bölgelerinin ve zemin sınıflarının yapı maliyeti üzerindeki etkilerini araştırmıştır [6-13]. Bu çalışmada ise TBDY2019 [14] ile tanımlanan deprem tasarım sınıfları dikkate alınarak perde duvarların kaba yapı maliyetine etkileri incelenmiştir.

Bu çalışma kapsamında çerçeve sistem ve perde duvar + çerçeve sistem olmak üzere iki tip taşıyıcı sisteme sahip az ve orta katlı yapıları temsilen 4 ve 8 katlı konut tipi betonarme binalar incelenmiştir. Betonarme bina modellerin taşıyıcı sistemleri yüksek ve karma süneklik düzeylerinin kritik değerleri için belirlenen dört farklı taban devrilme momenti dikkate alınarak tasarlanmıştır. Ülkemizde genellikle kolon ve kirişlerden oluşturulan çerçeve sistemlerin tercih edildiği ve ekonomik olduğu düşünülmektedir. Deprem riski yüksek olan bölgelerde taşıyıcı sistemlerin perde duvarlar kullanılarak tasarlanması yatay rijitliği artırırken görece kat ötelemelerini sınırlandırmaktadır. Yapılan bu araştırma çalışması ile betonarme binalarda taşıyıcı sistemlerin perde duvar + çerçeve sistem olarak oluşturulmasının ciddi bir maliyet ortaya koymadığı belirlenmiştir. Benzer şekilde çerçeve sistem olarak tasarlanan betonarme bina modellerinde de deprem tasarım sınıfları arasında ciddi bir maliyet farkı belirlenmemiştir.

II. YÖNTEM

Çalışmada konut tipi betonarme binalarda başlıca iki taşıyıcı sistem tipi dikkate alınmıştır. Bunlar; deprem etkilerinin tamamının moment aktaran betonarme çerçevelerle karşılandığı Çerçeve Sistem, deprem etkilerinin moment aktaran betonarme çerçeveler ile boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı Perde Duvar + Çerçeve Sistemdir. 50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi DD2 dikkate alınarak mod süperpozisyonu yöntemiyle ve bir paket program aracılığıyla analizler gerçekleştirilmiştir [15].

A. BETONARME BİNA BİLGİLERİ

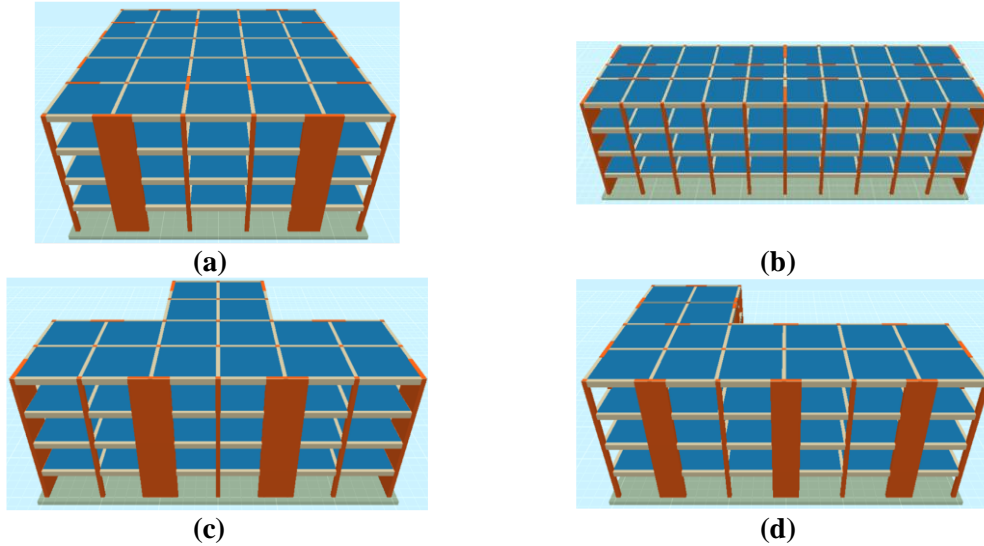
Analizlerde dikkate alınan genel bilgiler Tablo 1’de verilmiştir. Tasarlanan tüm bina modellerinde düşey taşıyıcı eleman olarak TBDY2019 da belirtilen yeterli dayanımı sağlayan minimum kesit boyutları kullanılmıştır.

Tablo 1. Analizlerde kullanılan genel bilgiler

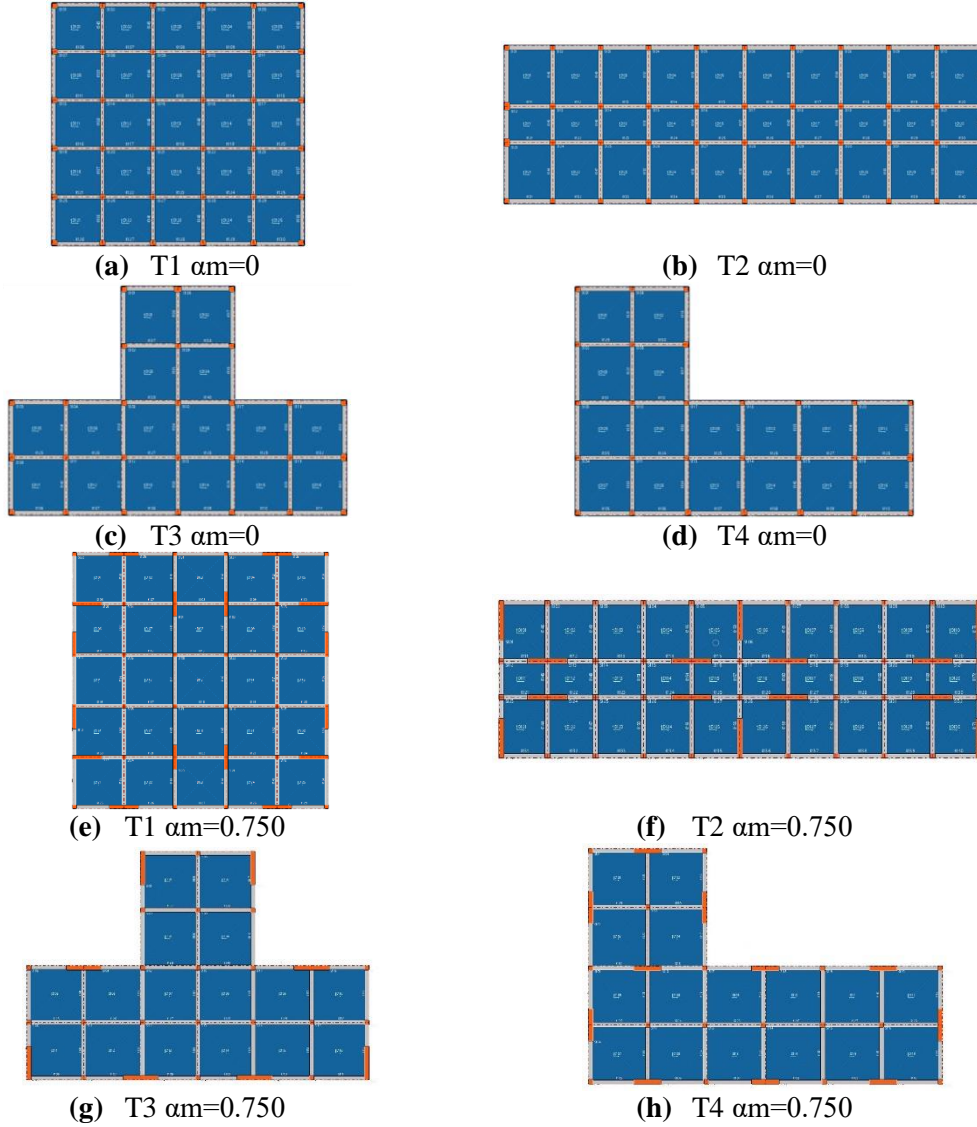
Bina Kullanım Sınıfı (BKS)	3
Bina Önem Katsayısı (I)	1
Zemin Sınıfı	ZC (Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrışmış, çok çatlaklı zayıf kayalar)
Zemin Taşıma Gücü Tasarım Gerilmesi (kPa)	210
Zemin Yatak Katsayısı (kN/m³)	15000
Beton Sınıfı	C30/37
Donatı Sınıfı	S420
Kiriş Boyutları	300×500 mm
Döşeme Kalınlığı	150 mm
Radye Temel Kalınlığı	4 katlı 400 mm 8 katlı 800 mm

Çalışmada incelenen betonarme bina modellerinin üç boyutlu görünüşleri ve kalıp planları Şekil 1 ve Şekil 2 de verilmiştir. Simetrik kat planına sahip ve rijit diyafram etkisi gösterebilecek 625 m² oturma alanlı T1 tipi, genel olarak okul binalarını temsil etmesi amacıyla 520 m² oturma alanlı T2 tipi, tek simetri eksenine sahip farklı salınımlar yapması muhtemel çıkmalara sahip yapıları temsil etmesi için 400 m² oturma alanlı T3 tipi ve simetri eksenini bulunmayan, yapısal çıkmaları nedeniyle farklı salınım yapabilecek, kütle merkezi ile rijitlik merkezi çakışmayan binaları temsil etmesi amacıyla 400 m² oturma alanlı T4 tipi olmak üzere dört farklı kat planı dikkate alınarak tasarımlar gerçekleştirilmiştir. Farklı kat planları ile günümüzde inşa edilen veya mevcut yapıların temsil edilmesi amaçlanmıştır [16].

Betonarme binaların taşıyıcı sistemlerinin planda simetrik düzenlenerek deprem kaynaklı olumsuz etkilerin önüne geçilmektedir. Ayrıca perde duvarların kat planında mümkün olduğunca dış akslara yerleştirilmesi ile yapının burulma rijitliği artırılmaktadır [17]. Çalışma kapsamında dikdörtgen geometrili perde duvarlar, burulma düzensizliğinin önüne geçebilmek adına simetrik olacak şekilde yeterli sayıda ve boyutta planda yerleştirilmiştir.



Şekil 1. $a_m=0.750$ için 4 katlı betonarme bina modelleri üç boyutlu görünümü (a) T1 tipi, (b) T2 tipi, (c) T3 tipi, (d) T4 tipi. [16]



Şekil 2. Betonarme bina modelleri kat kalıp planları [16]

Ülkemizde sanayileşmenin yoğun olduğu bölgelerde yüksek binalar tercih edilirken, diğer bölgelerde genellikle az ve orta katlı yapılar inşa edilmektedir. Sismik aktivitelerin yoğun olduğu bölgelerde idareler tarafından ortaya konulan kısıtlamalar nedeniyle az katlı yapıların zorunluluğu bilinmektedir. Ancak az katlı yapılarda deprem güvenliğinden bahsedebilmek için dikkate alınması gereken etkenlerden biri olarak rezonans etkileri karşımıza çıkmaktadır. Zemin periyodu ve bina periyoduna bağlı olarak modellerde rezonans etkileri araştırılmıştır. Çalışma kapsamında bina yükseklik sınıfı 5 den büyük olacak şekilde binalar 4 ve 8 katlı olarak modellenmiş ve periyotları hakkında değerlendirmeler yapılmıştır.

Süneklik düzeyleri arasında kıyaslamaların yapılabilmesi için TBDY2019 de belirtilen sınır değerler dikkate alınmıştır. Bu nedenle yüksek süneklik düzeyi için 3 farklı α_m değeri ($\alpha_m=0$, $\alpha_m=0.405$, $\alpha_m=0.745$) ve karma süneklik düzeyi için tek α_m değeri ($\alpha_m=0.750$) tercih edilmiştir.

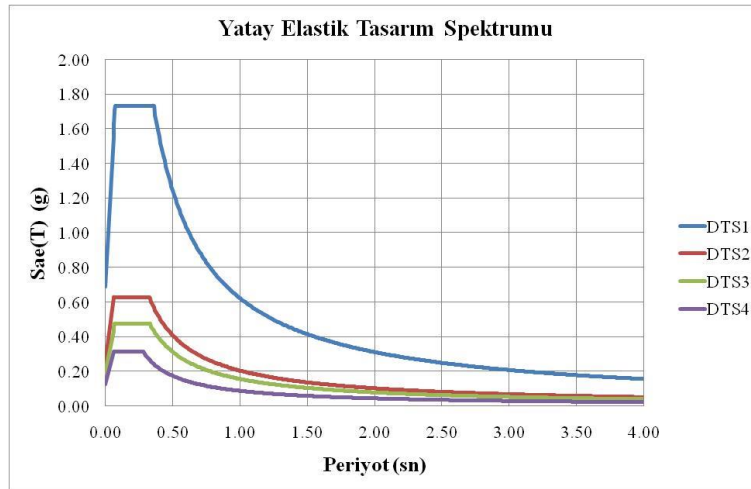
B. DEPREM TASARIM SINIFLARINA AİT SPEKTRAL İVME DEĞERLERİ

Betonarme bina modellerinin analizlerinde kullanılan deprem tasarım sınıfları için gerekli olan spektral ivme katsayıları, sismik aktiviteleri farklı dört ilin koordinatları kullanılarak Türkiye Deprem Tehlike haritasından elde edilmiştir ve Tablo 2 de sunulmuştur [18]. Bu iller için ulaşılan sonuçların benzer diğer iller için de genelleştirilebileceği varsayımında bulunulmuştur.

Tablo 2. Analizlerde kullanılmak üzere seçilen illerin spektral değerleri

DTS	Seçilen İl	Enlem Boylam	S_S	F_S	S_{DS}	P_{GA}	T_A
			S_1	F_1	S_{D1}	P_{GV}	T_B
DTS1	Erzincan	39.74770	1.446	1.200	1.731	0.602	0.072
		39.49786	0.415	1.500	0.622	39.588	0.359
DTS2	Kars	40.45943	0.482	1.300	0.628	0.209	0.065
		42.86464	0.136	1.500	0.204	12.102	0.326
DTS3	Kayseri	38.63420	0.366	1.300	0.477	0.159	0.066
		35.74515	0.104	1.500	0.156	9.512	0.328
DTS4	Konya	37.83619	0.240	1.300	0.312	0.105	0.056
		33.05115	0.058	1.500	0.087	5.365	0.279

Deprem Tasarım Sınıflarına ait Yatay Elastik Tasarım Spektrumları Şekil 3’de verilmiştir. DTS2-DTS3-DTS4 e ait tasarım spektrum eğrileri yakın değerler alırken DTS1 için elde edilen spektral ivme değerinin diğerlerine kıyasla büyük değerler aldığı görülmektedir. Bu nedenle DTS1 de inşa edilecek yapıların maruz kalacağı depremin diğer deprem tasarım sınıflarındaki yapılara göre çok daha şiddetli olacağı açıktır.



Şekil 3. Deprem Tasarım Sınıflarına ait Yatay Elastik Tasarım Spektrumu

III. DEĞERLENDİRMELER

Çalışma kapsamında farklı parametrelerin dikkate alındığı toplamda 128 adet betonarme bina modelinin deprem tasarım sınıflarına göre dinamik analizleri gerçekleştirilmiştir.

Betonarme bina modellerinin taşıyıcı sistem özelliklerini yansıtmaları amacıyla Tablo 3 de kolon ve perde alan oranları verilmiştir. Çalışma kapsamında analizleri gerçekleştirilen bina modelleri yeterli dayanımı sağlayacak şekilde minimum kesit boyutlarına göre tasarlanmıştır. Tablo 3 incelendiğinde genel olarak DTS2-DTS3-DTS4 de kolon ve perde alan oranlarının değişmediği ancak DTS1 de bu oranların artış gösterdiği belirlenmiştir. Dolayısıyla bina modellerinin DTS1 de maruz kaldıkları spektral ivme değerlerine yeterli dayanımı sağlamak amacıyla taşıyıcı sistem elemanlarında kesit boyutlarının artırılması gerektiği görülmektedir. Bu artış bina modellerinin periyot değerlerinde değişime neden olmuştur.

Betonarme bina modellerine ait periyot ve yatay elastik tasarım spektral ivme değerleri Tablo 4’te verilmiştir. Periyotlar genel olarak spektrum eğrilerinde yer alan T_B köşe periyot değerlerinden büyük

çıkıştır. Dolayısıyla bina periyotları azaldıkça elastik spektral ivme değerlerinde artış meydana gelmektedir. Taşıyıcı sistemin perde + çerçevesel tasarlanması durumunda perdelerin yapı rijitliğini arttırması nedeniyle periyot değerleri azalmaktadır. Bu durum yapının maruz kalacağı elastik spektral ivme değerinin artmasına neden olmaktadır. Ayrıca DTS2-DTS3-DTS4 dikkate alınarak tasarlanan betonarme bina modellerinden elde edilen periyot değerleri DTS1 de azalma eğilimi göstermektedir. Bu nedenle DTS1 için belirlenen elastik spektral ivme değerleri diğer deprem tasarım sınıflarındaki değerlerden yüksek bir değer almaktadır. Bu durum yapının rezonans bölgesine girmesine neden olabilmektedir. Ancak perde duvarların sisteme kazandırdığı dayanım, taban kesme kuvvetindeki artışı rahatlıkla karşılayabilmektedir.

Tablo 3. Betonarme bina modellerine ait kolon alan oranları ve perde alan oranları

Model	DTS	$\alpha_m = 0$		$\alpha_m = 0.405$		$\alpha_m = 0.745$		$\alpha_m = 0.750$	
		A_c/A_k (%)	A_p/A_k (%)	A_c/A_k (%)	A_p/A_k (%)	A_c/A_k (%)	A_p/A_k (%)	A_c/A_k (%)	A_p/A_k (%)
T1-4K	DTS1	1.058	0	0.802	0.710	0.507	2.016	0.392	1.978
	DTS2	0.706	0	0.693	0.691	0.392	1.978	0.392	1.978
	DTS3	0.706	0	0.693	0.691	0.392	1.978	0.392	1.978
	DTS4	0.706	0	0.693	0.691	0.392	1.978	0.392	1.978
T1-8K	DTS1	1.792	0	1.059	0.989	0.758	3.643	0.566	3.629
	DTS2	1.030	0	0.717	0.931	0.566	3.573	0.566	3.629
	DTS3	1.030	0	0.717	0.931	0.566	3.555	0.566	3.629
	DTS4	1.030	0	0.717	0.931	0.566	3.555	0.566	3.629
T2-4K	DTS1	1.257	0	1.079	0.935	0.707	2.968	0.707	3.063
	DTS2	1.127	0	0.940	0.923	0.707	2.968	0.707	3.063
	DTS3	1.037	0	0.940	0.923	0.707	2.968	0.707	3.063
	DTS4	1.037	0	0.940	0.923	0.707	2.968	0.707	3.063
T2-8K	DTS1	1.446	0	1.233	1.327	0.749	6.212	0.518	6.108
	DTS2	1.354	0	0.940	1.269	0.518	5.933	0.518	6.108
	DTS3	1.166	0	0.940	1.269	0.518	5.692	0.518	5.869
	DTS4	1.037	0	0.940	1.269	0.518	5.692	0.518	5.869
T3-4K	DTS1	1.140	0	1.077	0.735	0.736	2.065	0.582	2.083
	DTS2	0.827	0	0.704	0.653	0.582	1.960	0.582	2.083
	DTS3	0.827	0	0.704	0.653	0.582	1.960	0.582	2.083
	DTS4	0.827	0	0.704	0.653	0.582	1.960	0.582	2.083
T3-8K	DTS1	2.084	0	1.544	1.125	1.193	3.640	0.589	5.158
	DTS2	1.154	0	0.910	1.020	0.842	3.440	0.589	5.158
	DTS3	1.154	0	0.910	1.020	0.842	3.440	0.650	4.944
	DTS4	1.154	0	0.910	1.020	0.842	3.440	0.650	4.944
T4-4K	DTS1	0.936	0	0.735	0.575	0.530	2.244	0.490	2.354
	DTS2	0.827	0	0.674	0.569	0.490	2.244	0.490	2.354
	DTS3	0.827	0	0.674	0.569	0.490	2.244	0.490	2.354
	DTS4	0.827	0	0.674	0.569	0.490	2.244	0.490	2.354
T4-8K	DTS1	1.244	0	0.847	0.930	0.611	3.277	0.546	3.373
	DTS2	0.911	0	0.739	0.923	0.546	3.229	0.546	3.373
	DTS3	0.911	0	0.739	0.923	0.546	3.229	0.546	3.373
	DTS4	0.911	0	0.739	0.923	0.546	3.229	0.546	3.373

Not: A_c/A_k kolon alan oranını, A_p/A_k perde alan oranını ifade etmektedir.

Tablo 4. Betonarme bina modellerine ait periyot ve yatay elastik tasarım spektral ivme değerleri

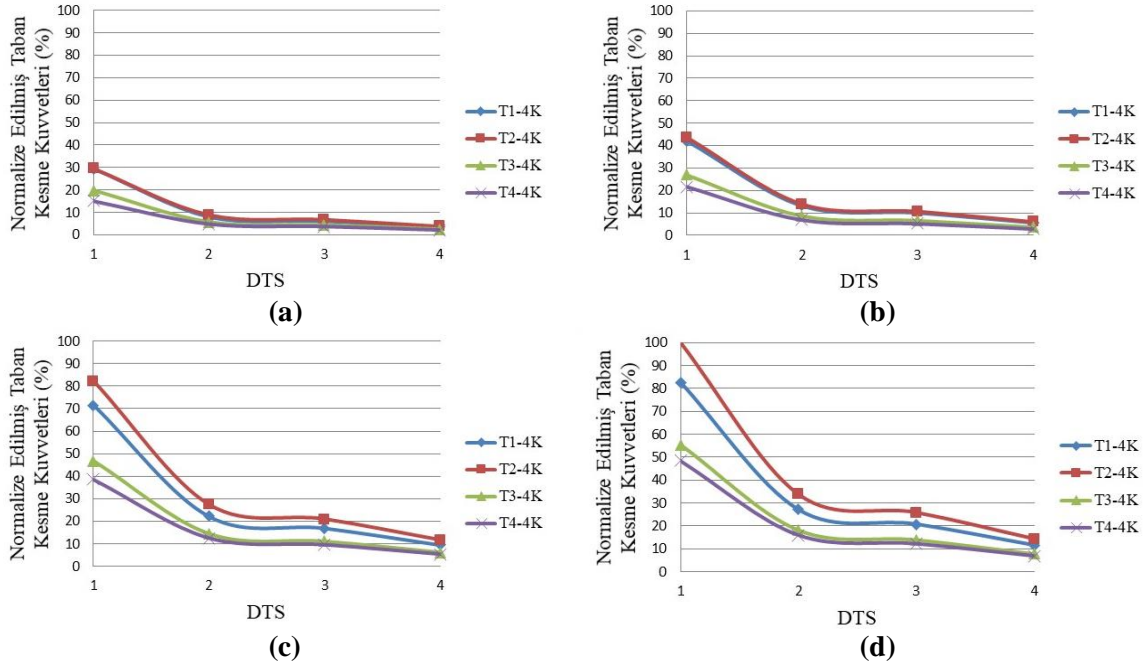
Model	DTS	$\alpha_m=0$		$\alpha_m=0.405$		$\alpha_m=0.745$		$\alpha_m=0.750$	
		T_{x1} (sn)	$S_{ae}(T)$ (g)	T_{x1} (sn)	$S_{ae}(T)$ (g)	T_{x1} (sn)	$S_{ae}(T)$ (g)	T_{x1} (sn)	$S_{ae}(T)$ (g)
T1-4K	DTS1	0.752	0.827	0.607	1.025	0.431	1.443	0.445	1.398
	DTS2	0.889	0.229	0.632	0.323	0.452	0.451	0.445	0.458
	DTS3	0.889	0.175	0.632	0.247	0.452	0.345	0.445	0.351
	DTS4	0.889	0.098	0.632	0.138	0.452	0.192	0.445	0.196
T1-8K	DTS1	1.310	0.475	1.063	0.585	0.780	0.797	0.801	0.777
	DTS2	1.492	0.137	1.063	0.192	0.814	0.251	0.801	0.255
	DTS3	1.492	0.105	1.063	0.147	0.816	0.191	0.801	0.195
	DTS4	1.492	0.058	1.063	0.082	0.816	0.107	0.801	0.109
T2-4K	DTS1	0.671	0.927	0.533	1.167	0.347	1.731	0.338	1.731
	DTS2	0.724	0.281	0.546	0.374	0.347	0.588	0.338	0.526
	DTS3	0.727	0.215	0.546	0.286	0.347	0.450	0.338	0.462
	DTS4	0.727	0.120	0.546	0.159	0.347	0.251	0.338	0.257
T2-8K	DTS1	1.250	0.498	1.012	0.615	0.705	0.882	0.703	0.885
	DTS2	1.256	0.162	1.056	0.193	0.729	0.280	0.703	0.290
	DTS3	1.331	0.117	1.056	0.148	0.734	0.213	0.720	0.217
	DTS4	1.416	0.061	1.056	0.082	0.734	0.119	0.720	0.121
T3-4K	DTS1	0.741	0.839	0.632	0.984	0.442	1.407	0.447	1.391
	DTS2	0.848	0.241	0.632	0.323	0.465	0.439	0.447	0.456
	DTS3	0.848	0.184	0.632	0.247	0.465	0.335	0.447	0.349
	DTS4	0.848	0.103	0.632	0.138	0.465	0.187	0.447	0.195
T3-8K	DTS1	1.250	0.498	1.063	0.585	0.775	0.803	0.748	0.832
	DTS2	1.455	0.140	1.063	0.192	0.808	0.252	0.748	0.273
	DTS3	1.455	0.107	1.063	0.147	0.808	0.193	0.766	0.204
	DTS4	1.455	0.060	1.063	0.082	0.808	0.108	0.766	0.114
T4-4K	DTS1	0.685	0.908	0.565	1.101	0.411	1.513	0.396	1.571
	DTS2	0.713	0.286	0.571	0.357	0.414	0.493	0.396	0.515
	DTS3	0.713	0.219	0.571	0.273	0.414	0.377	0.396	0.394
	DTS4	0.713	0.122	0.571	0.152	0.414	0.210	0.396	0.220
T4-8K	DTS1	1.235	0.504	1.059	0.587	0.790	0.787	0.782	0.795
	DTS2	1.344	0.152	1.063	0.192	0.805	0.253	0.782	0.261
	DTS3	1.344	0.116	1.063	0.147	0.805	0.194	0.782	0.199
	DTS4	1.344	0.065	1.063	0.082	0.805	0.108	0.782	0.111

DTS1 de $\alpha_m=0.745$ ve $\alpha_m=0.750$ olacak şekilde tasarlanan T2-4K tipi binalarda hesaplanan periyot değerleri T_B köşe periyodundan düşük değer almıştır. Maksimum yatay elastik spektral ivmeye maruz kalması yani rezonans bölgesine girmesi sonucu taban kesme kuvvetinde artış gözlemlenmiştir (Tablo 4).

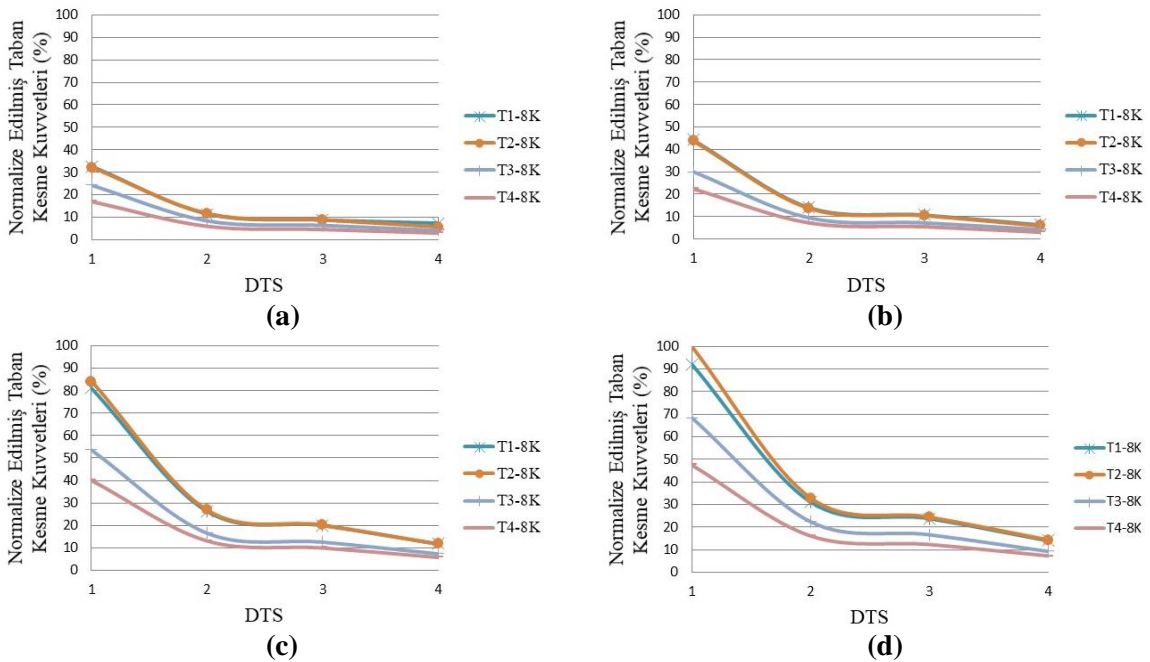
Betonarme bina modellerinin normalize taban kesme kuvvetleri α_m oranlarına bağlı olarak sırasıyla 4 katlı ve 8 katlı modeller için Şekil 4 ve Şekil 5'te verilmiştir. DTS1 de $\alpha_m=0.750$ olacak şekilde modellenen T2-4K ve T2-8K bina modeline ait taban kesme kuvvetleri sırasıyla diğer tüm 4 katlı ve 8 katlı bina modellerinden büyük çıkmıştır. Bu nedenle T2-4K ve T2-8K bina modellerinin taban kesme kuvvetleri maksimum değerler olacak şekilde sırasıyla diğer tüm 4 katlı ve 8 katlı bina modellerine ait taban kesme kuvvetleri oranlanmış ve normalize edilmiştir. DTS1 de spektral ivme değerlerinde

meydana gelen artış taban kesme kuvvetlerinin de artmasına neden olmuştur. 4 katlı ve 8 katlı bina modellerinde DTS2-DTS3-DTS4 de $\alpha_m=0$ ve $\alpha_m=0.405$ olan sistemlerde normalize taban kesme kuvvetleri ortalama olarak %10 bandında oluşurken, DTS1 de %30 bandında meydana gelmiştir. Benzer bir durum $\alpha_m=0.745$ ve $\alpha_m=0.750$ arasında ortaya çıkmıştır. DTS2-DTS3-DTS4 de normalize taban kesme kuvvetleri ortalama olarak %20 bandında oluşurken, DTS1 de %70 bandında meydana gelmiştir.

Taban kesme kuvvetleri dikkate alındığında en büyük etkinin DTS1 de ortaya çıktığı belirlenmiştir. Genel olarak diğer deprem tasarım sınıflarında birbirine benzer değerler gözlemlenmiştir. DTS1 de elde edilen değerler taban devrilme momenti oranına (α_m) bağlı olarak artış göstermiştir (Şekil 4 - Şekil 5).



Şekil 4. α_m oranlarına göre 4 katlı betonarme bina modellerinde normalize taban kesme kuvvetleri (a) $\alpha_m=0$, (b) $\alpha_m=0.405$, (c) $\alpha_m=0.745$, (d) $\alpha_m=0.750$



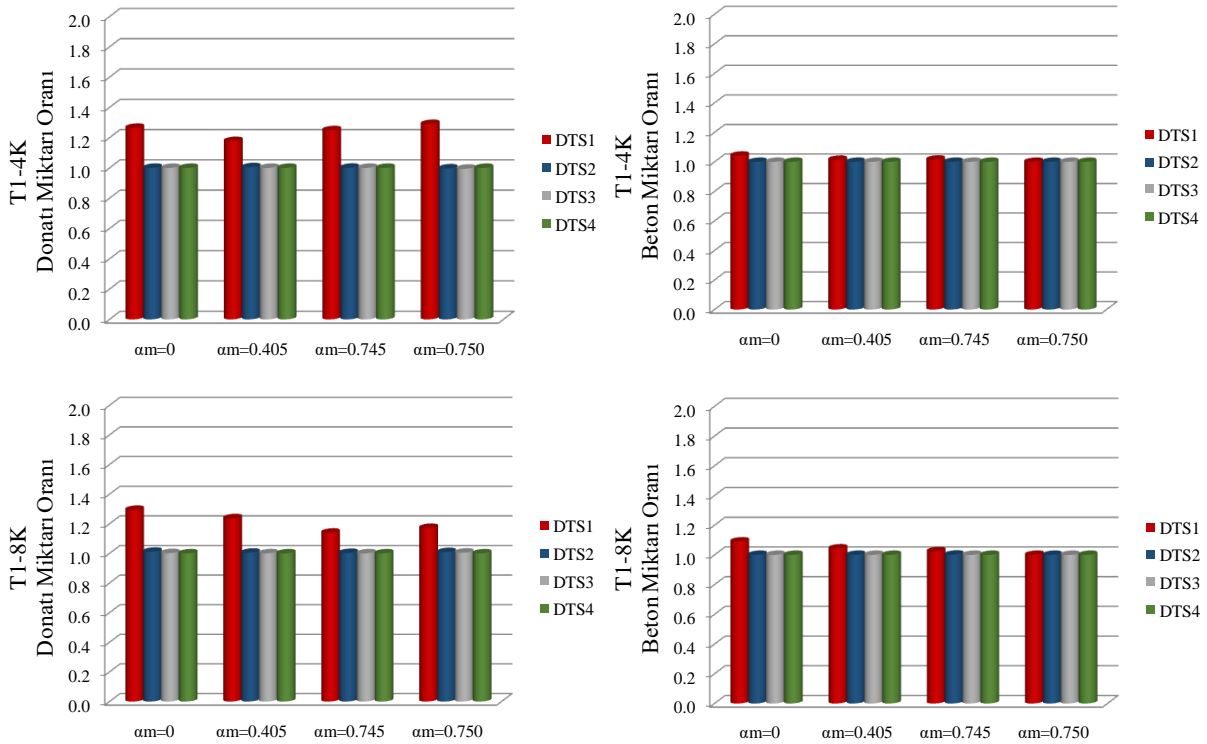
Şekil 5. α_m oranlarına göre 8 katlı betonarme bina modellerinde normalize taban kesme kuvvetleri (a) $\alpha_m=0$, (b) $\alpha_m=0.405$, (c) $\alpha_m=0.745$, (d) $\alpha_m=0.750$

Deprem tasarım sınıfları arasında en düşük spektral ivme değerine sahip DTS4 de inşa edilen binalarda, yeterli dayanım için gerekli donatı ve beton miktarlarının diğer deprem tasarım sınıflarına oranla daha düşük düzeyde kalacağı açıktır. Deprem tasarım sınıflarının bina maliyetleri üzerindeki etkilerini ortaya koyabilmek için donatı ve beton miktarları DTS4 baz alınarak her α_m oranı için kıyaslanmış ve grafikler halinde Şekil 6 - Şekil 7 de sunulmuştur.

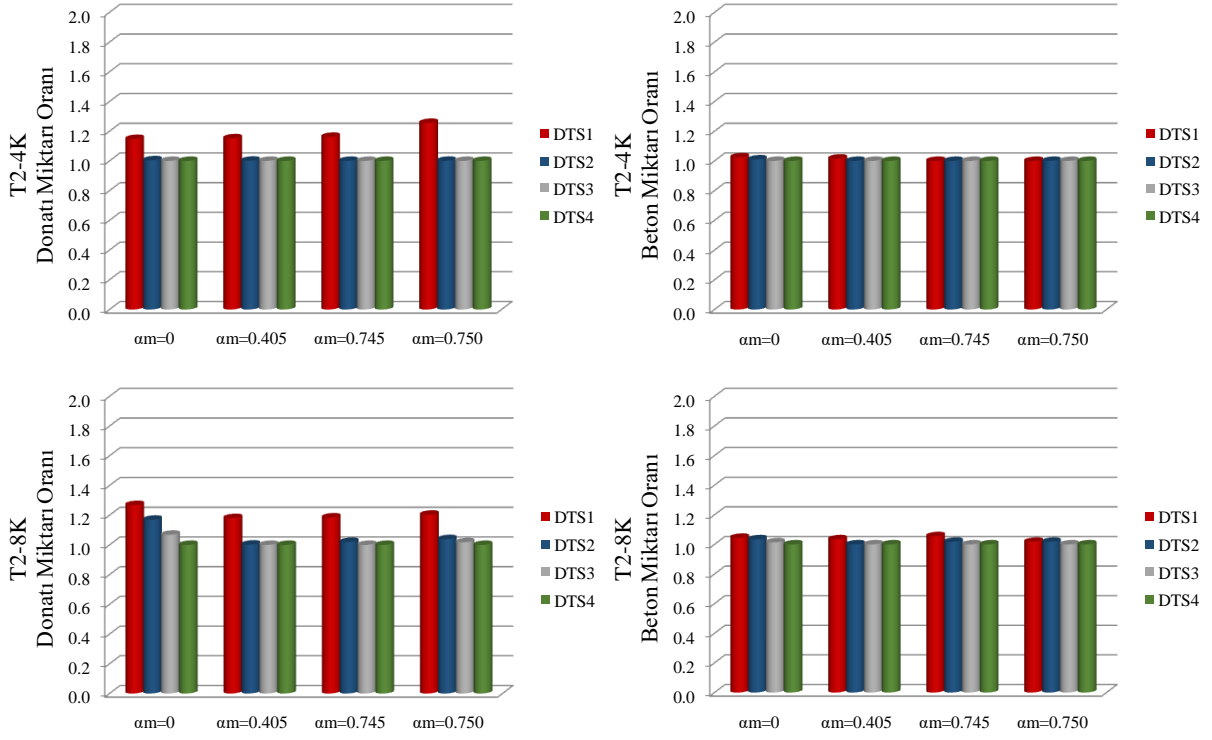
Donatı miktarlarında DTS1 haricinde genel olarak bir değişim ortaya çıkmamıştır. 8 katlı T2 tipi çerçeveli sistemlerde ve T3 tipi karma süneklik düzeyli sistemlerde deprem tasarım sınıfları arasında %10 oranında farklar meydana gelmiştir. Tüm bina modellerinde DTS1 de T1 ve T2 tipi binalarda %30, T3 tipi binalarda %40, T4 tipi binalarda %20 bandında değişimler gerçekleşmiştir. DTS1 de kat sayısının artması nedeniyle çerçeve sistemlerde, perde +çerçeveli sistemlere kıyasla donatı miktarında ortalama %10 oranında bir artış meydana gelmiştir. Beton miktarlarında dikkate değer bir değişim oluşmazken sadece T3 tipi binalarda DST1 de %10 oranında artış belirlenmiştir (Şekil 6 - Şekil 7).

DTS1 için 4 katlı betonarme bina modellerinde gerekli olan donatı miktarı karma süneklik düzeyinde artış eğilimi gösterirken, 8 katlı betonarme bina modellerinde çerçeve sistemlerde artış eğilimi gözlemlenmiştir. Donatı miktarları, 4 katlı yapılarda α_m oranı ile doğru orantılı davranış sergilerken 8 katlı yapılarda ters orantı söz konusudur (Şekil 6 - Şekil 7).

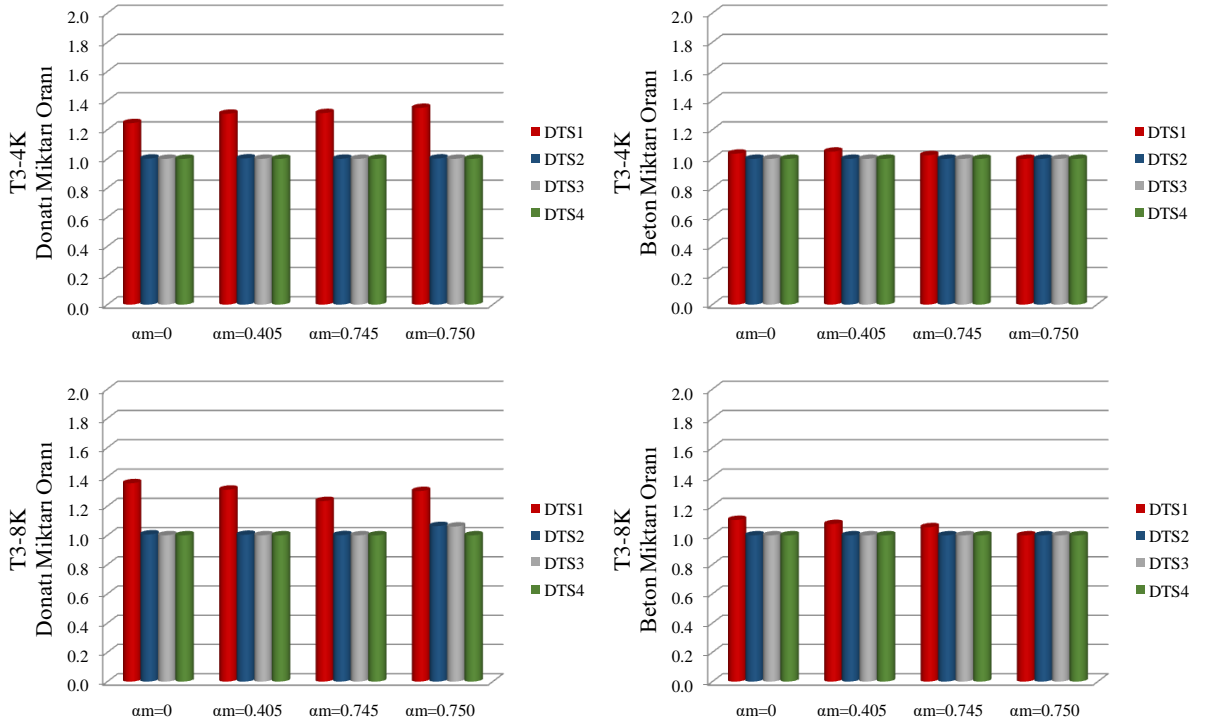
Beton ve donatı miktarlarında meydana gelen bu artış binanın toplam maliyetinde dikkate değer bir yekûn oluşturmamaktadır.



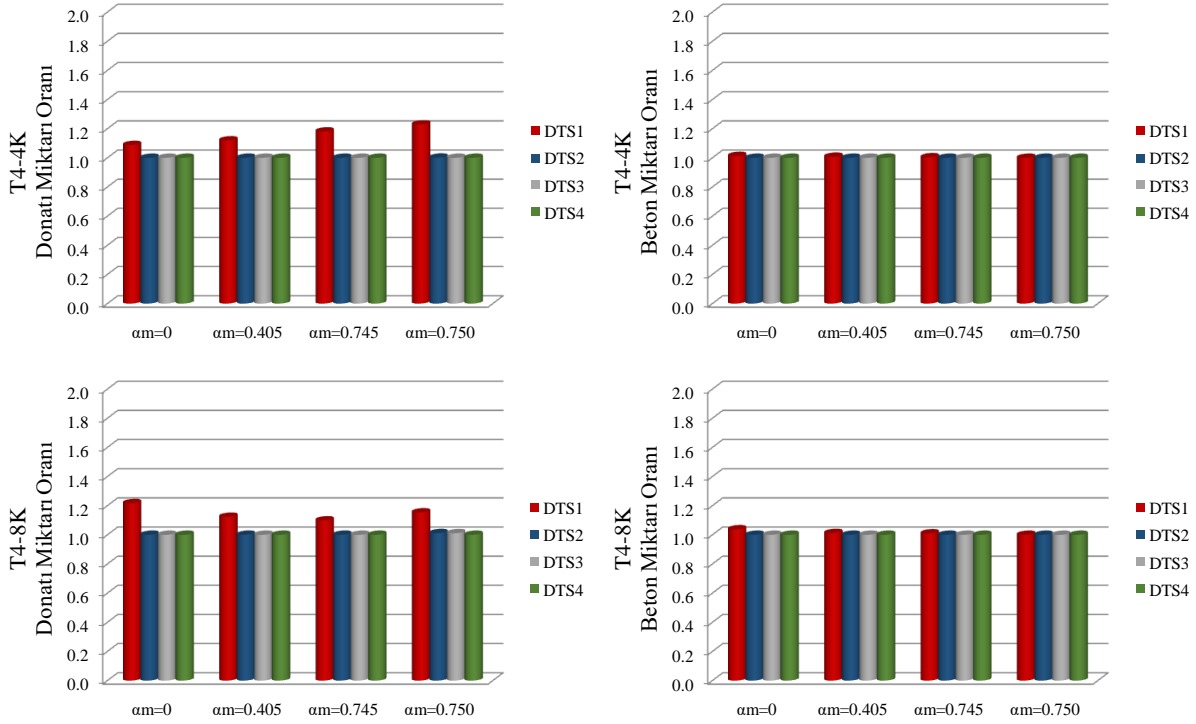
Şekil 6. T1 ve T2 tipi betonarme bina modellerinde DTS4 baz alınarak donatı ve beton miktarları oranları



Şekil 6 (devam). T1 ve T2 tipi betonarme bina modellerinde DTS4 baz alınarak donatı ve beton miktarları oranları



Şekil 7. T3 ve T4 tipi betonarme bina modellerinde DTS4 baz alınarak donatı ve beton miktarları oranları.



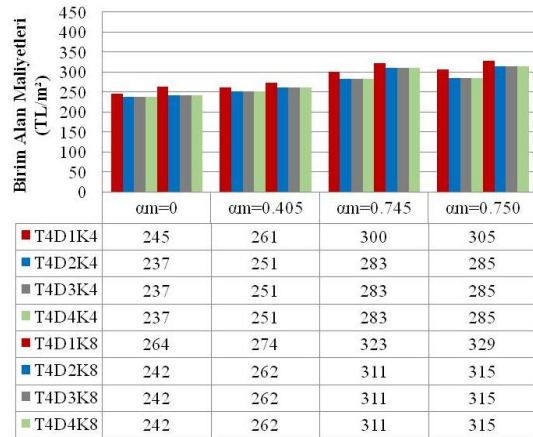
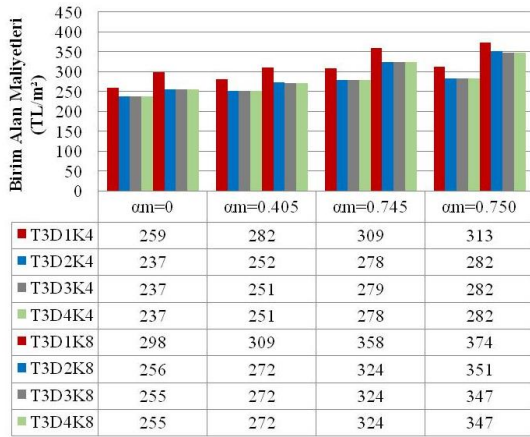
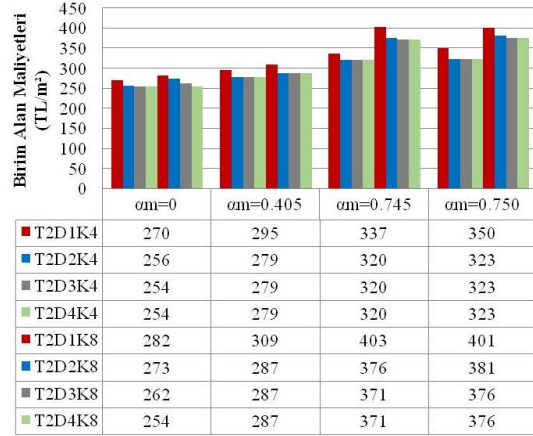
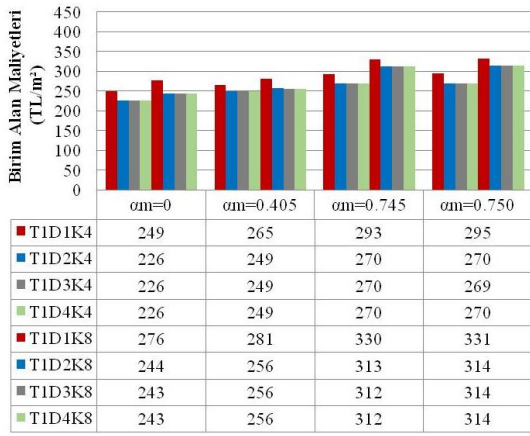
Şekil 7 (devam). T3 ve T4 tipi betonarme bina modellerinde DTS4 baz alınarak donatı ve beton miktarları oranları

Maliyet hesabında Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2020 yılı İnşaat ve Tesisat Birim Fiyatları kullanılmıştır (Tablo 5). Beton sınıfı, ince demir, kalın demir ve kalıp birim fiyatları dikkate alınarak toplam maliyet hesaplanmıştır. [19]

Tablo 5. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2020 yılı inşaat ve tesisat birim fiyatları [19]

Poz No	Poz Açıklaması	Birim	Birim Fiyat (TL)
15.150.1006	Beton santralinde üretilen veya satın alınan ve beton pompasıyla basılan, C30/37 basınç dayanım sınıfında, gri renkte, normal hazır beton dökülmesi (beton nakli dahil)	m ³	262.38
15.160.1003	Ø8-Ø12 mm nervürlü beton çelik çubuğu, çubukların kesilmesi, bükülmesi ve yerine konulması	ton	4444.21
15.160.1004	Ø14-Ø28 mm nervürlü beton çelik çubuğu, çubukların kesilmesi, bükülmesi ve yerine konulması	ton	4362.90
15.180.1002	Ahşaptan düz yüzeyli beton ve betonarme kalıbı yapılması	m ²	63.98

Betonarme bina modellerine ait birim alan maliyetleri tablolar halinde Şekil 8’de sunulmuştur. Çerçevesi veya perde + çerçevesi sistemleri kıyaslayabilmek için kritik değerler olan $\alpha_m=0$ ile $\alpha_m=0.405$ gruplandırılmış ve yüksek süneklilik düzeyli ve karma süneklilik düzeyli perde + çerçevesi sistemleri kıyaslayabilmek için kritik değerler olan $\alpha_m=0.745$ ile $\alpha_m=0.750$ gruplandırılmıştır. Birinci grupta birim alan maliyetleri arasında maksimum %10 oranında bir artışın olduğu belirlenirken ikinci grupta anlamlı bir farkın meydana gelmediği ancak istisna olarak T3 tipi 8 katlı modellerde tüm deprem tasarım sınıflarında %10 oranının altında bir farkın oluştuğu belirlenmiştir.



Şekil 8. Betonarme bina modellerine ait birim alan maliyetleri

Birim alan maliyet değerlerinde meydana gelen artış oranları Tablo 6a da kıyaslanmıştır. Yatay elastik spektral ivme değerleri DTS4 de en düşük değerde olduğundan buna bağlı oluşacak olan birim alan maliyetleri asgari düzeyde kalacaktır. Bu nedenle DTS4 kıyaslama ölçütü olarak tercih edilmiştir. Bina modellerinin α_m oranlarına bağlı birim alan maliyetlerinde DTS2-DTS3 için anlamlı bir fark oluşmamıştır. Sadece $\alpha_m=0$ için T2 tipi modellerde en fazla %7 oranında bir artış gözlemlenmiştir. DTS1 için elde edilen birim alan maliyetlerinde 4 katlı modellerde ortalama %8 artış, T3D1K4 modelinde %12 artış oranı ile maksimum değer ve 8 katlı modellerde ortalama %9 artış, T3D1K8 modelinde %17 artış oranı ile maksimum değer belirlenmiştir.

Kaba yapı inşaat maliyetinin toplam inşaat maliyetine oranının %30 civarında olduğu göz önüne alındığında birim alan maliyetlerinde meydana gelen bu artışların toplam bina maliyetine göre çok daha önemsiz olacağı görülmüştür. Örneğin T3D1K8 bina modelinde ortaya çıkan %17 lik birim alan maliyeti artış oranı toplamda %5 seviyesine inmektedir.

Çerçeve sistemli bina modellerinde hesaplanan bina maliyetlerinin perde + çerçeve sistemli bina modellerinden az çıkması nedeniyle çerçeve sistemli modellerin DTS4 de elde edilen maliyet değerleri kıyaslama ölçütü olarak belirlenmiştir. Birim alan maliyet değerlerinde meydana gelen artış oranları DTS4 de çerçeve sistemli modellerde elde edilen veriler baz alınarak Tablo 6b de kıyaslanmıştır. 4 katlı modellerde DTS2-DTS3-DTS4 için ortalama %13 artış meydana gelirken bu artış DTS1 için ortalama %21 olarak belirlenmiştir. 8 katlı modellerde DTS2-DTS3-DTS4 için ortalama %20 artış meydana gelirken bu artış DTS1 için %29 olarak belirlenmiştir.

Tablo 6. Deprem tasarım sınıflarına göre birim alan maliyetleri artış oranları

Model	a) DTS4 Bazında Birim Alan Maliyet Artış Oranları (%)				b) $\alpha_m=0$ ve DTS4 Bazında Birim Alan Maliyet Artış Oranları (%)			
	α_m				α_m			
	0	0.405	0.745	0.750	0	0.405	0.745	0.750
T1D1K4	10	6	8	9	10	17	29	30
T1D2K4	0	0	0	0	0	10	19	19
T1D3K4	0	0	0	0	0	10	19	19
T1D4K4	0	0	0	0	0	10	19	19
T1D1K8	14	10	6	5	14	16	36	36
T1D2K8	0	0	0	0	0	6	29	29
T1D3K8	0	0	0	0	0	5	29	29
T1D4K8	0	0	0	0	0	5	28	29
T2D1K4	6	6	5	8	6	16	33	38
T2D2K4	1	0	0	0	1	10	26	27
T2D3K4	0	0	0	0	0	10	26	27
T2D4K4	0	0	0	0	0	10	26	27
T2D1K8	11	8	9	7	11	22	58	58
T2D2K8	7	0	1	1	7	13	48	50
T2D3K8	3	0	0	0	3	13	46	48
T2D4K8	0	0	0	0	0	13	46	48
T3D1K4	9	12	11	11	9	19	31	32
T3D2K4	0	0	0	0	0	6	17	19
T3D3K4	0	0	0	0	0	6	18	19
T3D4K4	0	0	0	0	0	6	17	19
T3D1K8	17	14	11	8	17	21	41	47
T3D2K8	0	0	0	1	0	7	27	38
T3D3K8	0	0	0	0	0	7	27	36
T3D4K8	0	0	0	0	0	7	27	36
T4D1K4	3	4	6	7	3	10	26	29
T4D2K4	0	0	0	0	0	6	20	20
T4D3K4	0	0	0	0	0	6	19	20
T4D4K4	0	0	0	0	0	6	19	20
T4D1K8	9	4	4	4	9	13	33	36
T4D2K8	0	0	0	0	0	8	29	30
T4D3K8	0	0	0	0	0	8	29	30
T4D4K8	0	0	0	0	0	8	29	30

IV. SONUC

TBDY2019 ile tanımlanmış olan deprem tasarım sınıflarının betonarme hesaplarda ortaya koyacağı maliyet artışı hakkında değerlendirme yapabilmek için gerçekleştirilen bu çalışmada 4 katlı ve 8 katlı yapılar incelenmiş ve ulaşılan sonuçların Türkiye'de mevcut binaların genelini hakkında fikir verebileceği varsayımı yapılmıştır. Ek olarak kalıp planı tipi ve taban devrilme momenti oranları (α_m) da hesaplarda parametre olarak dikkate alınmıştır.

Güncel depremler dikkate alındığında deprem tehlikesi altında olan Ülkemizde binaların perde + çerçeveli taşıyıcı sistem olarak tasarlanması ile asgari düzeyde kalan bir maliyet artışı ile deprem güvenliği artırılmış olacaktır.

Yapılan çalışma ile herhangi bir deprem tasarım sınıfında binaların taşıyıcı sisteminde perde duvar ilavesinin birim alan maliyetlerinde ciddi farklar ortaya çıkarmadığı belirlenmiştir. Aynı α_m oranına sahip betonarme binalarda DTS1 hariç tüm deprem tasarım sınıflarında benzer maliyetler elde edilmiştir.

Bu çalışma ile DTS2-DTS3 ve DTS4 dikkate alınarak tasarlanan bina modellerinin kaba yapı maliyetlerinde bir fark oluşmadığı belirlenmiştir. Burada ayırıcı etki DTS1 de gözlemlenmiştir. DTS1 de spektral ivme değerlerinin yüksek olması nedeniyle gerekli dayanımın sağlanması için maliyetlerde %10 luk bir artış meydana gelmiştir. Dolayısıyla güvenli tarafta yer almak için DTS1 in ayrı bir grup olarak değerlendirilmesi yerinde olacaktır.

Çalışma kapsamında değerlendirilen tüm sonuçların dikkate alınan parametreler ile sınırlı olduğu unutulmamalıdır. Bilimsel netlikte bir yargıya varmak için parametre havuzunun genişletilmesi ve detaylandırılması yerinde olacaktır.

Elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- a) Yapı taşıyıcı sistemi modellenirken yüksek süneklik düzeyinin üst sınırı ($\alpha_m=0.745$) ile karma süneklik düzeyinin alt sınırı ($\alpha_m=0.750$) arasında maliyet açısından önemli bir farkın ortaya çıkmasından yola çıkarak perde + çerçeve sistemli betonarme binaların yüksek süneklik düzeyinde inşa edilmesinin daha anlamlı olacağı kanaati oluşmuştur.
- b) DTS2-DTS3-DTS4 de normalize taban kesme kuvvetleri ortalama olarak sırasıyla 4 katlı ve 8 katlı yapılarda sırasıyla %10 ve %20 bandında oluşurken, DTS1 de sırasıyla %35 ve %70 bandında meydana gelmiştir. Deprem tasarım sınıflarına göre taban kesme kuvvetlerinde artış dikkate alındığında; ortalama %20 bandında meydana gelen normalize taban kesme kuvveti artışının DTS2-DTS3 ve DTS4 de kaba yapı maliyetlerinde herhangi bir artışa neden olmadığı görülmüştür. Ayrıca DTS1 de ortalama %70 bandında meydana gelen normalize taban kesme kuvveti artışının kaba yapı maliyetinin sadece %10 civarında arttırdığı belirlenmiştir.
- c) Çerçeve tipi ($\alpha_m=0$) yapılar ile yüksek süneklik düzeyi alt sınırında ($\alpha_m=0.405$) inşa edilen perde + çerçeve sistemli betonarme binalar arasında oluşan maliyet farkının %10 ile sınırlı kalmasında yola çıkarak betonarme binaların özellikle spektral ivme değeri yüksek bölgelerde inşa edilmesi durumunda perde duvarlı olarak tasarlanmasının deprem güvenliği açısından yerinde olacağı kanaati oluşmuştur.
- d) Betonarme bina modellerinin DTS4 e ait spektral ivme değerleri dikkate alınarak tasarlanması durumunda DTS2 ve DTS3 için de ilave maliyetler getirilmeden güvenli çözümler sunacağı görülmüştür.
- e) Taşıyıcı sistemi perde + çerçeve sistemli betonarme binaların çerçeve sistemlere oranla daha rijit olmaları nedeniyle maruz kaldıkları elastik tasarım spektral ivme değerleri artmaktadır. Ancak perde duvarların karşılayacağı deprem yükü kapasitesi dikkate alındığında yapıda ortaya çıkan maliyet artışı %10 oranından fazla olmamaktadır.
- f) Perde + çerçeve sistemli betonarme binaların periyotları çerçeve sistemlere kıyasla artış göstermiştir. Bu nedenle bazı bina modellerinde rezonans etkileri görülmüş ancak perde duvarlar ile sağlanan dayanım artışı ile güvenli bölgede kalınmıştır.
- g) 8 katlı bina modellerinde deprem tasarım sınıflarına göre birim alan maliyetlerinde DTS4 te tasarlanan 4 katlı modellere kıyasla ortalama %10 oranında bir artış meydana gelmiştir.
- h) Kaba yapı inşaat maliyetinin bir yapının toplam inşaat maliyetinin yaklaşık olarak %30 una tekabül ettiği düşünüldüğünde çalışma kapsamında belirlenen kaba yapı inşaat maliyetlerindeki artış oranlarının önemini kaybedeceği açıktır.
- i) TBDY2019 ile depreme dayanıklı bina tasarımında binanın yapıldığı konuma bağlı spektral ivme değerleri alınmakta ve tasarım buna göre yapılmaktadır. Ancak gerçekleştirilen çalışma

ile DTS2-DTS3 ve DTS4 arasında maliyet açısından bir fark oluşmadığı görülmüştür. Dolayısıyla perde + çerçeve sistemli betonarme binaların yapılacağı konumun bahsi geçen deprem tasarım sınıfları için mikro düzeyde ele alınmasının gerekli olmayacağı kanaatine varılmıştır.

- j) Elde edilen tüm sonuçlar çalışma kapsamında dikkate alınan betonarme bina modelleri ile sınırlıdır. Sonuçlar dikkate alındığında perde + çerçeve sistemli betonarme bina modellerinde deprem tasarım sınıflarının 4 grup yerine 2 gruba indirgenebileceği kanaati hâkim olmuştur. Bu şekilde ortaya çıkacak muhtemel işlem hacmi de azaltılabilecektir. Ancak kesin bir ifade kullanılabilmesi için daha detaylı bir çalışmanın ortaya konulması gerekmektedir.

TEŞEKKÜR: Bu çalışma “Betonarme Binalarda Deprem Tasarım Sınıflarının Bina Maliyetine Etkisi” başlıklı Yüksek Lisans tezinden üretilmiştir.

V. KAYNAKLAR

- [1] A. N. Karancı, S. Kalaycıoğlu, B. B. Başbuğ Erkan, A. T. Özden, İ. Çalışkan ve G. Özakşehir, “Tabanlı – Van (23 Ekim 2011) ve Edremit – Van (9 Kasım 2011) depremleri inceleme raporu 25 – 27 Kasım 2011,” Orta Doğu Teknik Üniversitesi Afet Yönetimi Uygulama ve Araştırma Merkezi, Türkiye, 2011.
- [2] ODTÜ., “24 Ocak 2020 Mw 6.8 Elâzığ-Sivrice depremi sismik ve yapısal hasara ilişkin saha gözlemleri,” Orta Doğu Teknik Üniversitesi Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi, Türkiye, Rapor No: ODTÜ/DMAM 2020-01, 2020.
- [3] U. Ersoy, 1992 “Erzincan depreminden alınması gereken dersler,” 2. *Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul, Türkiye, 1993, ss. 395-403.
- [4] H. Tekel, “Betonarme yapılarda %1 oranında perde kullanımının değerlendirilmesi,” *TMH-Türkiye Mühendislik Haberleri*, c. 4-5, s. 444-445, ss. 57-63, 2006.
- [5] A. Doğangün, *Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı*, 15. Baskı, İstanbul, Türkiye: Birsan Yayınevi, 2018, böl. 4, ss. 144.
- [6] H. Kasap, N. Mert, E. Sevim, ve B. Şeber, “Perdeli-çerçeve taşıyıcı sistemli binalarda taşıyıcı sistem seçiminin yapı davranışı üzerindeki etkisinin incelenmesi,” *Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, c. 3, s. 1, ss. 48-55, 2015.
- [7] M. Türkmen ve H. Tekeli, “Deprem bölgesi ve yerel zemin sınıflarının bina maliyetine etkileri,” *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 9, s. 3, ss.127-130, 2005.
- [8] K. Nayır, “Perdeli-çerçeve betonarme binaların deprem bölgelerine bağlı olarak tasarımı ve optimum maliyetinin hesabı,” Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Trakya Üniversitesi, Çorlu, Türkiye, 2006.
- [9] A. Dorum, Ö. Özkan ve M. Erdal, “Farklı deprem bölgeleri ve farklı zemin sınıflarının kaba yapı maliyetine etkisi,” *Selçuk-Teknik Dergisi*, c. 5, s. 1, ss.1-9, 2006.
- [10] R. Kanit, M. Gunduz and O. Ozkan, “Cost effect of earthquake region and soil type for office buildings in Turkey,” *Building and Environment*, vol. 42, no. 10, pp. 3616-3620, 2007.



- [12] S. Ü. Dikmen ve S. Özek, “Deprem bölgelerinde zemin sınıfının sanayi yapılarının maliyetine etkisi,” *İMO Teknik Dergi*, c. 22, s. 108, ss. 5543-5558, 2011.
- [12] Ş. Gürsoy, R. Öz ve S. Baş, “Investigation of the effect of weak-story on earthquake behavior and rough construction costs of RC buildings,” *Computers and Concrete*, vol.16, no.1, pp. 141-161, 2015.
- [13] S. M. S. Shakeeb, P. B. Bhushan, P. D. P. Maneeth, S. P. Abdulla, “Comparative study on percentage variation of steel in different seismic zones of India,” *International Research Journal of Engineering and Technology*, vol. 2, no. 7, pp. 939-949, 2015.
- [14] TBDY2019, Türkiye bina deprem yönetmeliği, *T.C. Resmi Gazete*, Sayı: 30364, 18 Mart 2018.
- [15] STA4CAD, *Bilgisayar Programı*, 14 versiyon, İstanbul, Türkiye, STA Bilgisayar Mühendislik ve Müşavirlik San. ve Tic. Ltd. Şti, 2019.
- [16] E. Eren, “Betonarme binalarda deprem tasarım sınıflarının bina maliyetine etkisi,” Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye, 2019.
- [17] Z. Celep, *Betonarme Yapılar*, 9. baskı, İstanbul, Türkiye: Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş., 2017, böl. 19, ss. 789.
- [18] Türkiye deprem tehlike haritası ve parametre değerleri hakkında karar, *T.C. Resmi Gazete*, Sayı: 30364, 18 Mart 2018.
- [19] Yüksek Fen Kurulu Başkanlığı. (2019, 1 Ocak). *İnşaat ve tesisat birim fiyatları 2019* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://webdosya.csb.gov.tr/db/yfk/icerikler/insaat-birim-fiyatları-2019-turkce.pdf>.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Çalışma Ofislerinin Enerji İhtiyacının Güneş Pilleri Kullanılarak Karşılanması

 Melike YALILI KILIÇ^{a,*},  Sümeyye ADALI^a

^a Çevre Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: myalili@uludag.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.952679

Öz

Ülkelerin enerji ihtiyacının karşılanmasında önemli bir rol oynayan fosil tabanlı yakıtların dünya üzerindeki rezervlerinin azalmasına bağlı olarak bu yakıtlara alternatif olacak enerji kaynaklarının kullanımı gündeme gelmiştir. Günümüzde tükenmeyen ve kaynak sürdürülebilirliği açısından büyük avantajları bulunan yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji eldesi önem kazanmaktadır. Dünya genelinde güneş enerjisinden elektrik enerjisi eldesi amacıyla tasarlanan güneş pili teknolojileri önemli bir kullanım alanı bulmaktadır. Bu çalışmada, Bursa ilinde yer alan bir çalışma ofisinin elektrik ihtiyacının güneş pilleri ile karşılanmasını sağlamak amacıyla güneş pili sistemi tasarımı ve maliyet analizi gerçekleştirilmiştir. Yapılan maliyet analizi sonucunda enerji sisteminin yıllık serbest sermaye veya yatırım giderleri 1953,14 TL (225 \$), yıllık toplam enerji gideri ise 2853,14 TL (328,7 \$); sistemin üreteceği bir yıllık elektrik miktarı 197978 Wsa, enerji birim fiyatı ise 0,0144 TL/Wsa (0,00166 \$/Wsa) olarak hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir enerji, Güneş pilleri, Elektrik üretimi, Ofis.

Supply the Energy Need of Work Offices Using Solar Cells

ABSTRACT

Due to the decrease in the world's reserves of fossil-based fuels, which play an important role in meeting the energy needs of countries, the use of alternative energy sources to these fuels has come to the fore. Today, it is important to obtain energy from renewable energy sources, which are inexhaustible and have great advantages in terms of resource sustainability. Solar cell technologies, designed for the purpose of obtaining electrical energy from solar energy, find an important area of use throughout the world. In this study, solar cell system design and cost analysis were carried out in order to meet the electricity need of a work office in Bursa with solar cells. As a result of the cost analysis, the annual free capital investment expenses of the energy system are 1953.14 TL (\$225), and the annual total energy expenditure is 2853.14 TL (\$328.7); the annual electricity amount to be produced by the system is calculated as 197978 Wh, and the energy unit price is calculated as 0.0144 TL/Wh (0.00166 \$/Wh).

Keywords: Renewable energy, Solar cells, Electricity generation, Office.

I. GİRİŞ

Sanayi devrimiyle birlikte başlayan makineleşme süreci ekonomik büyümede enerjinin ana girdi olmasına neden olmuştur. Günümüze kadar geçen sürede teknolojik gelişmeler ve artan nüfusun ihtiyaçlarının karşılanması için enerji eldesinde yoğun olarak fosil yakıt kullanımı, doğal kaynakların azalmasına, insan ve çevre sağlığının bozulmasına yol açmış; bu durum ekonomik büyümenin çevreyle uyumlu olarak sağlanması gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Dünya ekonomisinin 2050 yılı tahminlerine göre günümüzden 4 kat daha büyüyeceği ve %80 daha fazla enerji ve doğal kaynağa ihtiyaç göstereceği düşünüldüğünde, ülkelerin artan enerji ihtiyaçlarını karşılama noktasında yenilenebilir enerji kaynaklarından maksimum ölçüde yararlanılması önem arz etmektedir. Ülkeler bu doğrultuda çevreyle uyumlu olarak sürdürülebilir kalkınmanın sağlanması amacıyla enerji üretiminde karbon kaynaklı yakıtlar yerine, yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmaya yönelmeye başlamıştır [1].

Yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanma konusunda uzun yıllardan beri süregelen çalışmalar yenilenebilir enerji teknolojilerinin gelişimine imkan sağlamış olup, günümüzde bu kaynakların kullanımı dünya genelinde giderek yaygınlaşmaktadır. Bu kaynaklar arasında özellikle güneş enerjisi temiz, düşük maliyetli ve yaydığı enerji miktarının bol olması, tarımdan hizmet sektörüne kadar çok geniş bir alanda yararlanma olanağının bulunması nedeniyle en çok yatırım yapılan yenilenebilir enerji türü olarak öne çıkmaktadır [2]. Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı IRENA'nın 2018 yılında yayımlanan raporuna göre, güneş enerjisinden sağlanan elektriğin günümüzde küresel elektrik üretiminin %2'sini oluşturduğu, 2030'a kadar bu payın %13 seviyesine çıkabileceği öngörülmektedir [3]. Ülkemizde 2020 yılına gelindiğinde toplam elektrik kurulu gücü 95890,6 MW değerine ulaşmış olup, bu kurulu gücün 6667,4 MW'lık kısmı güneş enerjisinden oluşmaktadır [4].

Günümüzde güneş enerjisinden çok farklı şekillerde ve alanlarda yararlanılmasıyla beraber elektrik enerjisi üretiminde genel olarak iki farklı teknoloji kullanılmaktadır. Bunlardan ilki güneş pilleri, diğeri ise ısıl güneş teknolojileridir. Isıl güneş teknolojilerinde elde edilen ısı direkt kullanılabilirdiği gibi elektrik eldesinde de kullanılabilir [5].

Almanya'da yer alan Solar-Fabrik binası toplam 475 m² fotovoltaiik alanı ile yılda 40 MWsa elektrik üretebilecek kapasitede olup, 50000 kWsa ile binanın yıllık enerji ihtiyacının yaklaşık %25'ini karşılamaktadır. Fransa'da yer alan Total Energie fabrika ve ofis binalarında kullanılan fotovoltaiik paneller aracılığıyla binaların enerji ihtiyacının %20'sinin karşılandığı belirtilmektedir. Panellerin çatı yerleşiminin dışında binanın güney cephesinde de yer alarak gölgeleme elemanı olarak kullanıldığı bildirilmektedir [6].

Literatür incelendiğinde elektrik ihtiyacının güneş pilleri kullanılarak sağlandığı çeşitli çalışmalar olduğu görülmektedir. Mersin İli'nde yapılan bir çalışmada ofis amaçlı kullanılan şantiye konteynerlerinin elektrik ihtiyacının karşılanması amacıyla güneş pili sistemi tasarlanarak sistemin maliyet analizi gerçekleştirilmiştir. Sistemin kurulum bedeli 17922,52 TL, enerji bedeli ise 0,01384 TL/Wsa olarak belirlenmiştir [7]. Arı ve ark., [8] tarafından yapılan çalışmada, güneş pili ile üretilen elektrik ve termoelektrik eleman olan Peltier kullanılarak soğutucu ve ısıtıcı kapları bulunan taşınabilir piknik sepeti tasarlanmış, sıcak taraftaki dijital termometrenin 60,8 °C, soğuk taraftaki dijital termometrenin ise 3,4 °C değerine ulaştığı gözlenmiştir. Burdur'da dört kişilik bir ailenin elektrik ihtiyacının güneş pilleri ile karşılanması amacıyla gerçekleştirilen çalışmada, kurulacak sistemin maliyeti 11136 TL olarak hesaplanmış ve bu değer kendisini 11 yılda amorti edebileceği belirlenmiştir [9]. Bursa'da tarım arazilerine veya tarım işletmelerine kurulacak olan 23 kW'lık bir fotovoltaiik güneş enerji tesisinin elektrik enerjisi üretimi teknik ve ekonomik analizinin yapıldığı çalışmada, tesiste monokristal panellerden elde edilen yıllık enerji üretiminin 28081 kWsa/yıl ile 32239 kWsa/yıl arasında; polikristal panellerden elde edilen yıllık enerji üretiminin ise 26209 kWsa/yıl ile 31886 kWsa/yıl arasında olduğu belirlenmiştir. Tesisin amortisman süresinin monokristal paneller için 1,5 ile 15,4 yıl; polikristal paneller için ise 1,5 ile 15,8 yıl aralığında olduğu belirlenmiştir [10].

Bu çalışmada, Bursa ili Nilüfer ilçesi Özlüce Mahallesinde mühendislik hizmeti sağlayan 60 m² kullanım alanına sahip tek katlı olarak tasarlanan bir ofisin elektrik ihtiyacının karşılanması amacıyla güneş pilleri kullanılarak oluşturulan yenilenebilir enerji sisteminin teknik ve maliyet yönünden uygulanabilirliği araştırılmıştır.

II. DÜNYA'DA VE TÜRKİYE'DE GÜNEŞ ENERJİSİ

Güneş enerji santralleri kurulumu tüm dünyada önemli bir yatırım alanı olmaya devam etmektedir. Ülkelerin 2020 yılı güneş enerjisi kurulu güçleri karşılaştırıldığında, en büyük payın 254355 MW'la Çin'e ait olduğu, bunu sırasıyla ABD (75572 MW), Japonya (67000 MW) ve Almanya'nın (53783 MW) izlediği görülmektedir [11]. Ülkemizde ise 2020 yılı kurulu güç miktarı 6667,4 MW olarak gerçekleşmiştir.

Türkiye'nin sahip olduğu güneş potansiyeli İspanya dışındaki diğer Avrupa ülkelerinden yüksek değerde olmasına rağmen, ülkemizde güneş enerjisi potansiyelinden büyük ölçekte yararlanılamamaktadır. Bununla birlikte ülke genelinde devam eden yenilenebilir enerji yatırımlarıyla güneşten elde edilen enerji miktarının büyük oranda artacağı öngörülmektedir. Tablo 1'de dünya üzerinde belirli bölgelere ait güneş ışınım değerleri yer almaktadır.

Tablo 1. Dünya üzerinde belirli bölgelere ait güneş ışınım değerleri [12]

Bölge	Işınım Değerleri (<i>kWsa/m²</i>)
Kuzey Avrupa	800
Orta Avrupa	1000
Akdeniz Bölgesi	1700
Ekvator	2200

Ülkemiz bulunduğu coğrafi konum nedeniyle güneşten enerji eldesinde önemli bir potansiyel barındırmaktadır. Bölgesel karşılaştırma yapıldığında Güneydoğu Anadolu Bölgesi en yüksek ışınım değerine, Karadeniz Bölgesi en düşük ışınım değerine sahiptir. Güneş Enerjisi Potansiyel Atlasına (GEPA) göre, ülkemizin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2741,07 sa/yıl; ortalama yıllık toplam ışınım şiddeti 1527,46 kWsa/m²-yıl olarak gerçekleşmektedir [5]. Tablo 2'de bölgelere göre güneş ışınım değerleri yer almaktadır.

Tablo 2. Ülkemizde bölgelere göre güneş ışınım değerleri [13]

Bölgeler	Güneş Enerjisi Işınımı (<i>kWsa/m² -yıl</i>)	Güneşlenme Süresi (<i>sa/yıl</i>)
Güney Doğu Anadolu	1460	2993
Akdeniz	1390	2956
Doğu Anadolu	1365	2664
İç Anadolu	1314	2628
Ege	1304	2738
Marmara	1168	2409
Karadeniz	1120	1971

Ülkemizin fotovoltaik sistem yatırımlarına uygunluğunu belirlemek amacıyla her bölgeden örnek olarak seçilen Adıyaman, Antalya, Çanakkale, İzmir, Trabzon ve Van illeri için yapılan analizler sonucunda, Antalya'ya yapılan fotovoltaik santral yatırımının diğer illerle karşılaştırıldığında en düşük indirgenmiş enerji maliyeti değerine (87,81 \$/MWsa) ve en yüksek iç karlılık oranı değerine (% 20,47) sahip olduğu, yatırımın kendisini 5 yıl 7 ayda amorti ettiği belirtilmektedir. Duyarlılık analizine göre, Antalya'dan

sonra fotovoltaik santral yatırımın en kârlı olduğu illerin sırasıyla İzmir, Adıyaman, Van ve Çanakkale olduğu bildirilmektedir [14].

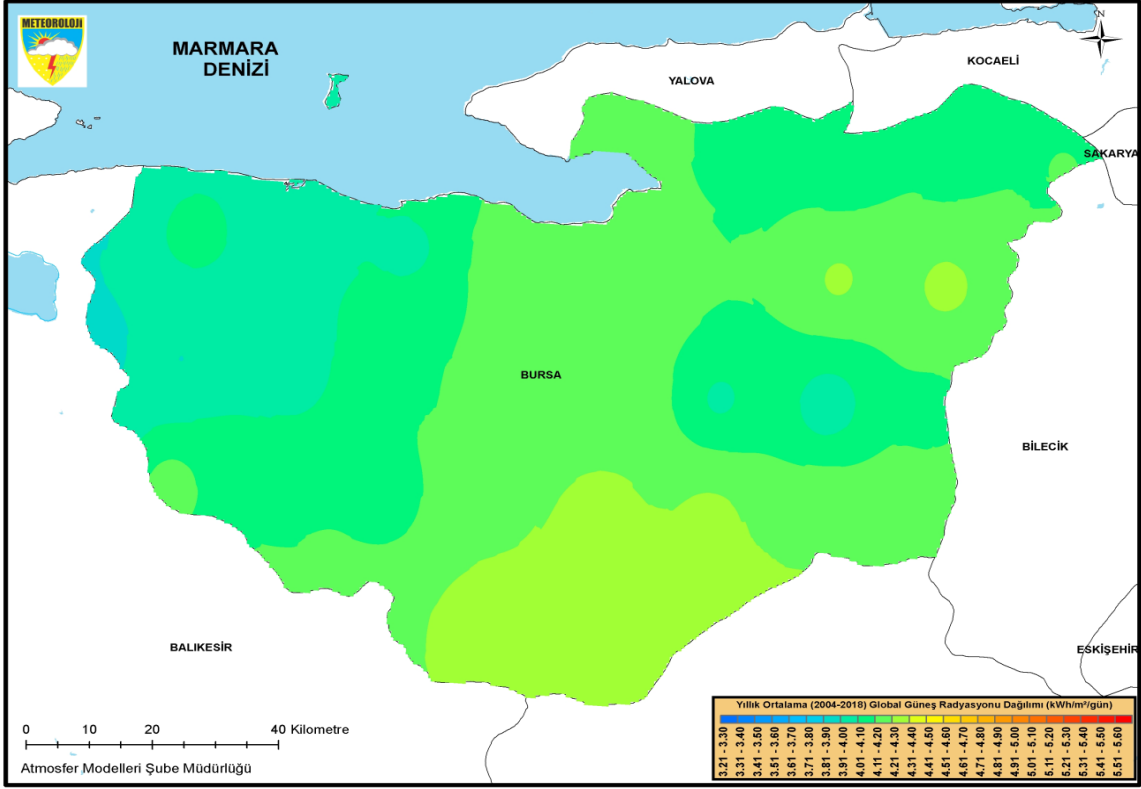
Bursa ilinde mevcut olan yüksek güneş enerjisi potansiyeli, ildeki güneş enerji yatırımlarının artışına yol açmıştır. Kentteki 30 adet hafif raylı sistem istasyon çatısına enerji ihtiyacının karşılanması için uzaktan takip imkanı bulunan güneş panellerinin kurulumuyla yılda yaklaşık 2500000 kWsa enerji üretilmesi planlanmaktadır. Bu sayede 10 yıllık süreç içerisinde 17000000 TL kazanç sağlanacağı öngörülmektedir [15]. Bursa Büyükşehir Belediyesi'nin Uluslararası Güneş Enerjisi Topluluğu ile imzaladığı iş protokolüyle toplamda minimum 2,250 MW kapasiteli güneş enerjisi yatırımı yapılması planlanmaktadır. İki yıl içerisinde tamamlanması öngörülen yatırımlar kapsamında yılda 6500000 kWsa elektrik üretilmesinin planlandığı ve yılda yaklaşık 5250000 TL tasarruf sağlanacağı bildirilmektedir. Ayrıca Bursa'da yer alan Muradiye Su Fabrikası'nın çatısına kurulacak 2,4 MW'lık güneş panelleriyle fabrikanın enerji ihtiyacının tamamının karşılanması planlanmaktadır [16]. Tablo 3'te Bursa'da çeşitli işletmelerdeki güneş enerji santralleri yer almaktadır.

Tablo 3. Bursa'da çeşitli işletmelerdeki güneş enerji santralleri [17]

Santral Adı	İlçe	Güç (MW)
Soğuksu Güneş Enerji Santrali		7,00
Olca Salça Bursa Güneş Enerjisi Santrali	Karacabey	1,00
Beybi Plastik Bursa Güneş Enerjisi Santrali	Kestel	0,85
Özlüce Atıksu Arıtma Güneş Santrali	Nilüfer	0,22
Hibrid Otomotiv Güneş Enerjisi Santrali		0,18
Gürsu Belediyesi Güneş Enerji Santrali	Gürsu	0,093
İnegöl Mediha-Hayri Çelik Fen Lisesi Güneş Enerjisi Tesisi	İnegöl	0,023
Bursa'daki diğer lisanssız güneş enerjisi santralleri		53

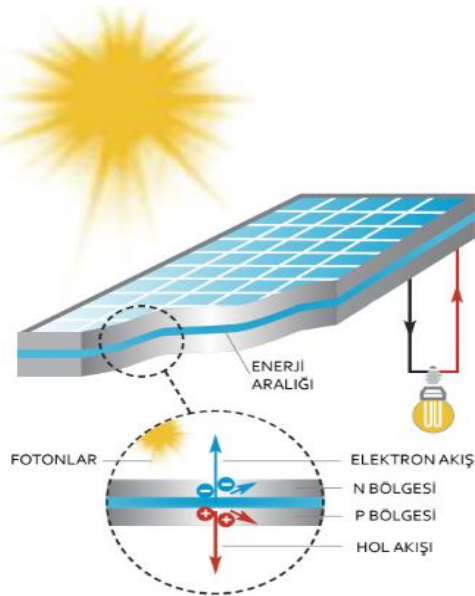
III. MATERYAL VE METOT

Bursa ili 40° boylam ve 28 – 30° enlem daireleri arasında ülkenin en gelişmiş bölgesi konumundaki Marmara Bölgesi'nde yer almaktadır. Toplam 11027 km²'lik alana sahip olan ilin 17 ilçesi, 230 beldesi ve 659 köy yerleşimi bulunmaktadır. Kuzeyde Marmara Denizi'yle 135 kilometrelik bir kıyı şeridi bulunmaktadır. Toplam alanın %17'sini ovalar, yaklaşık %35'ini dağlar kaplamaktadır. Kuzeyde Marmara Denizi'nin yumuşak ve ılık iklimi yaşanırken güneyde Uludağ'ın sert iklimi etkili olmaktadır. İlde yaşanan en sıcak aylar temmuz ve eylül olurken, en soğuk aylar ise şubat ve mart olmaktadır [18]. İlin 2020 yılı nüfusu 3101833'tür [19]. Şekil 1'de Bursa ili güneş radyasyon dağılımı haritası yer almaktadır.



Şekil 1. Bursa ili güneş radyasyon dağılımı haritası [20]

Güneş enerjisinden elektrik üretimi için yoğun olarak kullanılan yarı iletken maddeler olan güneş pilleri fotovoltaik ilkeye göre çalışmakta olup, üzerlerine düşen ışık, uçlarında potansiyel fark oluşturarak güneş ışığının doğrudan elektrik enerjisine dönüştürülmesine olanak sağlamaktadır [21]. Tipik bir güneş pili, iki ya da daha fazla ince yarı iletken katmandan meydana gelir. Yarı iletken olarak genellikle silikon tercih edilmektedir. Enerji eldesini arttırmak için birden fazla güneş pilinin bir araya getirilmesi ile güneş panelleri, panellerin birlikte kullanımı ve diğer bileşenlerin eklenmesi ile de güneş paneli sistemleri meydana gelmektedir [22,23]. Güneş pillerinde üretilen gerilim şiddeti yarı iletken malzemeye bağlıken, akım şiddeti gelen ışık şiddetine bağlıdır [8]. Şekil 2’de güneş pillerinden elektrik üretim modeli yer almaktadır.



Şekil 2. Güneş pillerinden elektrik üretim modeli [24]

Çalışma kapsamında enerji ihtiyacı karşılanacak ofiste bulunan elektrikli cihazların harcadığı enerji değerlerine göre tasarlanan sisteme ait sayısal hesaplamalarda kullanılan denklemler Eşit. 1-16'da verilmiştir.

$$\text{Cihazın harcadığı Enerji (W)} = 1 \text{ saatte harcanan enerji (w)} * \text{Çalışma süresi} \quad (1)$$

$$\text{Güneş paneli alanı (GPA)} = \text{Panel eni} * \text{Panel boyu} \quad (2)$$

$$\text{Güneş Paneli Verimi}(\eta_p) = \frac{P_{\max}}{GPA \times H} * 100 \quad (3)$$

Denklemdaki parametreler;

Panel maksimum gücü (P_{\max}),
Işınım değeri (H),
Güneş paneli alanı (GPA) değerleridir.
Panel maksimum gücü;

$$P_{\max} = I_{\max} * V_{\max} \quad (4)$$

Formülde H (ışınım değeri) en düşük değer olan aralık ayı değeri alınmıştır.

Güneş panelinin (GP) verimi hesaplandıktan sonra ise sistem verimi hesaplanmaktadır.

$$\eta_{\text{sistem}} = \eta_{\text{GP}} \times \eta_{\text{akü}} \times \eta_{\text{inverter}} \quad (5)$$

Formülde η_{GP} , $\eta_{\text{akü}}$ ve η_{inverter} değerleri sırasıyla GP, akü ve invertere ait verimlerdir ve bu değerlerin çarpımıyla sistem verimi hesaplanmaktadır. Değerler yüzdeler olarak alınıp hesaplanmıştır.

Sistem verimi hesaplandıktan sonra panel sayısı belirlenir.

$$\text{Panel sayısı} = \frac{\text{Günlük Enerji İhtiyacı} \times \eta_{\text{sis}}}{P_{\max} \times \text{Günlük Güneşlenme Süresi}} * 100 \quad (6)$$

Sistem için gereken akü sayısı (AS);

$$AS = \frac{\text{Günlük Enerji İhtiyacı} \times \text{Akü kayıpları}}{\text{Akü gerilimi} \times \text{Akü kapasitesi}} \quad (7)$$

Akü sayısı hesaplandıktan sonra inverter (çevirici) kapasitesi hesaplanır. Kapasite hesabı sırasında çevirici kayıpları %10 olarak sisteme dahil edilir. Çevirici (İnverter) kapasitesi (ÇK);

$$\text{ÇK} = \frac{\text{Günlük Enerji İhtiyacı} \times \text{Çevirici kayıpları}}{\text{Günlük güneşlenme süresi}} \quad (8)$$

Akülerin sistem içerisinde düşük yada yüksek şarjdan korunması için kullanılan şarj regülatörü kapasitesi (ŞRK);

$$\text{ŞRK} = \frac{\text{Günlük Enerji İhtiyacı}}{\text{Günlük güneşlenme süresi}} \quad (9)$$

Güneş panelleri veriminin artışında bölgenin bulunduğu enlem derecesiyle panellerin yerleştirilme açısı arasında önemli bir ilişki vardır.

$$\beta = \emptyset - d \quad (10)$$

\emptyset ; enlem açısını, d ; deklinasyon açısını ifade etmektedir. Deklinasyon açısı, dünyanın dönme ekseninin yörünge düzleminin normali ile yaptığı $23^{\circ}27'$ lik açıdan ileri gelmektedir. Bursa'nın enlem açısı $40^{\circ}C$ 'dir.

$$d = 23,45 * \sin \frac{360(n + 284)}{365} \quad (11)$$

'n' değeri yılın günlerini ifade etmektedir. Ekinoks dönemi olarak alınır. Sistemde 21 Aralık tarihinde $n=21$ alınmıştır. β değeri $60,13^{\circ}C$ olarak hesaplanmıştır.

Enerji sisteminin maliyeti, ilk yatırım, işletme ve bakım maliyetlerinin toplanması ile belirlenmektedir. Tasarlanan sistemde elde edilen elektrik enerjisinin üretim maliyetini hesaplayabilmek için sistem masrafları bilinmelidir. Sistemde W_{sa} başına enerji birim fiyatı;

$$g = \frac{C_k + C_m + C_f}{E} = \frac{C_t}{E} \quad (12)$$

Bu denklemde, C_k yıllık serbest sermaye veya yatırım giderleri, C_m yıllık işletme ve bakım giderleri, C_f yıllık yakıt giderleri, C_t yıllık toplam giderleri ve E yıllık elektrik enerjisi üretimini ifade etmektedir.

$$C_k = I_{km} * a \quad (13)$$

Bu denklemde a değeri amortisman katsayısını, I_{km} kurulum ve montaj faaliyetlerini ifade etmektedir.

$$a = \frac{(1 + i)^n i}{(1 + i)^n} - 1 \quad (14)$$

14 numaralı denklemde a değeri amortisman katsayısını, n değeri toplam ömür süresini, i değeri faiz katsayısını ifade etmektedir.

Faiz katsayısı % 10 olarak alınmıştır.

Toplam ömür süresi 25 yıl alınmıştır.

Sistemin toplam maliyeti belirlendikten sonra üreteceği enerji miktarı bulunur. Üretilen bir yıllık enerji toplamı;

$$E = I \times A \times E_m \times E_s \times 365 \quad (15)$$

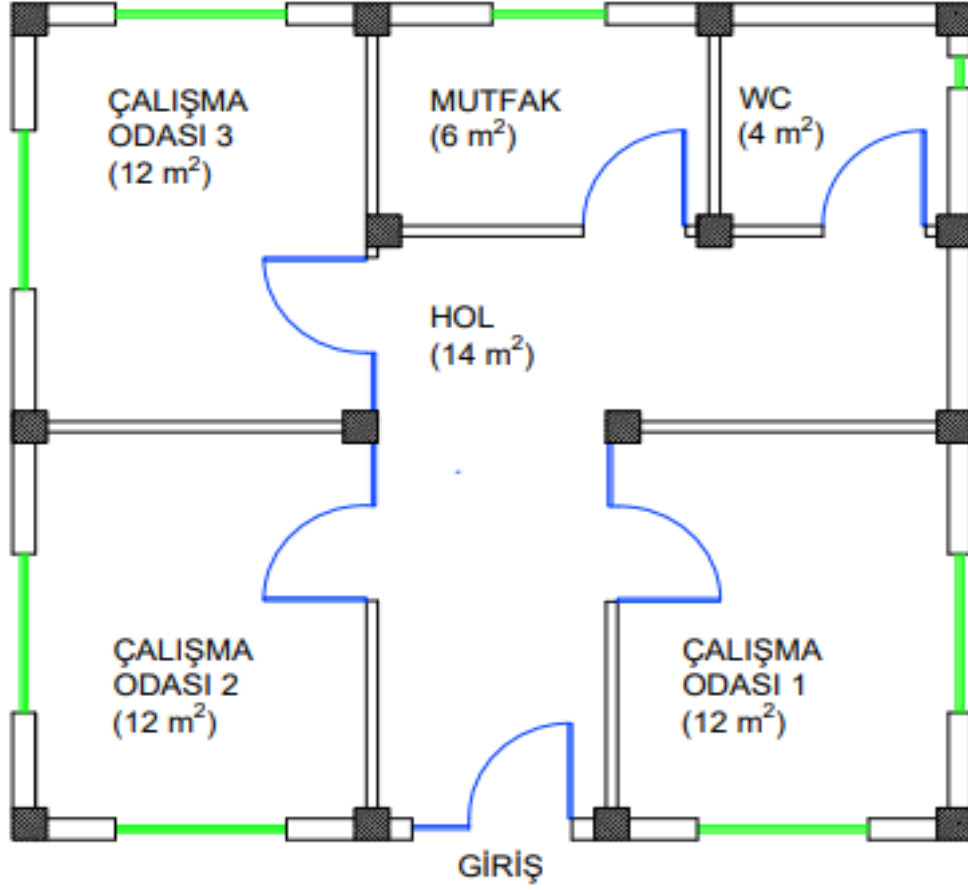
I = yıllık ortalama ışınma

A = güneş paneli yüzey alanı

E_m = panel verimliliği

E_s = sistemin toplam verimi

Şekil 3'te incelenen ofise ait kat planı yer almaktadır. Kat planı incelendiğinde ofiste 3 adet 12 m^2 büyüklüğünde çalışma odası, 6 m^2 büyüklüğünde mutfak, 4 m^2 büyüklüğünde WC-Lavabo, 14 m^2 büyüklüğünde hol alanının yer aldığı görülmektedir. Ofiste doğal aydınlatmanın sağlanması amacıyla çalışma odalarında cam kapılar tercih edilmiş; ayrıca odalarda pencere alanları geniş tutulmuştur.



Şekil 3. İncelenen ofise ait kat planı

IV. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışma kapsamında Meteoroloji Genel Müdürlüğü verilerinden derlenen Bursa iline ait 1928-2020 yılları arası aylık ortalama sıcaklık ve 2004-2018 yılları arası aylık ortalama güneş radyasyon değerleri Tablo 4’te verilmiştir.

Tablo 4. Bursa iline ait sıcaklık güneş ışınımı ve güneşlenme süresi değerleri [20,25]

Aylar	Ortalama Sıcaklık (°C)	Ortalama Işınım (kW/m ²)	Ortalama Güneşlenme Süresi (sa)
Ocak	5,3	1,93	2,9
Şubat	6,2	2,44	3,5
Mart	8,4	3,44	4,3
Nisan	12,9	4,85	5,9
Mayıs	17,7	5,84	7,8
Haziran	22	6,68	9,8
Temmuz	24,5	6,34	10,7
Ağustos	24,3	6,11	10
Eylül	20,3	4,61	7,9
Ekim	15,6	3,10	5,6
Kasım	11,1	2,19	4,1
Aralık	7,3	1,65	2,9

Güneş enerjisi kurulumunun gerçekleştirileceği ofiste 1 adet buzdolabı, 1 adet bulaşık makinesi, 3 adet bilgisayar, 1 adet kablosuz modem, 1 adet klima, 1 adet hava nemlendirme cihazı, 1 adet telefon, 1 adet mürekkepli yazıcı, 1 adet çay makinesi, 1 adet kahve makinesi, 1 adet televizyon ve aydınlatma için kullanılan 5 adet ampul bulunmaktadır.

Ofis, haftanın 5 günü faaliyet göstermekte ve günde 8 saat çalışmaktadır. Buzdolabı 7/24 çalışmaktadır. Bulaşık makinesi ve hava nemlendirme cihazı günde yaklaşık 1 saat olmak üzere haftada toplam 5 saat çalışmakta ve enerji harcamaktadır. Çalışılan günlerin aktif saatlerinde bilgisayar, modem, klima ve telefon hiç kapatılmamakta, bu nedenle haftada 5 gün (40 saat) çalışmaktadır. Yazıcı ise ihtiyaç olan zamanlarda resmi belgeleri yazdırmak için kullanılmakta ve 1 haftadaki aktiflik süresi 10 saattir. Aydınlatma için kullanılan ampuller gündüz saatlerinde kullanılmamakta olup, günde 2 saat olmak üzere akşam saatleri kullanılmaktadır. Bu da haftada 10 saate tekabül etmektedir. Çay ve kahve makinelerinin haftalık çalışma saati yaklaşık 8 saattir. Televizyon ise günde yaklaşık 1 saat kullanılmakta olup, 1 hafta içindeki enerji kullanım süresi 5 saattir. Tablo 5'te çalışma ofisindeki elektrikli cihazların harcadığı elektrik enerjisi miktarları yer almaktadır.

Tablo 5. Çalışma ofisindeki elektrikli cihazların harcadığı enerji miktarları [26]

Elektrikli Cihaz	Adet	Haftalık Çalışma Süresi	Harcanan Güç (Sa)	Harcanan Toplam Güç (Haftalık) (W)
Buzdolabı	1	7 gün (168 sa)	62 Watt	10416
Bulaşık Makinesi	1	5 sa	900 Watt	4500
Bilgisayar	3	5 gün (40 sa)	175 Watt	21000
Kablosuz Modem	1	5 gün (120 sa)	15 Watt	1800
Klima	1	5 gün (40 sa)	800 Watt	32000
Hava Nemlendirme Cihazı	1	5 sa	40 Watt	200
Telefon	1	8 sa	6 Watt	48
Yazıcı	1	10 sa	20 Watt	200
Çay Makinesi	1	8 sa	750 Watt	6000
Kahve Makinesi	1	8 sa	800 Watt	6400
Televizyon	1	5 sa	116 Watt	580
Aydınlatma (ampul)	5	10 sa	20 Watt	1000
Haftalık Enerji İhtiyacı				84144
Günlük Enerji İhtiyacı				12021

Çalışma ofisinin elektrik ihtiyacını karşılamak için tasarlanan enerji sisteminde; Tommatech 275 watt polikristal güneş paneli tercih edilmiştir. Bu paneller ilgili özellikler Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. Tommatech 275 Watt güneş paneli için teknik veriler

60 adet 156×156 mm polikristal güneş pillerinin seri bağlanmasıyla oluşur. Bu pillerin garanti süresi 25 yıldır.

Panel Modeli	P _{max}	V _{mp}	I _{mp}	I _{sc}	V _{oc}	Fiyat
Tommatech 275 W	275W	31,30V	8,79A	9,31A	38,40V	1025 TL

Projede yerli üretim olan Jel Star 200 Amper nano-karbon jel akü tercih edilmiştir. Bu akü ile ilgili özellikler Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 7. Jel Star 200 Amper nano-karbon jel akü modeli için teknik veriler

Akü Modeli	Firma	Kapasite	Fiyat
JEL STAR 200	EKONOMİK SOLAR	200 Ah	2600,00 TL

Tasarlanan sistemde belirlenen kapasite değerine göre İnverter – Tommatech 700 Watt / 24 Volt tam sinüs inverter kullanılmıştır. Tablo 8’de kullanılan inverter’e ait teknik özellikler verilmiştir.

Tablo 8. Tommatech 700 Watt / 24 Volt tam sinüs inverter’in teknik özellikleri

Ürün Özellikleri	
Normal Çıkış Gücü :	700 Watt
Sürekli Çıkış Gücü	700Watt
Maksimum Güç	1400 W
Normal Giriş Volt	12 Volt DC / 24 Volt DC
Normal Çıkış Volt	220 V AC
Frekansı	50 HZ
Çıkış Düzeni	+ - % 5
Voltaj Alarm Aralığı	10,5 + / - 0,5 Volt
Kesme Voltaj Aralığı	10,5 + / - 0,5 Volt
Verimlilik Oranı	85 – 90 %
Fiyat	700,00TL

Şarj Regülatör Kapasitesi için hesaplanan değere uygun olarak Tommatech 10 Amper 12 / 24 Volt led şarj regülatörü kullanılmıştır. Tablo 9’da kullanılan şarj regülatörüne ait teknik özellikler verilmiştir.

Tablo 9. Tommatech 10 Amper 12 / 24 Volt led şarj regülatörü teknik özellikleri

Parametreler	
Maksimum Çalışma Akımı	10 Amper
Sistem Voltajı	12 Volt / 24 Volt
Akü Maks. Şarj Voltajı	13,7 Volt / 27,4 Volt
Akü Düşük Voltaj Koruması	10,7 Volt / 21,4 Volt
Fiyat	200,00TL

Kurulacak olan güneş enerji sistemine ait ekipmanların maliyet değerleri Tablo 10’da yer almaktadır.

Tablo 10. Güneş enerji sistemine ait ekipmanların maliyet değerleri

Sistem Ekipmanları	Adet	Birim Fiyatı	Tutar
Tommatech 275 Watt Polikristal Güneş Paneli	11	1025 TL	11275 TL
Jell Star 200	1	2600 TL	2600 TL
Tommatech 700 Watt / 24 Volt Tam Sinüs İnverter	1	700 TL	700 TL
Tommatech 10 Amper 12 / 24 Volt Led Şarj Regülatörü	1	200 TL	200 TL
Ara Toplam			14775 TL
Kurulum Maliyeti (%20)			2955 TL
Toplam Tutar			17730,00 TL

Bu çalışmaya benzer olarak Şanlı ve Dilsel [7] tarafından Mersin İli'nin çeşitli bölgelerinde ofis amaçlı kullanılan şantiye konteynerlerinin enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla güneş pili sistemi tasarımı ve maliyet analizi gerçekleştirilmiştir. Yapılan maliyet analizi sonucunda yatırım gideri 1901,58 TL, üretilecek yıllık toplam enerji miktarı 162877,75 W, enerji birim fiyatı ise 0,01384 TL/Wsa olarak belirlenmiştir.

V. SONUÇ

Günümüzde refah seviyesine paralel olarak artan enerji ihtiyacının kesintisiz ve sürdürülebilir şekilde sağlanması, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını gündeme getirmiştir. Bu kaynaklar arasında barındırdığı avantajlarla en çok uygulama alanı bulan güneş enerjisi, binaların enerji ihtiyacının karşılanması noktasında da önemli bir araç olma niteliği taşımaktadır.

Bu çalışmada, Bursa'da bir çalışma ofisinin elektrik ihtiyacını güneş pilleri ile sağlamak amacıyla güneş pili sistemi tasarlanmıştır. Tasarımda güneşlenme süresinin en az olduğu aralık ayı verileri kullanılarak enerjinin yıl boyunca eksiksiz olarak elde edilmesi amaçlanmıştır. Oluşturulan sistemin yıllık serbest sermaye veya yatırım giderleri 1953,14 TL (225 \$) olarak bulunmuştur. Sistemin üreteceği yıllık elektrik miktarı tek panel için 17998 Wsa, tüm paneller için 197978 Wsa olarak hesaplanmıştır. Enerjinin birim fiyatı 0,0144 TL/Wsa (0,00166 \$/Wsa), yıllık toplam gider ise 2853,14 TL (328,7 \$) olarak belirlenmiştir.

TEDAŞ'ın 2021 yılına ait ticarethane tipi fatura dökümü incelendiğinde, birim elektrik tüketim fiyatının 0,977 TL/kWsa olduğu görülmüştür [27]. Tasarlanan ofisin günlük enerji tüketimi 12,021 kWsa, yıllık enerji tüketimi ise 4387,665 kWsa olarak hesaplanmıştır. Bu durumda ofisin yıllık klasik enerji tüketim değeri 4286,75 TL'ye (493,87 \$) tekabül etmekte olup, panel sisteminin kurulmasıyla yıllık 1433,61 TL'lik (165,16 \$) tasarruf sağlanacağı belirlenmiştir. Kurulması planlanan yenilenebilir enerji sistemine ait toplam maliyet 17730 TL (2042,63 \$) olarak hesaplanmış ve bu değer sağlanacak tasarrufla kendisini 12,4 yılda amorti edebileceği belirlenmiştir.

Ülkemiz bulunduğu coğrafik konum dolayısıyla yüksek güneş enerji potansiyeli barındırmaktadır. Fakat güneş enerjisi sistemlerinin kurulum ve yatırım masraflarının yüksek olması, güneş enerjisinden faydalanma noktasında dezavantaj oluşturmaktadır. Bu noktada devlet desteği ile yapılacak yatırım ve altyapı çalışmalarıyla güneş enerjisi kullanımının yaygınlaşması sağlanabilecektir. Yapılacak enerji teşvikleriyle halkın bu enerji kaynağını kullanması konusunda yüksek katılım sağlanması ile ülke genelinde güneş enerjisinden yararlanma oranının artacağı öngörülmektedir. Yatırımların uzun vadede ülke ekonomisine yapacağı katkıyla enerjide dışa bağımlılığın azalması ve çevre sağlığının korunmasının sağlanabileceği düşünülmektedir.

TEŞEKKÜR: Bu çalışmaya katkılarından ötürü Gülçin KESKİN ve Burcu DÖNMEZ'e teşekkür ederiz.

VI. KAYNAKLAR

- [1] A. Acaravcı ve S. Erdoğan, “Yenilenebilir enerji, çevre ve ekonomik büyüme ilişkisi: seçilmiş ülkeler için ampirik bir analiz,” *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İİBF Dergisi*, c. 13, s. 1, ss. 53-64, 2018.
- [2] Z. Garip, M. E. Çimen ve A. F. Boz, “Meta-sezgisel algoritmalar kullanarak güneş pili modellerinin parametre çıkarımında karşılaştırmalı performans analizi,” *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, c. 36, s. 2, ss. 1133-1144, 2021.
- [3] G. Kum, M. E. Sönmez ve M. Karabaş, “Gaziantep ilinde güneş enerjisi potansiyelinin Analitik Hiyerarşi Süreci Yöntemi (AHP) ile belirlenmesi,” *Coğrafya Dergisi*, c. 0, s. 39, ss. 61-72, 2019.
- [4] TEİAŞ, “Aralık 2020 Kurulu Güç Raporu,” Yük Tevzi Dairesi Başkanlığı, Türkiye, 2020.
- [5] T. C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2021, 3 Haziran). *Güneş*. [Çevrimiçi]. Erişim:<https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-gunes>.
- [6] M. Altın. (2021, 3 Haziran). *Binaların enerji ihtiyacının Fotovoltaik (PV) bileşenli cepheler ile azaltılması*. [Çevrimiçi]. Erişim:<http://www.catider.org.tr/pdf/sempozyum/Bil7.pdf>
- [7] B. G. Şanlı ve E. T. Dilsel, “Mersin İli'nde kullanılan yer değiştirebilir ofis-konteyner elektrik ihtiyacının güneş pili sistemi ile karşılanması ve maliyet analizi,” *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 33, s. 2, ss. 93-100, 2018.
- [8] M. Arı, G. Bilgin ve O. Özcan, “Alternatif enerji kaynaklarından güneş enerjisinin günlük hayatta kullanılabilirliği ve güneş enerjisi ile çalışan piknik sepeti tasarımı,” *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Özel Sayı 1, ss. 163-171, 2017.
- [9] A. Çiftçi, İ. Kırbaş ve B. İşyarlar, “Güneş pili kullanılarak burdur'da bir evin ortalama elektrik ihtiyacının karşılanması,” *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 5, s. 1, ss. 14-17, 2014.
- [10] T. Biçen, “Güneş panelleri ile elektrik üretiminin teknik ve ekonomik analizi: Bursa örneği,” Yüksek lisans Tezi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa, Türkiye, 2018.
- [11] Anonim. (2021, 8 Haziran). *Ülkelere göre güneş enerjisi*. [Çevrimiçi]. Erişim:<https://www.enerjiatlasi.com/ulkelere-gore-gunes-enerjisi.html>.
- [12] K. M. Aksungur, M. Kurban ve Ü. B. Filik, “Türkiye'nin farklı bölgelerindeki güneş ışınım verilerinin analizi ve değerlendirilmesi,” *5. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu*, Kocaeli, Türkiye, 2013, ss.1-4.
- [13] E. Özgür. (2021, 9 Haziran). *Türkiye'de güneş enerjisi*. [Çevrimiçi]. Erişim:https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/TEG-2020_12_T%C3%BCrkiye%27de%20G%C3%BCne%C5%9F%20Enerjisi_Evren%20%C3%96zg%C3%BCr.pdf.

- [14] S. Cebeci, “Türkiye’de güneş enerjisinden elektrik üretim potansiyelinin değerlendirilmesi,” Uzmanlık Tezi, T.C. Kalkınma Bakanlığı, Ankara, Türkiye, 2017.
- [15] M. Yılmaz. (2021, 7 Haziran). *Uzaktan takip edilebilen, bakım ve onarımı kolay güneş enerji sistemlerine ilgi artıyor.* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.aa.com.tr/tr/ekonomi/uzaktan-takip-edilebilen-bakim-ve-onarimi-kolay-gunes-enerji-sistemlerine-ilgi-artiyor/2163098>.
- [16] Anonim. (2021, 8 Haziran). *Bursa Büyükşehir Belediyesi enerji ihtiyacını “güneşten” karşılayacak.* [Çevrimiçi]. Erişim: https://temizenerji.org/2020/09/30/bursa-buyuksehir-belediyesi-enerji-ihciyacini-gunesten-karsilayacak/?gclid=Cj0KCQjwnueFBhChARIsAPu3YkT0MZxQi77OQNdoBw_ty6gV5c3rxBh8QJ7jgsT5MQ9LO6CwtMUCDv8aAr5uEALw_wcB.
- [17] Anonim. (2021, 4 Haziran). *Bursa güneş enerjisi santralleri.* [Çevrimiçi]. Erişim:<https://www.enerjiatlası.com/gunes-enerjisi-haritasi/bursa>.
- [18] T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı. (2021, 4 Haziran). *Bursa ili genel bilgiler.* [Çevrimiçi]. Erişim:<https://bursa.ktb.gov.tr/TR-70229/cografya.html>.
- [19] Anonim. (2021, 4 Haziran). *Bursa 2020 nüfusu.* [Çevrimiçi]. Erişim:<https://www.nufusu.com/il/bursa-nufusu>.
- [20] Anonim. (2021, 6 Haziran). *Bursa ili güneş radyasyonu.* [Çevrimiçi]. Erişim:https://www.mgm.gov.tr/kurumici/radyasyon_iller.aspx?il=bursa.
- [21] G. Görel ve B. Cengil, “Tarımsal sulama sistemlerinde yakıt pili birleşik enerji sistemlerinin kullanım olanakları,” *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, c. 5, s. 2, ss. 128-132, 2012.
- [22] S. Ç. Çolak, “Fotovoltaik paneller yardımı ile güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretiminin maliyet analizi ve gelecekteki projeksiyonu,” Yüksek lisans Tezi, Makine Mühendisliği Bölümü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2010.
- [23] A. Karakan ve Y. Oğuz, “Mevcut yapılara uygulanan fotovoltaik sistemlerin incelenmesi: Afyonkarahisar örneği,” *2nd International Sustainable Buildings Symposium*, Ankara, Türkiye, 2015, ss. 887-897.
- [24] Anonim. (2021, 3 Haziran). *Güneş panelleri nasıl çalışır?* [Çevrimiçi]. Erişim:http://www.kocsanenerji.com/tr/faydali_bilgiler-15/gunes_panelleri_nasil_calisir_-66.html.
- [25] Anonim. (2021, 6 Haziran). *Bursa ili sıcaklık verileri.* [Çevrimiçi]. Erişim:<https://mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=BURSA>.
- [26] Anonim. (2021, 6 Haziran). *Elektrikli aletlerin güç tüketim değerleri.* [Çevrimiçi]. Erişim:<https://solaravm.com/elektrikli-aletler-kac-watt-harcari-ne-kadar-elektrik-harcari#Elektrikli%20Alet%20Elektrik%20Harcamas%C4%B1%20Hesaplama%20Form%C3%BCI%C3%BC>.
- [27] UEDAŞ, “Ticarethane Tip Elektrik Faturası,” Limak Enerji, Türkiye, 2021.



Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

Analysis of Economic and Epidemic Performances of Countries During the Covid-19 Pandemic Period

 Yusuf ŞAHİN^{a,*},  Merve KILINÇ YILMAZ^b

^a Department of Business Administration, Faculty of Economics and Administrative Sciences, Burdur Mehmet Akif Ersoy University, Burdur, TURKEY

^b Department of Business Administration, Institute of Social Sciences, Burdur Mehmet Akif Ersoy University, Burdur, TURKEY

* Corresponding author's e-mail address: ysahin@mehmetakif.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.934715

ABSTRACT

This study aims to analyze the performance of countries in the COVID-19 period. The main motivation of the study is to make a more realistic assessment by taking into account the epidemic information and health system-related features, as well as government precaution (Stringency Index) and economic criteria. In this way, the characteristics of the countries that stand out in the fight against the pandemic were tried to be determined. Within the scope of the study, the CRITIC method, which is widely used and stands out as an objective method, was preferred for weighting the criteria. Country performances were analyzed separately using weighted and unweighted criteria. The Grey Relational Analysis (GRA) method, together with weighted and unweighted criteria, was used to determine country rankings. When the results are examined, it has been observed that the level of economic prosperity and the measures taken against the pandemic has brought countries directly to an advantageous point. Countries with a relatively low level of economic prosperity compared to other countries, unfortunately, ranked lower in the ranking. On the other hand, countries with elderly populations were able to find a place in the lower ranks due to high mortality rates despite their extensive economic opportunities. Although the weighting of the criteria affects the country rankings, there has been no change in the countries in the top two.

Keywords: COVID-19 pandemic, CRITIC method, Grey relational analysis.

Ülkelerin Covid-19 Pandemisi Dönemindeki Ekonomik ve Epidemik Performanslarının Analizi

ÖZ

Bu çalışma, ülkelerin COVID-19 dönemindeki performansını analiz etmeyi amaçlamaktadır. Çalışmanın temel motivasyonu, salgın bilgileri ve sağlık sisteminin özelliklerinin yanı sıra hükümet tedbiri (Kısıtlama İndeksi) ve ekonomik kriterleri de dikkate alarak daha gerçekçi bir değerlendirme yapmaktır. Böylelikle pandemiyle mücadelede öne çıkan ülkelerin özellikleri analiz edilmeye çalışılmıştır. Çalışma kapsamında kriterlerin ağırlıklandırılmasında yaygın olarak kullanılan ve nesnel bir yöntem olarak öne çıkan CRITIC yöntemi tercih edilmiştir. Ülke performansları ise ağırlıklı ve ağırlıksız kriterler kullanılarak ayrı ayrı analiz edilmiştir. Ülke sıralamalarını belirlemek için ağırlıklı ve ağırlıksız kriterlerle birlikte Gri İlişkisel Analiz (GİA) yöntemi kullanılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde, ekonomik refah düzeyinin ve pandemiye karşı alınan önlemlerin ülkeleri doğrudan avantajlı bir noktaya getirdiği görülmüştür. Diğer ülkelere kıyasla nispeten düşük bir ekonomik refah seviyesine sahip ülkeler, maalesef sıralamada daha alt sıralarda yer aldı. Öte yandan yaşlı nüfusa sahip ülkeler, geniş ekonomik fırsatlarına rağmen yüksek ölüm oranları nedeniyle alt sıralarda yer bulabildiler. Kriterlerin ağırlıklandırılması ülke sıralamalarını etkilemekle birlikte ilk ikide yer alan ülkelerde herhangi bir değişiklik olmamıştır.

Anahtar kelimeler: COVID-19 pandemisi, CRITIC yöntemi, Gri ilişkisel analiz.

I. INTRODUCTION

Many epidemics caused by viruses have afflicted the world since the early twentieth century. Despite the Great Influenza Pandemic (1918-1919), there is currently no adequate prevention and clinical care a century later. The social, sociological, and economic consequences of the world's instability and depression are being felt profoundly all over the world [1]. The COVID-19 virus, which first emerged in the People of the Republic of China and then spread rapidly to other countries, affected millions of people worldwide and increased its severity day by day [2]. COVID-19 brought with it global economic shockwaves affecting stock markets, consumer confidence, and global supply chains [3]. Since the effect of the virus is continuing, the damage it causes to the world is not fully known. However, scientists examine this issue from different viewpoints and the literature is expanding rapidly in this context.

The different economic and socio-demographic levels of the countries prevent a homogeneous process of progress or stopping the epidemic. While economically and socio-demographically strong countries determine their precautions and policies against the epidemic with firm steps, countries with relatively weaker ones implement their precautions and policies to save more days. This situation is particularly effective in vaccination studies. On the map in Figure 1, the number of vaccines per 100,000 people in different countries is shown.

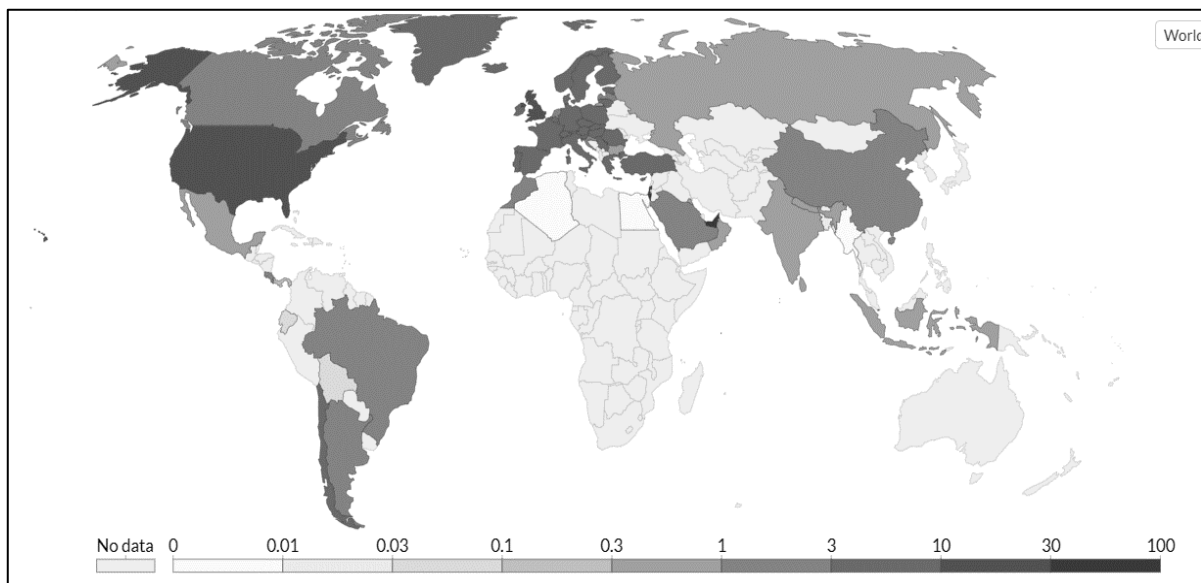


Figure 1. The number of vaccines per 100,000 people in countries on 7 February 2021 [4]

In the map in Figure 1, the light color scale refers to countries where vaccination information is not shared or has a minimum level of vaccine, while the dark color scale corresponds to countries where the number of vaccines per 100,000 people is relatively higher. When the map is examined, it is seen that there is a significant positive difference in regions that differ economically from other countries of the world such as North and South America, Europe, China, Russia, India, Saudi Arabia, Israel, and the United Arab Emirates. This asymmetrical situation is also present for other factors.

Numerous social and economic criteria have been attributed as potential determinants of the variation observed in coronavirus outcomes during the first wave of the pandemic. Some examples are the aging population (Gardner et al., 2020), an underdeveloped healthcare system [5], and the role of the natural environment [6], [7]. The difference in socio-economic factors also affects the reaction of countries against the COVID-19 pandemic with a high correlation. Even maintaining hygiene conditions is still a major problem for many countries. Unfortunately, the population of people who cannot reach enough water even in their daily lives is too high to underestimate. When African countries have not yet fully met their water needs and Scandinavian countries with high welfare levels, it is obvious that they will

not be able to achieve the same success in the spread and control of COVID-19. Undoubtedly, the results of the process that triggers a large number of needs, from masks to hospital equipment, drug and vaccine supply to citizen-government support, are not the same in every country.

In this study, the performance of 18 countries in the COVID-19 process was analyzed by considering different factors. Finally, it was investigated whether the asymmetry, which exists in various conditions, affects the pandemic process. This paper is structured as follows. Section 1. A examines the pandemic process and its effect on countries. Section 2 reviews related literature. Section 3 includes the data set and methodology. Section 4 gives out the application and findings. Finally, section 5 concludes this paper.

A. THE IMPACT OF THE EPIDEMIC PERIOD

Starting from Wuhan city of China, it has brought different social and economic consequences according to the outbreaks experienced until today. Epidemic as of April 2021, the total number of cases exceeded 130 million worldwide, while approximately 2.84 million people died [8]. Due to its high spreading rate, it has caused life in the world to be almost paralyzed. In addition to the health crisis brought on by COVID-19, many psychological consequences of people living under long quarantine conditions have begun to be observed. Figure 2 shows the change in the number of cases approved for different countries since 2019.

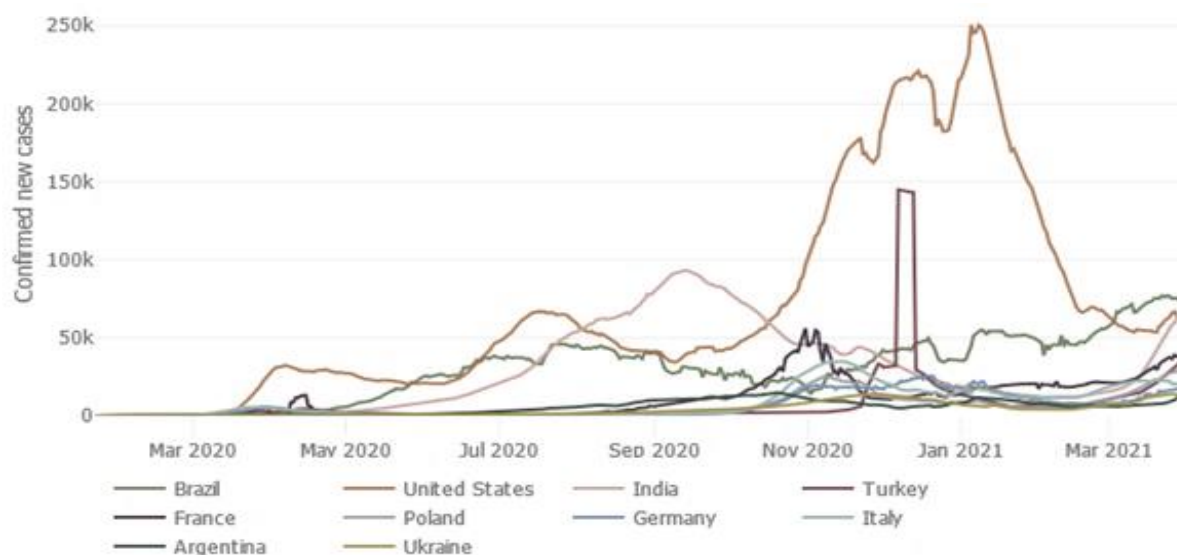


Figure 2. Change in the number of new confirmed cases (March 2020-April 2021) [8]

The COVID-19 pandemic includes significant differences from the major crises that occur on a global basis. Many countries have faced financial crises as well as health crises, and as a result, a major economic collapse has been experienced. For the first time since the Great Depression, both developed and emerging economies are in a state of recession. In particular, globally synchronized shutdowns and financial adversities have exposed economies to unprecedented shocks. The global spread of the virus has locked health systems and caused widespread social and economic deterioration [1]. Other consequences that make COVID-19 different from the crises experienced are that interest rates have fallen to the lowest levels in history, the world has become much more global than in previous periods, the supply chains are greatly affected and the supply and demand levels are affected accordingly [9]. Many companies have had to reduce or completely stop production due to the difficulties experienced in their supply chains.

The decrease in daily life and human activity has created a domino effect on the world. Tourism has come to a standstill, the scale of production has decreased on a global basis and significantly, and

education has started to be carried out by distance education method in many countries. On the other hand, the epidemic affecting the population over 65 years of age not only damaged the underdeveloped and developing countries but also caused many losses in the developed countries with the elderly population and caused the health systems to become desperate. Although the fact that COVID-19 is continuing at full speed is of course pregnant with new problems every day, the negative consequences of the crisis have already dragged the world into a great recession and economic recession. Figure 3 shows the change in the GDP figures of major economies in 2019 and 2020.

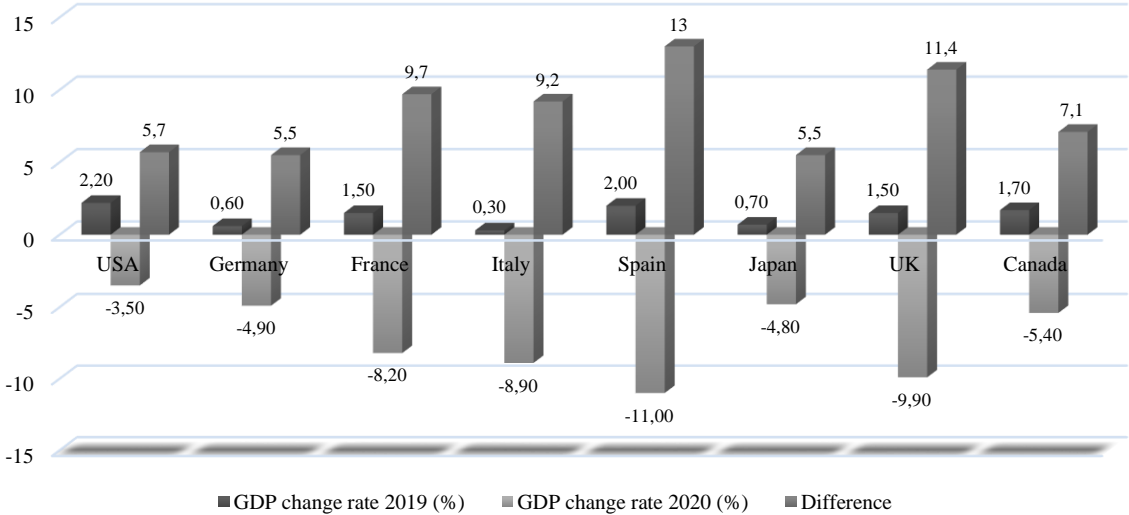


Figure 3. GDP changes rates of advanced economies in 2019 and 2020 [10, 11]

When the GDP change rates of developed economies are analyzed, it is seen that Spain experienced the biggest change. The United Kingdom and France follow Spain. The underlying reasons for this change are undoubtedly significant regressions in various sectors. Figure 4 shows the change in stock returns of major sectors in 2020. As can be seen from the figure, it is seen that the returns of stocks belonging to different sectors were again adversely affected by the COVID-19 crisis.

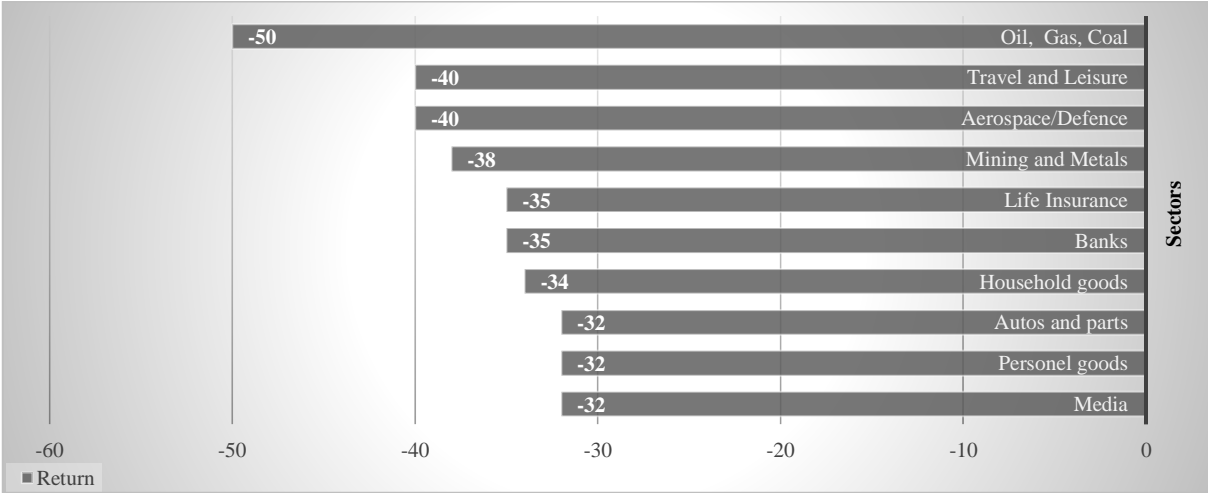


Figure 4. The change of stock returns of major sectors in 2020 [9]

It is seen that the most serious decrease is in the commodity sector, as the decrease in mobility and production causes a significant decrease in the demand for oil, gas, and coal. This is followed by the tourism, defense industry, mining, and metal industry. Contractions in the sectors caused companies to go bankrupt or to cease their activities. Companies that did not go bankrupt or cease their activities directed their staff to work from home and reduced their human resources. On the other hand, companies that do not shrink try to protect their income and expenditure balance by directing their personnel to

unpaid leave. The year 2020 has been a year in which poverty and unemployment took off, people's living standards deteriorated and they lost their financial livelihoods. When the unemployment data of The World Bank is examined, it is seen that the unemployment rate, which was 5.37% in 2019, increased to 6.47% in 2020. This rate is the highest level reached since the '90s. Unemployment rates between 2009 and 2020 around the world are shown in Figure 5.

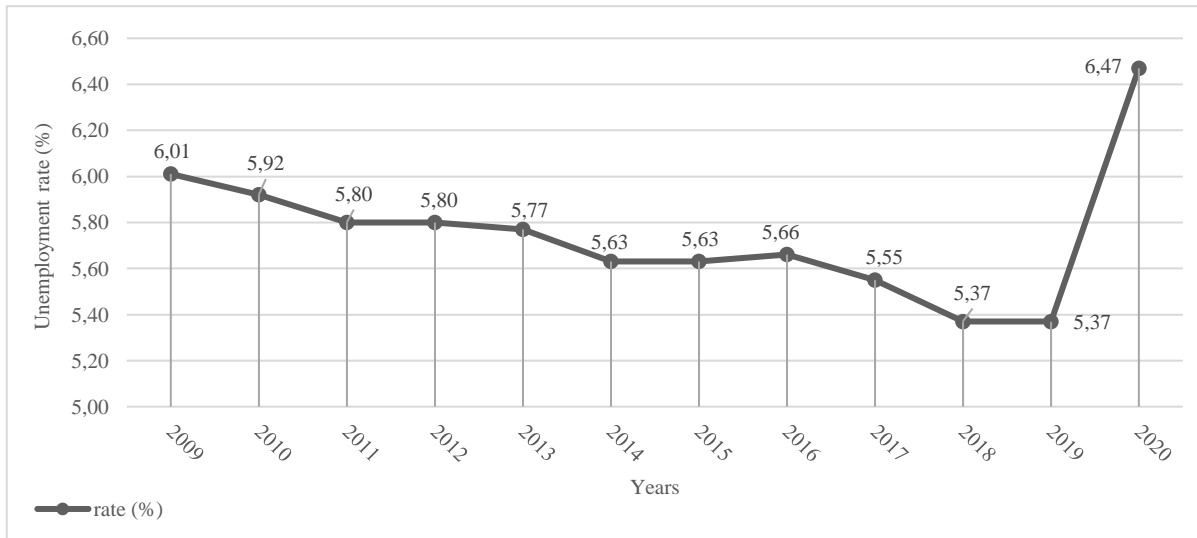


Figure 5. World Unemployment Rate between 2009-2020 [12]

With the incentive packages prepared by countries to avoid the economic shocks and deep recession that have occurred due to the COVID-19 epidemic, economic stability and socio-economic gains are tried to be preserved. It is seen that the measures against the epidemic are shaped within 5 categories including economic and social, fiscal policy and financing, monetary policy and liquidity, support to strengthen the health system, and social mobility restrictions. To minimize the indirect (and possibly more permanent) economic impacts of the COVID-19 crisis, it appears that a fast and well-targeted policy response is commensurate with the magnitude of the challenge. At this point, it is seen that governments apply measures and incentives to protect financial stability with direct income support, fiscal policy, and financial support to businesses and individuals through economic and social support without increasing their financial liabilities [13].

However, as mentioned above, not every country starts with the same opportunities and advantages and does not apply the same policies. At this point, profound management and performance differences arise. Naturally, countries with elderly populations start the fight against COVID-19 at a disadvantage. Countries with developed economies can turn this into an advantage within the scope of the struggle. In the literature, countries or regions have been compared according to different perspectives and new ones are being made rapidly.

II. RELATED LITERATURE

In the literature, after the COVID-19 epidemic, countries have been compared in terms of many factors including epidemic, sociological, socio-demographic, economic, psychological, and political. In some of these studies, the spreading rate of the virus and the relationships between various indicators are analyzed, while in others, countries are divided into groups based on their performance.

Studies in which countries are grouped are relatively few in the literature. Bilinski and Emanuel [14] grouped 19 countries as countries with low, medium, and high mortality rates, and analyzed the reasons for the difference. This study shows that the number of young population and central measures taken against the pandemic play an important role in the number of deaths. Peker et al. [15] compared mortality

rates across continents, unlike the studies of Bilinski and Manuel [14]. When the reasons for the differences in rates are examined, it is determined that factors such as the population over 65 years of age, the smoking rate among the female population, and the life expectancy are effective. Tekin [16] evaluated 31 countries from the perspective of health and financial indicators. In this study, where hierarchical cluster analysis was used, countries were grouped with a triple, quartet, quintet, and seventh cluster structures and compared with each other.

Aydin and Yurdakul [2] conducted a detailed analysis of 142 countries using machine learning algorithms, data envelopment analysis-based algorithms, and cluster analysis. First, they clustered countries and then reached the performance coefficients of each cluster with data envelopment analysis. Jain and Singh [17] examined 67 countries in total to compare the number of deaths and cases across continents. As a result of the study, the countries with the best and worst performance were determined for each continent. Sannigrahi et al. [18] ranked 31 European countries by case and mortality rates, which were evaluated according to epidemic data. The results obtained show that there is a statistically significant relationship between the COVID-19 data and the variables of population, poverty, and income. Cao et al. [19] expanded the study conducted by Sannigrahi [18] and ranked countries according to epidemic data, taking into account 209 countries and 34 different variables worldwide.

Middelburg and Rosendaal [20] examined the number of deaths and cases in China, Germany, Italy, the Netherlands, Spain, Sweden, South Korea, and the USA. They especially focused on the differences in epidemic data in Italy, China, and South Korea. Dağcıoğlu and Keskin [21] compared the pandemic data of different countries (EU countries, Turkey, and The United States). With the correlation analysis, it was tried to determine which parameters the course of the disease was related to. According to the result obtained from epidemic data and socio-economic data, the mortality rates of countries that allocate more budget to health are lower than in other countries. Selamzade and Özdemir [22] analyzed the effectiveness of OECD countries against COVID-19 using Data Envelopment Analysis (DEA). According to the findings, it was found that the highest score belongs to Slovakia and Iceland, while the lowest score belongs to Italy and Spain. Koç and Yardımcıoğlu [13] compared Turkey and EU countries in terms of fiscal stimulus and measures. A qualitative comparison is made, in particular, and incentives to support the measures Turkey's health system has reached the conclusion that successful process management compared to countries within the European Union on the issue.

When the above studies are examined, a study in which the economic, healthcare system, and government precautions are considered together with COVID-19 data is not included in the literature. Considering that the epidemic conditions are related to all the issues mentioned here, such an assessment will provide a more accurate comparison. The main contribution of this study is the inclusion of data from many areas into the evaluation with equal and different weights. At this point, The CRiteria Importance Through Intercriteria Correlation (CRITIC) method was used for weighting the data. The GRA method, one of the components of the grey system theory, was used for ranking the country's performances.

III. METHODOLOGY AND DATA SET

Multicriteria decision-making represents both an approach and encompasses techniques or methods designed to assist people who encounter problems that may be characterized by multiple, non-uniform, and conflicting criteria, in making choices that are appropriate to their value judgments. In this study, the CRITIC method, one of the MCDM methods, was used to find the weights of the criteria used in the problem, while the GRA method was used to determine the performance ranks of the alternatives. The following sections provide information about these methods.

A. CRITIC METHOD

The CRITIC (CRiteria Importance Through Intercriteria Correlation) method proposed by Diakoulaki et al. [23] aims to determine the relative importance of objective weights in MCDM problems. The

method, which is based on an analytical examination of the evaluation matrix to extract all the information included in the evaluation criteria, includes both the contrast density and the conflict in the structure of the decision problem [23]. The CRITIC method consists of three steps [24]:

Step 1: The data are normalized using Equation (1) for utility criteria and Equation (2) for cost criteria.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - x_j^{\min}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}} \quad i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n \quad (1)$$

$$r_{ij} = \frac{x_j^{\max} - x_{ij}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}} \quad i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n \quad (2)$$

Step 2: With Equation (3), the correlation commonly used to measure the dependence between two variables is determined.

$$p_{jk} = \frac{\sum_{i=1}^m (r_{ij} - \bar{r}_j)(r_{ik} - \bar{r}_k)}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (r_{ij} - \bar{r}_j)^2 \sum_{i=1}^m (r_{ik} - \bar{r}_k)^2}} \quad (3)$$

Step 3: Weights are calculated using Equation (4) and Equation (5).

$$W_j = \frac{C_j}{\sum_{k=1}^n C_k} \quad j = 1, \dots, n \quad (4)$$

$$c_j = \sigma_j \sum_{k=1}^n (1 - \rho_{jk}) \quad j = 1, \dots, n \quad (5)$$

B. GREY RELATIONAL ANALYSIS

The Grey System Theory (GST), proposed by Professor Deng [25], is an approach focused on the solution of problems with a small sample and incomplete information [26]. GST is a multidisciplinary theory that deals with incomplete and inadequate information structures [27]. The Grey Relational Analysis (GRA) method is one of the six headings of the GST proposed by Deng [25] [28-30]. This method, which is used to eliminate and analyze the uncertain relationships between criteria and options, has applications such as damage assessment [31], determination of the critical path through a network plan [32], a causal decision-making model [33], supplier selection [34-37], system security assessment [38], determining the importance of smartphone technical features [26], and evaluating health service quality factors [39].

GRA is a method used to determine the degree of relationship between each factor in a system and the compared factor (reference set) series. Each factor is defined as an array (row or column). The degree of influence between factors is defined as a “grey relational degree” [40]. The grey relational degrees of the determining factors are obtained by comparing the geometric trends shown by the factors [41]. The steps of the method are presented below [39].

Step 1. Creating the Decision Matrix: For the decision problem consisting of “ m ” alternatives and “ n ” criteria, a decision matrix of size $m \times n$ is created as shown in Equation (6). The $x_i(k)$ expression in this matrix corresponds to the value of alternative i for the criterion j .

$$X_{m \times n} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (6)$$

Step 2. Creating the Reference Series: A reference series is created by taking the smallest value of the alternatives for minimization-oriented criteria and the largest value for maximization-oriented alternatives.

Step 3. Building the Comparison Series: To normalize the data, Equation (7), Equation (8), or Equation (9) are used, respectively, according to the benefit, cost, and optimality of the criteria.

$$x_i^*(k) = \frac{x_i(k) - \min x_i(k)}{\max x_i(k) - \min x_i(k)} \quad (7)$$

$$x_i^*(k) = \frac{\max x_i(k) - x_i(k)}{\max x_i(k) - \min x_i(k)} \quad (8)$$

$$x_i^*(k) = \frac{x_i(k) - x_{ob}(k)}{\max x_i(k) - \min x_i(k)} \quad (9)$$

Here:

- $x_i(k)$: The value of alternative i for criteria k
- $x_i^*(k)$: The normalized value of alternative i for criteria k
- $\min x_i(k)$: The smallest value for criteria k
- $\max x_i(k)$: The maximum value for criteria k
- $x_{ob}(k)$: Reference series (ideal sequence) value for criteria k

Step 4. Creating the Absolute Value Table: Absolute differences ($\Delta x_i(k)$) are calculated with the help of Equation (10), where $x_0^*(k)$ is the normalized value of the reference value for the criteria k and the $x_i^*(k)$ is the normalized value of the alternative for the criteria k .

$$\Delta x_i(k) = |x_0^*(k) - x_i^*(k)| \quad (10)$$

Step 5. Calculation of Grey Relational Coefficient Matrix for Different Data Series: Grey relational coefficients are calculated with the help of Equation (11), where Δ_{min} and Δ_{max} are the smallest and largest value in the absolute difference matrix, and $\Delta_i(k)$ is the absolute difference between the reference series value and the value of the alternative k . The discriminant coefficient (δ) is used to eliminate the possibility of being the most extreme value in the data series and is generally taken as 0.5 [42].

$$\gamma_{0i}(k) = (\Delta_{min} + \delta \Delta_{max}) / (\Delta_i(k) + \delta \Delta_{max}) \quad (11)$$

Step 6. Calculate the grey relationship degree for each different data set to build a relationship matrix: Grey relational degrees (γ_i) are calculated by dividing the sum of the grey relational coefficients obtained with Equation (11) by the number of criteria (n) [43]. If there are different weights for the data, Equation (13) should be used to calculate the grey relational degrees.

$$\gamma_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \gamma_{0i}(j) \quad (12)$$

$$\gamma_i = \sum_{k=1}^n [w_k * \gamma_{0i}(j)] \quad (13)$$

C. DATA SET

During the COVID-19 pandemic, countries have been compared from different perspectives. The data groups used also differ according to these compared perspectives. While some of the studies are based entirely on epidemic data, some of them use a data set consisting of a combination of socio-demographic, socio-economic, and epidemic data. The data used in our study and the data used in different studies in the literature are summarized in Table 1 and Table 2, respectively.

Table 1. Criteria used in the study and related information

Main Criteria (MC)	Sub-criteria	Abbreviation	Year	Data source
COVID-19 (MC ₁)	Deaths (per hundred thousand)	K_1	2021	[8]
	Number of Tests / Population (per million)	K_2	2021	
	Number of Cases (per hundred thousand)	K_3	2021	
	Vaccinated population (%)	K_4	2021	
Economic (MC ₂)	GDP Per Capita (\$)	K_5	2020	[44]
	Health Spending / GDP	K_6	2020	[45]
	Unemployment rate (%)	K_7	2020	[46]
	Consumer price index (%)	K_8	2020	[47]
	Poor Population Rate (%)	K_9	2020	[4]
Healthcare System (MC ₃)	Number of hospital beds (per 1000 People)	K_{10}	2021	[4]
	Number of doctors (per 1000 People)	K_{11}	2021	
Government Precaution (MC ₄)	Stringency Index	K_{12}	2021	[4]

Table 2. Data groups (criteria) used by studies in the literature

Article	Criteria											
	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	K_7	K_8	K_9	K_{10}	K_{11}	K_{12}
Aydın and Yurdakul [2]	√	√	√						√	√		√
Peker et al. [15]	√		√							√		
Middelburg and Rosendaal [20]		√	√									
Cao et al. [19]	√		√		√				√	√		√
Dağcıoğlu and Keskin [21]	√	√	√			√					√	
Tekin [16]	√	√	√			√		√			√	
Selamzade and Özdemir [22]	√	√	√			√				√	√	
Sannigrahi et al. [18]	√	√	√						√			

When the data sets used in the studies are examined, it is seen that the number of deaths / total population, number of tests / total population, number of cases / total population, and vaccinated population (%) are used for COVID-19. Regarding the economic situation of the countries, per capita GDP, Health expenditure/GDP, unemployment rate (%), consumer price index, and poor population ratio (%) data are used. Regarding healthcare services, the data on the number of beds (per 1000 people) and the number of doctors (per 1000 people) in hospital facilities are preferred for comparison. In addition to all these, it is observed that the data called "Stringency Index" are frequently used in studies. It is concluded that the higher the value of this index, which can take a value between 0 and 100, the stricter and more disciplined the measures are. The index score consists of the answers to 9 different questions in total. The questions consist of components such as school closures, workplaces, curfews, and travel bans.

Among the criteria above, K_5 , K_6 , K_7 , K_8 , and K_9 are the data that directly examine the economic situation of the countries. These data are published quarterly or annually in information systems. For this reason, the average data for 2020 were included in the study. Data other than the specified data groups are monitored daily during the COVID-19 process. The date these data groups are added to the data set is April 2021. Since the performance comparison of countries was aimed at in the study, the alternative set was determined after the criteria set. The list of countries evaluated within the scope of the study is shown in Table 3.

Table 3. The list of countries

Abbreviation	Countries	Abbreviation	Countries
A ₁	Germany	A ₁₀	South Korea
A ₂	USA	A ₁₁	India
A ₃	Argentina	A ₁₂	United Kingdom
A ₄	Australia	A ₁₃	Italy
A ₅	Brazil	A ₁₄	Japan
A ₆	China	A ₁₅	Canada
A ₇	Indonesia	A ₁₆	Mexico
A ₈	France	A ₁₇	Russia
A ₉	South Africa	A ₁₈	Saudi Arabia

In the study, it was aimed to rank the performance of 18 countries according to 12 criteria. Measuring the performance of 18 alternatives according to 12 criteria falls within the scope of decision making and multi-criteria decision making (MCDM) problems due to the characteristics of the problem.

IV. RESULTS AND FINDINGS

CRITIC and GRA methods were used to measure the pandemic performance of 18 countries during the COVID-19 pandemic. Criteria weights obtained from the CRITIC method were used for the weighting of data in the GRA method. The initial decision matrix is shown in Table 4.

Table 4. Initial decision matrix

CRITERIA	MC ₁				MC ₂				MC ₃		MC ₄	
	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	K ₆	K ₇	K ₈	K ₉	K ₁₀	K ₁₁	K ₁₂
Goal	min	max	min	max	max	max	min	min	min	max	max	max
Alternative												
A ₁	94,35	497428	3,6E-02	5,60	47514	11,200	3,000	105,0	16,0	8,00	4,31	83,33
A ₂	169,22	994342	9,4E-02	19,20	62917	17,100	3,900	117,0	17,8	2,77	2,60	68,06
A ₃	137,82	147192	6,0E-02	1,60	11688	9,100	10,400	233,0	35,5	5,00	3,86	79,17
A ₄	3,89	528573	1,3E-03	3,94	58393	9,200	5,300	120,0	12,4	3,84	5,20	81,94
A ₅	162,32	133964	6,2E-02	2,50	8920	9,500	12,000	167,0	19,9	2,20	1,89	72,69
A ₆	0,34	111163	7,1E-05	10,34	9532	5,200	4,400	109,0	6,0	4,34	2,00	78,24
A ₇	15,44	36083	5,7E-03	1,60	3893	3,000	4,800	151,0	9,8	1,04	0,30	64,35
A ₈	152,74	726202	7,8E-02	4,80	41381	11,300	8,300	110,0	13,4	5,98	3,37	63,89
A ₉	100,75	143986	2,9E-02	0,50	12295	8,750	28,100	117,3	55,5	2,32	0,80	72,22
A ₁₀	3,58	117273	2,2E-03	0,10	33622	7,600	4,600	115,0	17,4	12,27	2,39	63,89
A ₁₁	12,11	147506	9,4E-03	0,80	2055	3,500	5,400	180,0	21,9	0,53	0,78	68,98
A ₁₂	201,51	1178570	6,9E-02	8,50	42526	9,600	4,100	121,0	18,6	2,54	2,95	86,11
A ₁₃	185,05	585775	6,1E-02	6,00	34388	8,800	9,800	111,0	20,3	3,18	4,02	78,70
A ₁₄	7,32	550224	3,9E-03	0,30	39082	10,900	2,300	105,0	15,7	13,05	2,49	49,54
A ₁₅	65,93	598766	3,0E-02	2,00	46192	10,600	5,400	117,0	12,1	2,50	2,80	75,46
A ₁₆	168,51	38656	1,9E-02	1,20	9695	5,500	3,600	142,0	41,9	1,38	2,44	71,76
A ₁₇	68,63	723421	3,1E-02	3,60	11394	3,700	4,400	181,0	12,9	8,05	4,09	45,83
A ₁₈	23,34	370540	1,4E-02	15,49	23217	5,800	5,900	117,0	17,7	2,70	2,40	50,00

A. DETERMINATION OF WEIGHTS WITH CRITIC METHOD

The 12 criteria in the initial decision matrix are broadly classified as COVID-19, economic, healthcare system, and government precaution. In the first step of the CRITIC method, the normalization process is performed by applying the equations in Equation (1) and Equation (2) to the data presented in Table 4. Normalized versions of the data are shown in Table 5.

Table 5. Normalized data for CRITIC Method

ALTERNATIVES	MC ₁				MC ₂				MC ₃			MC ₄
	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	K ₆	K ₇	K ₈	K ₉	K ₁₀	K ₁₁	K ₁₂
A ₁	0,53	0,40	0,62	0,29	0,75	0,58	0,97	1,00	0,80	0,60	0,82	0,93
A ₂	0,16	0,84	0,00	1,00	1,00	1,00	0,94	0,91	0,76	0,18	0,47	0,55
A ₃	0,32	0,10	0,36	0,08	0,16	0,43	0,69	0,00	0,40	0,36	0,73	0,83
A ₄	0,98	0,43	0,99	0,20	0,93	0,44	0,88	0,88	0,87	0,26	1,00	0,90
A ₅	0,19	0,09	0,33	0,13	0,11	0,46	0,62	0,52	0,72	0,13	0,32	0,67
A ₆	1,00	0,07	1,00	0,54	0,12	0,16	0,92	0,97	1,00	0,30	0,35	0,80
A ₇	0,92	0,00	0,94	0,08	0,03	0,00	0,90	0,64	0,92	0,04	0,00	0,46
A ₈	0,24	0,60	0,17	0,25	0,65	0,59	0,77	0,96	0,85	0,44	0,63	0,45
A ₉	0,50	0,09	0,69	0,02	0,17	0,41	0,00	0,90	0,00	0,14	0,10	0,66
A ₁₀	0,98	0,07	0,98	0,00	0,52	0,33	0,91	0,92	0,77	0,94	0,43	0,45
A ₁₁	0,94	0,10	0,90	0,04	0,00	0,04	0,88	0,41	0,68	0,00	0,10	0,57
A ₁₂	0,00	1,00	0,26	0,44	0,66	0,47	0,93	0,88	0,75	0,16	0,54	1,00
A ₁₃	0,08	0,48	0,35	0,31	0,53	0,41	0,71	0,95	0,71	0,21	0,76	0,82
A ₁₄	0,97	0,45	0,96	0,01	0,61	0,56	1,00	1,00	0,80	1,00	0,45	0,09
A ₁₅	0,67	0,49	0,68	0,10	0,73	0,54	0,88	0,91	0,88	0,16	0,51	0,74
A ₁₆	0,16	0,00	0,80	0,06	0,13	0,18	0,95	0,71	0,27	0,07	0,44	0,64
A ₁₇	0,66	0,60	0,67	0,18	0,15	0,05	0,92	0,41	0,86	0,60	0,77	0,00
A ₁₈	0,89	0,29	0,85	0,81	0,35	0,20	0,86	0,91	0,76	0,17	0,43	0,10

In the second step, the correlation value (p_{jk}), which is commonly used to measure the dependency between the variable, is determined with the help of Equation (3). The correlation relationship between the criteria is shown in Table 6.

Table 6. Relationship coefficient matrix

CRITERIA	MC ₁				MC ₂				MC ₃			MC ₄
	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	K ₆	K ₇	K ₈	K ₉	K ₁₀	K ₁₁	K ₁₂
K ₁	1,00	-0,41	0,87	-0,19	-0,16	-0,46	0,23	0,09	0,37	0,31	-0,22	-0,38
K ₂	-0,41	1,00	-0,58	0,49	0,73	0,58	0,27	0,33	0,33	0,11	0,49	0,03
K ₃	0,87	-0,58	1,00	-0,39	-0,33	-0,65	0,17	0,10	0,11	0,20	-0,25	-0,25
K ₄	-0,19	0,49	-0,39	1,00	0,39	0,37	0,24	0,32	0,29	-0,22	0,14	-0,02
K ₅	-0,16	0,73	-0,33	0,39	1,00	0,79	0,29	0,59	0,32	0,28	0,58	0,21
K ₆	-0,46	0,58	-0,65	0,37	0,79	1,00	-0,05	0,37	-0,01	0,18	0,35	0,26
K ₇	0,23	0,27	0,17	0,24	0,29	-0,05	1,00	0,09	0,71	0,27	0,29	-0,14
K ₈	0,09	0,33	0,10	0,32	0,59	0,37	0,09	1,00	0,25	0,21	0,06	0,05
K ₉	0,37	0,33	0,11	0,29	0,32	-0,01	0,71	0,25	1,00	0,24	0,23	-0,15
K ₁₀	0,31	0,11	0,20	-0,22	0,28	0,18	0,27	0,21	0,24	1,00	0,34	-0,39
K ₁₁	-0,22	0,49	-0,25	0,14	0,58	0,35	0,29	0,06	0,23	0,34	1,00	0,21
K ₁₂	-0,38	0,03	-0,25	-0,02	0,21	0,26	-0,14	0,05	-0,15	-0,39	0,21	1,00

In the last step, the criteria weights were determined using Equation (4) and Equation (5). As shown in Table 7, the order of importance of the criteria was determined as $K_1 > K_3 > K_{12} > K_{10} > K_4 > K_2 > K_5 > K_{11} > K_8 > K_6 > K_9 > K_7$. The most important criteria is the number of COVID-19 deaths (K_1), while the least important criteria is the unemployment rate (K_7).

Table 7. Calculation of criteria weights

CRITERIA	MC ₁				MC ₂				MC ₃			MC ₄
	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	K ₆	K ₇	K ₈	K ₉	K ₁₀	K ₁₁	K ₁₂
K ₁	0,00	1,41	0,13	1,19	1,16	1,46	0,77	0,91	0,63	0,69	1,22	1,38
K ₂	1,41	0,00	1,58	0,51	0,27	0,42	0,73	0,67	0,67	0,89	0,51	0,97
K ₃	0,13	1,58	0,00	1,39	1,33	1,65	0,83	0,90	0,89	0,80	1,25	1,25
K ₄	1,19	0,51	1,39	0,00	0,61	0,63	0,76	0,68	0,71	1,22	0,86	1,02
K ₅	1,16	0,27	1,33	0,61	0,00	0,21	0,71	0,41	0,68	0,72	0,42	0,79
K ₆	1,46	0,42	1,65	0,63	0,21	0,00	1,05	0,63	1,01	0,82	0,65	0,74
K ₇	0,77	0,73	0,83	0,76	0,71	1,05	0,00	0,91	0,29	0,73	0,71	1,14
K ₈	0,91	0,67	0,90	0,68	0,41	0,63	0,91	0,00	0,75	0,79	0,94	0,95
K ₉	0,63	0,67	0,89	0,71	0,68	1,01	0,29	0,75	0,00	0,76	0,77	1,15
K ₁₀	0,69	0,89	0,80	1,22	0,72	0,82	0,73	0,79	0,76	0,00	0,66	1,39
K ₁₁	1,22	0,51	1,25	0,86	0,42	0,65	0,71	0,94	0,77	0,66	0,00	0,79
K ₁₂	1,38	0,97	1,25	1,02	0,79	0,74	1,14	0,95	1,15	1,39	0,79	0,00
σ	0,37	0,30	0,32	0,28	0,32	0,25	0,23	0,27	0,25	0,29	0,27	0,29
C _j	4,01	2,58	3,83	2,70	2,35	2,30	1,98	2,34	2,05	2,75	2,34	3,38
Total (C _j)	32,60											
W _j	0,123	0,079	0,117	0,083	0,072	0,071	0,061	0,072	0,063	0,084	0,072	0,104

B. RANKING OF COUNTRIES WITH GRA

GRA is a method used to determine the degree of relationship between each factor in a system and the compared factor (reference set) series. The method consists of three basic steps: normalization, grey relational coefficient calculation, and grey relational degree calculation. After creating the decision matrix (see Table 4), the first step is to determine the reference series. The decision matrix in which the reference series is included is shown in Table 8.

Table 8. Decision matrix and reference series for GRA

	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	K_7	K_8	K_9	K_{10}	K_{11}	K_{12}
Reference	0,340	1178570	0,00	19,20	62917	17,10	2,30	105,00	6,00	13,05	5,20	86,11
Countries	min	max	min	max	max	max	min	min	min	max	max	max
A_1	94,35	497428	3,6E-02	5,60	47514	11,200	3,000	105,0	16,0	8,00	4,31	83,33
A_2	169,22	994342	9,4E-02	19,20	62917	17,100	3,900	117,0	17,8	2,77	2,60	68,06
A_3	137,82	147192	6,0E-02	1,60	11688	9,100	10,400	233,0	35,5	5,00	3,86	79,17
A_4	3,89	528573	1,3E-03	3,94	58393	9,200	5,300	120,0	12,4	3,84	5,20	81,94
A_5	162,32	133964	6,2E-02	2,50	8920	9,500	12,000	167,0	19,9	2,20	1,89	72,69
A_6	0,34	111163	7,1E-05	10,34	9532	5,200	4,400	109,0	6,0	4,34	2,00	78,24
A_7	15,44	36083	5,7E-03	1,60	3893	3,000	4,800	151,0	9,8	1,04	0,30	64,35
A_8	152,74	726202	7,8E-02	4,80	41381	11,300	8,300	110,0	13,4	5,98	3,37	63,89
A_9	100,75	143986	2,9E-02	0,50	12295	8,750	28,100	117,3	55,5	2,32	0,80	72,22
A_{10}	3,58	117273	2,2E-03	0,10	33622	7,600	4,600	115,0	17,4	12,27	2,39	63,89
A_{11}	12,11	147506	9,4E-03	0,80	2055	3,500	5,400	180,0	21,9	0,53	0,78	68,98
A_{12}	201,51	1178570	6,9E-02	8,50	42526	9,600	4,100	121,0	18,6	2,54	2,95	86,11
A_{13}	185,05	585775	6,1E-02	6,00	34388	8,800	9,800	111,0	20,3	3,18	4,02	78,70
A_{14}	7,32	550224	3,9E-03	0,30	39082	10,900	2,300	105,0	15,7	13,05	2,49	49,54
A_{15}	65,93	598766	3,0E-02	2,00	46192	10,600	5,400	117,0	12,1	2,50	2,80	75,46
A_{16}	168,51	38656	1,9E-02	1,20	9695	5,500	3,600	142,0	41,9	1,38	2,44	71,76
A_{17}	68,63	723421	3,1E-02	3,60	11394	3,700	4,400	181,0	12,9	8,05	4,09	45,83
A_{18}	23,34	370540	1,4E-02	15,49	23217	5,800	5,900	117,0	17,7	2,70	2,40	50,00

After the decision matrix and reference series are created, the normalization process is performed in the decision matrix with the appropriate one from Equation (7), Equation (8), or Equation (9) according to the benefits, cost, and optimality of the criteria. Equation (8) should be used for minimization-oriented criteria (K_1 , K_3 , K_7 , K_8 , and K_9) in Table 8. The remaining criteria should be normalized with the help of Equation (7) since they are maximization-oriented. The normalized decision matrix obtained as a result of the normalization process with the help of these equations is shown in Table 9.

Table 9. Normalized decision matrix for GRA

CRITERIA	MC ₁						MC ₂			MC ₃		MC ₄
	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	K_7	K_8	K_9	K_{10}	K_{11}	K_{12}
Reference Series	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Countries												
A_1	0,53	0,40	0,62	0,29	0,75	0,58	0,97	1,00	0,80	0,60	0,82	0,93
A_2	0,16	0,84	0,00	1,00	1,00	1,00	0,94	0,91	0,76	0,18	0,47	0,55
A_3	0,32	0,10	0,36	0,08	0,16	0,43	0,69	0,00	0,40	0,36	0,73	0,83
A_4	0,98	0,43	0,99	0,20	0,93	0,44	0,88	0,88	0,87	0,26	1,00	0,90
A_5	0,19	0,09	0,34	0,13	0,11	0,46	0,62	0,52	0,72	0,13	0,32	0,67
A_6	1,00	0,07	1,00	0,54	0,12	0,16	0,92	0,97	1,00	0,30	0,35	0,80
A_7	0,92	0,00	0,94	0,08	0,03	0,00	0,90	0,64	0,92	0,04	0,00	0,46
A_8	0,24	0,60	0,17	0,25	0,65	0,59	0,77	0,96	0,85	0,44	0,63	0,45
A_9	0,50	0,09	0,69	0,02	0,17	0,41	0,00	0,90	0,00	0,14	0,10	0,66
A_{10}	0,98	0,07	0,98	0,00	0,52	0,33	0,91	0,92	0,77	0,94	0,43	0,45
A_{11}	0,94	0,10	0,90	0,04	0,00	0,04	0,88	0,41	0,68	0,00	0,10	0,57
A_{12}	0,00	1,00	0,27	0,44	0,66	0,47	0,93	0,88	0,75	0,16	0,54	1,00
A_{13}	0,08	0,48	0,35	0,31	0,53	0,41	0,71	0,95	0,71	0,21	0,76	0,82
A_{14}	0,97	0,45	0,96	0,01	0,61	0,56	1,00	1,00	0,80	1,00	0,45	0,09
A_{15}	0,67	0,49	0,68	0,10	0,73	0,54	0,88	0,91	0,88	0,16	0,51	0,74
A_{16}	0,16	0,00	0,80	0,06	0,13	0,18	0,95	0,71	0,27	0,07	0,44	0,64
A_{17}	0,66	0,60	0,67	0,18	0,15	0,05	0,92	0,41	0,86	0,60	0,77	0,00
A_{18}	0,89	0,29	0,85	0,81	0,35	0,20	0,86	0,91	0,76	0,17	0,43	0,10

After the normalization process, the absolute value table is created by using Equation (10) in the third step. The absolute value table prepared based on the data in Table 9 is shown in Table 10.

Table 10. Absolute value table

CRITERIA	MC ₁				MC ₂				MC ₃		MC ₄	
	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	K ₆	K ₇	K ₈	K ₉	K ₁₀	K ₁₁	K ₁₂
Reference Series	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Countries												
A ₁	0,47	0,60	0,38	0,71	0,25	0,42	0,03	0,00	0,20	0,40	0,18	0,07
A ₂	0,84	0,16	1,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,09	0,24	0,82	0,53	0,45
A ₃	0,68	0,90	0,64	0,92	0,84	0,57	0,31	1,00	0,60	0,64	0,27	0,17
A ₄	0,02	0,57	0,01	0,80	0,07	0,56	0,12	0,12	0,13	0,74	0,00	0,10
A ₅	0,81	0,91	0,66	0,87	0,89	0,54	0,38	0,48	0,28	0,87	0,68	0,33
A ₆	0,00	0,93	0,00	0,46	0,88	0,84	0,08	0,03	0,00	0,70	0,65	0,20
A ₇	0,08	1,00	0,06	0,92	0,97	1,00	0,10	0,36	0,08	0,96	1,00	0,54
A ₈	0,76	0,40	0,83	0,75	0,35	0,41	0,23	0,04	0,15	0,56	0,37	0,55
A ₉	0,50	0,91	0,31	0,98	0,83	0,59	1,00	0,10	1,00	0,86	0,90	0,34
A ₁₀	0,02	0,93	0,02	1,00	0,48	0,67	0,09	0,08	0,23	0,06	0,57	0,55
A ₁₁	0,06	0,90	0,10	0,96	1,00	0,96	0,12	0,59	0,32	1,00	0,90	0,43
A ₁₂	1,00	0,00	0,73	0,56	0,34	0,53	0,07	0,13	0,25	0,84	0,46	0,00
A ₁₃	0,92	0,52	0,65	0,69	0,47	0,59	0,29	0,05	0,29	0,79	0,24	0,18
A ₁₄	0,03	0,55	0,04	0,99	0,39	0,44	0,00	0,00	0,20	0,00	0,55	0,91
A ₁₅	0,33	0,51	0,32	0,90	0,27	0,46	0,12	0,09	0,12	0,84	0,49	0,26
A ₁₆	0,84	1,00	0,20	0,94	0,87	0,82	0,05	0,29	0,73	0,93	0,56	0,36
A ₁₇	0,34	0,40	0,33	0,82	0,85	0,95	0,08	0,59	0,14	0,40	0,23	1,00
A ₁₈	0,11	0,71	0,15	0,19	0,65	0,80	0,14	0,09	0,24	0,83	0,57	0,90

After calculating the absolute value table, grey relational coefficients ($\gamma_{01}(k)$) with the help of Equation (11) in the fifth step. The differential coefficient (δ) in this equation is taken as 0.5. Grey relational coefficients calculated for countries are given in Table 11.

Table 11. Grey relational coefficients

CRITERIA	MC ₁				MC ₂				MC ₃		MC ₄	
	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	K ₆	K ₇	K ₈	K ₉	K ₁₀	K ₁₁	K ₁₂
Reference Series	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Countries												
A ₁	0,52	0,46	0,57	0,41	0,66	0,54	0,95	1,00	0,71	0,55	0,73	0,88
A ₂	0,37	0,76	0,33	1,00	1,00	1,00	0,89	0,84	0,68	0,38	0,49	0,53
A ₃	0,42	0,36	0,44	0,35	0,37	0,47	0,61	0,33	0,46	0,44	0,65	0,74
A ₄	0,97	0,47	0,97	0,38	0,87	0,47	0,81	0,81	0,79	0,40	1,00	0,83
A ₅	0,38	0,35	0,43	0,36	0,36	0,48	0,57	0,51	0,64	0,37	0,43	0,60
A ₆	1,00	0,35	1,00	0,52	0,36	0,37	0,86	0,94	1,00	0,42	0,43	0,72
A ₇	0,87	0,33	0,89	0,35	0,34	0,33	0,84	0,58	0,87	0,34	0,33	0,48
A ₈	0,40	0,56	0,38	0,40	0,59	0,55	0,68	0,93	0,77	0,47	0,57	0,48
A ₉	0,50	0,36	0,62	0,34	0,38	0,46	0,33	0,84	0,33	0,37	0,36	0,59
A ₁₀	0,97	0,35	0,96	0,33	0,51	0,43	0,85	0,86	0,68	0,89	0,47	0,48
A ₁₁	0,90	0,36	0,83	0,34	0,33	0,34	0,81	0,46	0,61	0,33	0,36	0,54
A ₁₂	0,33	1,00	0,41	0,47	0,60	0,48	0,88	0,80	0,66	0,37	0,52	1,00
A ₁₃	0,35	0,49	0,44	0,42	0,52	0,46	0,63	0,91	0,63	0,39	0,67	0,73
A ₁₄	0,94	0,48	0,92	0,34	0,56	0,53	1,00	1,00	0,72	1,00	0,47	0,36
A ₁₅	0,61	0,50	0,61	0,36	0,65	0,52	0,81	0,84	0,80	0,37	0,51	0,65
A ₁₆	0,37	0,33	0,71	0,35	0,36	0,38	0,91	0,63	0,41	0,35	0,47	0,58
A ₁₇	0,60	0,56	0,60	0,38	0,37	0,34	0,86	0,46	0,78	0,56	0,69	0,33
A ₁₈	0,81	0,41	0,77	0,72	0,43	0,38	0,78	0,84	0,68	0,38	0,47	0,36

In the last step, the grey relational degrees (γ_i) are calculated by dividing the sum of the grey relational coefficients by the number of criteria (n) (Equation 12). At this point, if there are different weights for the data points, Equation (13) should be used to calculate the grey relational degree. In this study, Equation (12) and Equation (13) are used because the criteria are used with different weights. The grey relational coefficients and the obtained grey relational degrees (weighted and unweighted) are shown in Table 12.

Table 12. Calculation of grey relational degrees

Countries	Unweighted		Weighted	
	GRD	Rank	GRD	Rank
A ₁	0.6656	4	0.6511	5
A ₂	0.6886	3	0.6487	6
A ₃	0.4702	16	0.4711	16
A ₄	0.7320	1	0.7472	1
A ₅	0.4570	17	0.4507	18
A ₆	0.6645	5	0.6868	3
A ₇	0.5470	12	0.5650	10
A ₈	0.5635	10	0.5374	13
A ₉	0.4558	18	0.4692	17
A ₁₀	0.6477	6	0.6677	4
A ₁₁	0.5174	14	0.5426	11
A ₁₂	0.6274	7	0.6090	7
A ₁₃	0.5540	11	0.5385	12
A ₁₄	0.6927	2	0.6996	2
A ₁₅	0.6014	8	0.5935	9
A ₁₆	0.4886	15	0.4877	15
A ₁₇	0.5440	13	0.5355	14
A ₁₈	0.5868	9	0.5943	8

In the last stage, the performance ranking was determined according to the decreasing order of grey relationship degrees. In Table 12, the ranking of country performances is made in 2 different ways. In the first case, criteria weights were not taken into account (all criteria were equally weighted), whereas in the second case, the weights were taken into account. When the weights are taken into consideration, the country ranking is $A_4 > A_{14} > A_6 > A_{10} > A_1 > A_2 > A_{12} > A_{18} > A_{15} > A_7 > A_{11} > A_{13} > A_8 > A_{17} > A_{16} > A_3 > A_9 > A_5$. The best-performing countries according to the weighted ranking are Australia, China, Japan, South Korea, and Germany. In the other case (unweighted), the order is $A_4 > A_{14} > A_2 > A_1 > A_6 > A_{10} > A_{12} > A_{15} > A_{18} > A_8 > A_{13} > A_7 > A_{17} > A_{11} > A_{16} > A_3 > A_5 > A_9$. Although their rank has changed, there has been no change in the countries in the top two. Table 13 and Figure 6 show the ranks obtained for both cases. In the last column, the final ranks determined by considering these two rankings are shown. For the final ranking, both rankings were averaged and the final ranking was determined according to the dominance status. The dominance status was taken into account if the mean rank was equal, and the country with the better-weighted ranking value was written higher in the ranking. For example, the rank averages of Germany and the USA are equal. However, in terms of weighted ranking, Germany outperforms the USA.

Table 13. Final ranking

Abbreviation	Country	Weighted Rank	Unweighted Rank	Final Rank
A ₄	Australia	1	1	1
A ₁₄	Japan	2	2	2
A ₆	China	3	5	3
A ₁	Germany	5	4	4
A ₂	USA	6	3	5
A ₁₀	South Korea	4	6	6
A ₁₂	United Kingdom	7	7	7
A ₁₈	Saudi Arabia	8	9	8
A ₁₅	Canada	9	8	9
A ₇	Indonesia	10	12	10
A ₁₃	Italy	12	11	11
A ₈	France	13	10	12
A ₁₁	India	11	14	13
A ₁₇	Russia	14	13	14
A ₁₆	Mexican	15	15	15
A ₃	Argentina	16	16	16
A ₉	South Africa	17	18	17
A ₅	Brazil	18	17	18

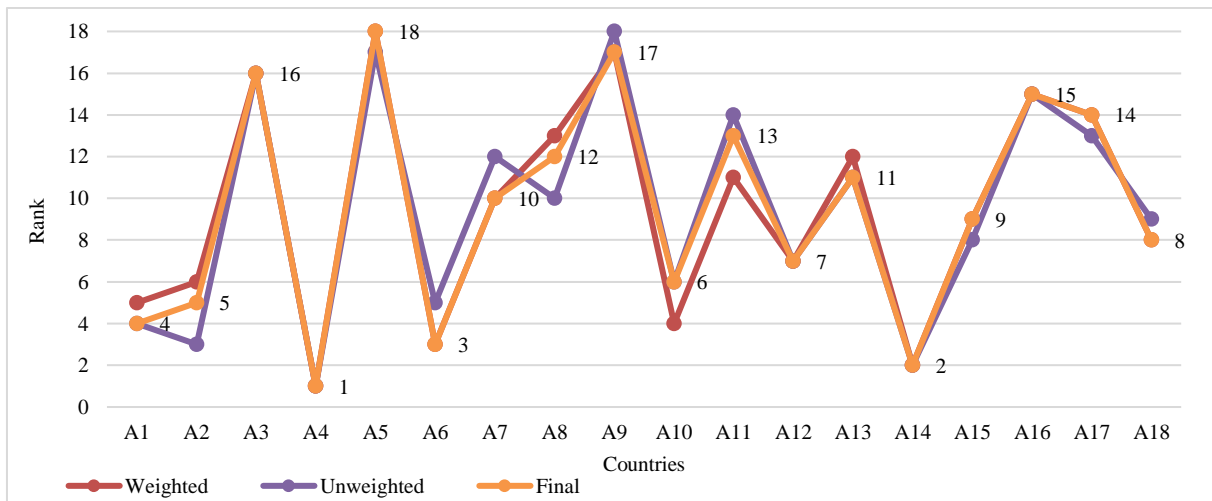


Figure 6. Final ranks of countries

Here, a performance evaluation has been made by considering the COVID-19 pandemic (MC₁) and economic data (MC₂), healthcare system (MC₃), and government precaution (MC₄) rather than the development levels of the countries. The most important reason for this is that this epidemic, which has been effective worldwide since March 2020, significantly affects the economies and health systems of countries. The difficulties in vaccine production and distribution and the different characteristics of the newly emerging and country-specific variants of the virus have also significantly influenced the change in the ranking. Of course, at this point, perhaps the most important factor affecting the ranking is the reliability of the information provided by the countries about COVID-19.

V. CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS

The COVID-19 pandemic, which first appeared in the People's Republic of China at the end of 2019 and then spread rapidly to the rest of the world, has become one of the most dangerous epidemics seen in the last century. Unfortunately, millions of people lost their lives due to this disease, which could not be fully suppressed despite the past two years and continued its effects with different mutations. To cope with this disease, hundreds of scientists continue to work on vaccines and drugs in different parts of the world. In addition, many people working in different disciplines carry out studies on the effects of the pandemic on economic and social life.

In this study, the performance of countries against the epidemic during the COVID-19 pandemic was evaluated. For this purpose, 12 criteria included in four main criteria were used for performance analysis with the help of equal-weighted and CRITIC-based Grey Relational analysis. When the results are examined, it is seen that the level of economic prosperity and the government's precaution against the pandemic directly move the countries to an advantageous point. Countries with a relatively low level of economic welfare compared to other countries, unfortunately, appear to be in the lower ranks in the ranking. On the other hand, despite their wide economic opportunities, countries such as Italy, France, and Canada, which have elderly populations, are among the other findings that rank lower in the ranking due to their high mortality rates. From this point of view, it can be concluded that socioeconomic conditions must also be improved for the fight against COVID-19 to be effective. Of course, the study results have the quality of gaining a perspective rather than a comprehensive performance analysis, as they are shaped within the framework of a current subject that is still under investigation. In addition to the factors used, topics such as tourism, psychology, and sociology are among the important factors that should be taken into account. In the future, studies to be carried out with the data that have been confirmed can show the country's performances much more clearly.

VI. REFERENCES

- [1] B. Bingül Ak, B. A. Türk and R. Ak, “Major outbreak in history in the context of Covid-19 and its economic results,” *Turkish Studies*, vol. 15, no.4, pp. 189-200, 2020.
- [2] N. Aydın, and G. Yurdakul, “Assessing Countries’ performances against COVID-19 via WSIDEA and Machine learning algorithms,” *Applied Soft Computing Journal*, vol. 97, p. 106792, 2020.
- [3] S. Kabadayi, G. E. O’Connor and S. Tuzovic, “The impact of coronavirus on service ecosystems as service mega-disruptions,” *Journal of Services Marketing*, vol. 34, no. 6, pp. 809-817, 2020.
- [4] Our World in Data (2021, April 10). *Coronavirus (COVID-19) Vaccinations 2020 to 2021* [Online]. Available: <https://ourworldindata.org/covid-vaccinations>.
- [5] J. H. Tanne, E. Hayasaki, M. Zastrow, P. Pulla, P. Smith and A. G Rada, “Covid-19: how doctors and healthcare systems are tackling coronavirus worldwide,” *Bmj*, vol. 368, pp. 1-5, 2020.
- [6] M. Di Marco, M. L. Baker, P. Daszak, P. De Barro, E. A. Eskew, C. M. Godde, T. D. Harwood, M. Herrero, A. J. Hoskins, E. Johnson, W. B. Karesh, C. Machalaba, J. N. Grcia, D. Paini, R. Pirzl, M. S. Smith, C. Zambrana-Torrel and S. Ferrier, “Opinion: Sustainable development must account for pandemic risk,” *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 117, no. 8, pp. 3888-3892, 2020.
- [7] V. Stojkoski, Z. Utkovski, P. Jolakoski, D. Tevdovski, and L. Kocarev, “The socio-economic determinants of the coronavirus disease (COVID-19) pandemic,” arXiv:2004.07947, 2020.
- [8] John Hopkins University Coronavirus Research Center (JHU) (2021, April 10). *Daily coronavirus data* [Online]. Available: <https://coronavirus.jhu.edu/data/new-cases>.
- [9] N. Fernandes. (2021). *Economic effects of coronavirus outbreak (COVID-19) on the world economy* [Online]. Available: <http://webmail.khazar.org/bitstream/20.500.12323/4496/1/Economic%20Effects%20of%20Coronaviruss%20Outbreak.pdf>
- [10] International Monetary Fund (2021, April 12). *Latest World Economic Outlook Growth Projection* [Online]. Available: <https://www.imf.org/en/Publications/WEO/Issues/2021/03/23/world-economic-outlook-april-2021>.
- [11] International Monetary Fund (2021, April 12). *Latest World Economic Outlook Growth Projections* [Online]. Available: <https://www.imf.org/en/Publications/WEO/Issues/2020/09/30/world-economic-outlook-october-2020>.
- [12] The World Bank (2021, April 12). *Unemployment, total (% of the total labor force) (modeled ILO estimate)* [Online]. Available: https://data.worldbank.org/indicator/SL.UEM.TOTL.ZS_
- [13] İ. Koç and F. Yardımcıoğlu, “COVID-19 process application standing pandemic measures and comparative analysis of financial incentives: Turkey and selected EU countries comparison,” *Journal of Politics Economics and Management Research*, vol. 8, no. 2, pp. 123-152, 2020.
- [14] A. Bilinski and E. J. Manuel, “COVID-19 and excess all-cause mortality in the US and 18 comparison countries,” *Jama*, vol. 324, no. 20, pp. 2100-2102, 2020.
- [15] E. K. Peker, G. Bektemur, K. N. Baydili and M. Aktaş, “Comparison of COVID-19 case-fatality-rates by socio-demographic factors,” *Orginal Investigation*, vol. 10, no. 3, pp. 246-251, 2020.

- [16] B. Tekin, "Classification of countries in the context of COVID-19, health and financial indicators during the COVID-19 pandemic period: hierarchical clustering analysis," *Journal of Finance Economy and Social Research*, vol. 5, no. 2, pp. 336-349, 2020.
- [17] V. Jain and L. Singh, "Global spread and socio-economic determinants of COVID-19 pandemic," *Seoul Journal of Economics*, vol. 33, no. 4, pp. 561-599, 2020.
- [18] S. Sannigrahi, F. Pilla, B. Basu, A. S. Basu, and A. Molter, "Examining the association between socio-demographic composition and COVID-19 fatalities in the European region using spatial regression approach," *Sustainable Cities and Society*, vol. 62, pp. 102418, 2020.
- [19] Y. Cao, A. Hiyoshi and S. Montgomery, "COVID-19 case-fatality rate and demographic and socioeconomic influencers: worldwide spatial regression analysis based on country-level data," *BMJ Open*, vol 10, no. 11, pp. e043560, 2020.
- [20] R. A. Middelburg and F. R. Rosendaal, "COVID-19: how to make between-country comparisons," *International Journal of Infectious Diseases*, vol. 96, pp. 477-481, 2020.
- [21] B. F. Dağcıoğlu and A. Keskin, "COVID-19 pandemic process in Turkey, Europe and America comparison of data: A cross-sectional study," *Ankara Medical Journal*, vol. 2, pp. 360-369, 2020.
- [22] F. Selamzade and Y. Özdemir, "Evaluation of the effectiveness of OECD countries against COVID-19 with DEA," *Turkish Studies*, vol. 15, no. 4, pp. 977-991, 2020.
- [23] D. Diakoulaki, G. Mavrotas and L. Papayannakis, "Determining objective weights in multiple criteria problems: the critic method," *Computers & Operations Research*, vol. 22, no. 7, pp. 763-770, 1995.
- [24] A. Jahan, F. Mustapha, S. M. Sapuan, M. Y. Ismail and M. Bahraminasab, "A framework for weighting of criteria in ranking stage of material selection process," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 58, no. 1, pp. 411-420, 2012.
- [25] J. L. Deng, "Control problems of grey systems," *Systems & Control Letters*, vol. 1, no. 5, pp. 288-294, 1982.
- [26] Y. Şahin and E. Aydemir, "An AHP-Weighted grey relational analysis method to determine the technical characteristics' importance levels of the smartphone," *Eskişehir Osmangazi University Journal of Economics and Administrative Sciences*, vol. 14, no. 1, pp. 225-238, 2019.
- [27] M. S. Yurtyapan and E. Aydemir, "ERP software selection using intuitionistic fuzzy and interval grey number-based MACBETH method," *Grey Systems: Theory and Application*, vol. 12, no. 1, pp. 78-100, 2021.
- [28] J. Deng, "Introduction to grey system theory," *The Journal of Grey System*, vol. 1, pp. 1-24, 1989.
- [29] Y. Ayriçay, M. Özçalıcı and K. Ahmet, "Using grey relational analysis as a financial benchmarking tool: an implementation for ISE-30 non-financial firms," *Kahramanmaraş Sütçü İmam University Journal of Social Sciences*, vol. 10, no. 1, pp. 219-238, 2013.
- [30] E. Aydemir, F. Bedir and G. Özdemir, "Grey system theory and applications: a literature review," *Suleyman Demirel University The Journal of Faculty of Economics and Administrative Sciences*, vol. 18, no. 3, pp. 187-200, 2013.

- [31] R. S. He and S. F. Hwang, "Damage detection by a hybrid real-parameter genetic algorithm under the assistance of grey relation analysis," *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 20, no. 7, pp. 980-992, 2007.
- [32] Z. Song and X. Yan, "Critical Path for a Grey Interval Project Network" in *Advances in Grey Systems Research*, first ed., vol. 1, Berlin, Germany: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010, pp. 37-46.
- [33] M. L. Tseng, "A causal and effect decision making model of service quality expectation using Grey-Fuzzy DEMATEL Approach," *Expert Systems with Applications*, vol. 36, no. 4, pp. 7738-7748, 2009.
- [34] E. K. Zavadskas, Z. Turskis and J. Tamošaitiene, "Risk assessment of construction projects," *Journal of Civil Engineering and Management*, vol. 16, no. 1, pp. 33-46, 2010.
- [35] C. C. Yang and B. S. Chen, "Supplier selection using combined analytical hierarchy process and grey relational analysis," *Journal of Manufacturing Technology Management*, vol. 17, no. 7, pp. 926-941, 2006.
- [36] A. I. Ozdemir and M. Deste, "Multicriteria supplier selection by grey relational analysis: a case study in automotive industry," *Istanbul University Journal of the School of Business Administration*, vol. 38, no. 2, pp. 147-156, 2009.
- [37] E. Çakır and G. Akel, "Evaluation of service quality of hotel and holiday reservation web sites in Turkey by integrated Swara- Grey Relationship Analysis Method," *PressAcademia Procedia*, vol. 3, no. 1, pp. 81-95, 2017.
- [38] Liu, D. "E-commerce system security assessment based on grey relational analysis comprehensive evaluation," *International Journal of Digital Content Technology and its Applications*, vol. 5, no. 10, pp. 279-284, 2011.
- [39] E. Aydemir and Y. Şahin, "Evaluation of healthcare service quality factors using grey relational analysis in a dialysis center," *Grey Systems: Theory and Application*, vol. 9, no. 4, pp. 432-448, 2019.
- [40] E. Yılmaz and F. Güngör, (2010, Kasım 11-12), *Gri ilişkisel analiz yöntemine göre farklı sertliklerde optimum takım tutucusunun belirlenmesi. Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi ve CAD-CAM Günleri 2012*, Balıkesir, Türkiye. [Online]. Available: <http://timak.balikesir.edu.tr/pdf2010/1-9.pdf> .
- [41] L. Y. Zhai, L. P. Khoo and Z. W. Zhong, "Design concept evaluation in product development using rough sets and grey relation analysis," *Expert Systems with Applications*, vol. 36, no. 3, pp. 7072-7079, 2009.
- [42] Z. C. Lin and C. Y. Ho, "Analysis and application of grey relation and ANOVA in chemical–mechanical polishing process parameters," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 21, no. 1, pp. 10-14, 2003.
- [43] C. L. Lin, J. L. Lin and T. C. Ko, "Optimization of the EDM process based on the orthogonal array with fuzzy logic and grey relational analysis method," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 19, no. 4, pp. 271-277, 2002.
- [44] Undata. (2021, April 12). *Per capita GDP at current prices-US dollars* [Online]. Available: [https://data.un.org/Data.aspx?q=GDP+Per+Capita+\(%24\)&d=SNAAMA&f=grID%3a101%3bcrrID%3aUSD%3bpcFlag%3a1](https://data.un.org/Data.aspx?q=GDP+Per+Capita+(%24)&d=SNAAMA&f=grID%3a101%3bcrrID%3aUSD%3bpcFlag%3a1).

[45] Undata. (2021, April 12). *Per capita total expenditure on health* [Online]. Available: http://data.un.org/Data.aspx?d=WHO&f=MEASURE_CODE%3aWHS7_105.

[46] Undata. (2021, April 12). *Unemployment rate* [Online]. Available: <http://data.un.org/Data.aspx?q=Unemployment+rate+&d=GenderStat&f=inID%3a121>.

[47] Undata. (2021, April 12). *Consumer prices* [Online]. Available: <http://data.un.org/Data.aspx?q=Consumer+price+index+&d=IFS&f=SeriesCode%3a64>.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Yeni Bir Genelleştirilmiş Normlu Uzay: A –Normlu Uzaylar

 Elif KAPLAN ^{a,*}

^aMatematik Bölümü, Fen Edebiyat Fakültesi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun, TÜRKİYE

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

DOI: 10.29130/dubited.984464

ÖZ

Bu çalışmada, normlu uzayların bir genelleştirmesi olarak A –normlu uzay kavramı tanımlandı ve bu yeni uzayın bazı temel özellikleri incelendi. Ayrıca A –metrik uzay ile A –normlu uzay arasındaki ilişki araştırıldı.

Anahtar Kelimeler: A –metrik uzay, Genelleştirilmiş normlu uzay, A –normlu uzay

A New Generalization of Normed Spaces: A –Normed Spaces

ABSTRACT

In this study, the concept of A –normed space as a generalization of normed spaces is defined and some basic properties of this new space are examined. In addition, the relationship between A –metric space and A –normed space is investigated.

Keywords: A –metric space, Generalized normed space, A –normed space

I. GİRİŞ

Metrik uzay kavramı ilk olarak 1906 yılında Frechet tarafından verilmiştir [1]. Bu kavram, reel ve kompleks teorilerde bilinen birçok önemli özelliğın herhangi bir uzaya nasıl aktarılacağı konusunda yol gösterici olmuştur. Ayrıca metrik kavramı matematiğın yanı sıra temel bilimler, mühendislik, tıp gibi pek çok alanda yapılan çalışmaların temelini oluşturmuştur. Bu kavramın öneminin anlaşılmasından sonra metrik yapısını genelleştirme fikri ortaya çıkmış ve bu fikir birçok araştırmacının dikkatini çekmiştir. Metrik uzayların koşullarında değişiklikler yaparak, uzayın tanım ya da görüntü kümesini değiştirerek çok sayıda genelleştirilmiş metrik uzay yapısı elde edilmiştir. İlk olarak, 1963 yılında Gähler alışımlı metrik uzayın bir genelleştirmesi olduğunu iddia ettiği 2 –metrik uzay kavramını tanıtmıştır [2]. Fakat 1988 yılında Ha ve arkadaşları bu iddianın doğru olmadığını göstermiştir [3]. 1992 yılında Dhage, yeni bir genelleştirilmiş metrik uzay yapısı olarak D –metrik uzay yapısını tanıttı ve bu uzayın topolojik özelliklerini inceledi [4]. Ancak bu yapıda da açık küme kavramı ile bu kavrama dayanan tanımların hatalı olduğu gösterildi [5]. Bunun üzerine Mustafa ve Sims genelleştirilmiş metrik uzay adı altında G –metrik uzay yapısını tanıttılar [6]. Bu gelişmelerin ardından 2012 yılında Sedghi ve arkadaşları metrik uzayların bir başka genelleştirmesi olan S –metrik uzayı tanıttılar [7]. 2015 yılında da Abbas ve arkadaşları S –metrik uzayların genelleştirilmesi olarak n –boyutlu tanım kümesi üzerinde A –metrik uzay kavramını sundular [8].

Öklid uzayında metrik ve norm kavramı birbirleri ile çok yakından ilişkilidir. Normlu bir lineer uzayda bir metrik her zaman bir normdan üretilebilir. Gähler 2 –metrik uzayı tanıttıktan sonra bu 2 –metriğı üreten 2 –norm kavramını da tanıttı [9]. Ancak sıfırdan farklı iki vektörün 2 –normunun sıfır olması yüzünden normlu uzayların yeni bir genelleştirilmesi arayışına girildi. 2014 yılında Khan, G –metriğı üreten G –norm kavramını tanıttı [10]. 2018 yılında Mutlu ve arkadaşları da yine G –metriğı üreten ve normlu uzayları genelleyen başka bir yaklaşım olarak fonksiyonel G –normlu uzayı tanıttılar [11]. Daha sonra 2021 yılında da, Taş ve Özgür S –metriğı üreten S –norm kavramını verdiler ve S –norm ile G –norm arasındaki ilişkiyi sundular [12]. Her G –normun bir S –norm olduğunu fakat tersinin doğru olmadığını ispatladılar.

Biz de bu çalışmamızda S –normlu uzay yapısını genelleştirip A –normlu uzayları tanıttık. Bu yeni normlu uzayın A –metrik uzaylar ve normlu uzaylar ile arasındaki ilişkiyi araştırdık.

Bu bölümde makaleye hazırlık olması açısından bazı ön bilgilere yer verilmiştir.

Tanım 1.1. X boştan farklı bir küme ve $n \geq 2$ sonlu bir doğal sayı olsun. $A: X^n \rightarrow [0, \infty)$ fonksiyonu her $i = \overline{1, n}$ için $\lambda_i, a \in X$ olmak üzere aşağıdaki şartları sağlasın:

$$A1) A(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n) \geq 0,$$

$$A2) A(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n) = 0 \Leftrightarrow \lambda_1 = \lambda_2 = \dots = \lambda_{n-1} = \lambda_n,$$

$$A3) A(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n) \leq \sum_{i=1}^n A(\lambda_i, \lambda_i, \dots, \lambda_i, a)$$

Bu durumda, A 'ya X üzerinde bir genelleştirilmiş metrik veya A –metrik, (X, A) ikilisine de bir genelleştirilmiş metrik uzay veya A –metrik uzay denir [8].

Örnek 1.2. $X = \mathbb{R}$ olsun. Her $i = \overline{1, n}$ için $\lambda_i \in X$ olmak üzere

$$A(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n) = \sum_{i=1}^n \sum_{i < j} |\lambda_i - \lambda_j|$$

ve

$$A(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n) = |\lambda_n + \dots + \lambda_2 - (n-1)\lambda_1| + |\lambda_n + \dots + \lambda_3 - (n-2)\lambda_2| + \dots + |\lambda_n - \lambda_{n-1}|$$

şeklinde tanımlı $A: X^n \rightarrow [0, \infty)$ fonksiyonları X üzerinde birer A –metriktir [8].

Örnek 1.3. X boştan farklı herhangi bir küme ve d fonksiyonu da X üzerinde tanımlı standart metrik olsun. Buna göre $n \geq 3$ olmak üzere her $\lambda_1, \dots, \lambda_n \in X$ için

$$A(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n) = d(\lambda_1, \lambda_n) + d(\lambda_2, \lambda_n) + \dots + d(\lambda_{n-1}, \lambda_n) = \sum_{i=1}^{n-1} d(\lambda_i, \lambda_n)$$

şeklinde tanımlanan $A: X^n \rightarrow [0, \infty)$ fonksiyonu X üzerinde bir A –metriktir [13]. Bu örnek aynı zamanda her standart metrikten bir A –metrik üretildiğini ifade eder.

II. A –NORMLU UZAYLAR

Bu bölümde A –normlu uzay tanımı verildi. Bu yeni genelleştirilmiş normlu uzayın A –metrik uzay ile arasındaki ilişki araştırılıp gerekli örnekler sunuldu.

Tanım 2.1. X bir reel vektör uzayı olmak üzere $\|\cdot, \dots, \cdot\|: X^n \rightarrow \mathbb{R}$ reel değerli fonksiyonu her $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n \in X$ ve $c \in \mathbb{R}$ için

$$\text{AN1) } \|\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n\| \geq 0$$

$$\text{AN2) } \|\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n\| = 0 \Leftrightarrow \lambda_1 = \lambda_2 = \dots = \lambda_n = 0$$

$$\text{AN3) } \|c\lambda_1, c\lambda_2, \dots, c\lambda_n\| = |c| \|\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n\|$$

AN4) Her $\lambda'_1, \dots, \lambda'_n \in X$ için

$$\|\lambda_1 + \lambda'_1, \lambda_2 + \lambda'_2, \dots, \lambda_n + \lambda'_n\| \leq \|0, 0, \dots, \lambda_1, \lambda'_n\| + \sum_{i=2}^n \|0, 0, \dots, \lambda_i, \lambda'_{i-1}\|$$

şartlarını sağlarsa $\|\cdot, \dots, \cdot\|$ fonksiyonuna X kümesi üzerinde bir A –norm ve $(X, \|\cdot, \dots, \cdot\|)$ ikilisine de A –normlu uzay denir.

Örnek 2.2. $X = \mathbb{R}$ ve $\|\cdot, \dots, \cdot\|: X^n \rightarrow \mathbb{R}$ fonksiyonu her $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n \in X$ için

$$\|\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n\| = |\lambda_1| + |\lambda_2| + \dots + |\lambda_n|$$

şeklinde tanımlı olsun. $(X, \|\cdot, \dots, \cdot\|)$ bir A –normlu uzaydır.

Çözüm. $\|\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n\| = |\lambda_1| + |\lambda_2| + \dots + |\lambda_n|$ fonksiyonunun A –norm olma şartlarını sağladığı gösterilmelidir.

AN1) Fonksiyonun tanımından mutlak değer özelliği gereği her $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n \in X$ için

$$\|\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n\| \geq 0$$

olduğu aşikardır.

AN2) Eğer $\|\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n\| = |\lambda_1| + |\lambda_2| + \dots + |\lambda_n| = 0$ ise $\lambda_1 = \lambda_2 = \dots = \lambda_n = 0$ olur. Tersine $\lambda_1 = \lambda_2 = \dots = \lambda_n = 0$ ise $\|\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n\| = 0$ olduğu açıktır.

AN3) $\overline{\lambda_1, \lambda_n} \in X$ ve $c \in \mathbb{R}$ olmak üzere

$$\begin{aligned} \|c\lambda_1, c\lambda_2, \dots, c\lambda_n\| &= |c\lambda_1| + |c\lambda_2| + \dots + |c\lambda_n| \\ &= |c||\lambda_1| + |c||\lambda_2| + \dots + |c||\lambda_n| \\ &= |c|(|\lambda_1| + |\lambda_2| + \dots + |\lambda_n|) \\ &= |c| \|\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n\| \end{aligned}$$

eşitliği elde edilir.

AN4) $\lambda_1, \dots, \lambda_n \in X$ ve $\lambda'_1, \dots, \lambda'_n \in X$ olmak üzere

$$\begin{aligned} \|\lambda_1 + \lambda'_1, \lambda_2 + \lambda'_2, \dots, \lambda_n + \lambda'_n\| &= |\lambda_1 + \lambda'_1| + |\lambda_2 + \lambda'_2| + \dots + |\lambda_n + \lambda'_n| \\ &= |\lambda_1| + |\lambda'_1| + |\lambda_2| + |\lambda'_2| + \dots + |\lambda_n| + |\lambda'_n| \\ &= |0| + |0| + \dots + |\lambda_1| + |\lambda'_n| + |0| + |0| + \dots + |\lambda_2| + |\lambda'_1| + \\ &\quad \dots + |0| + |0| + \dots + |\lambda_n| + |\lambda'_{n-1}| \\ &\leq \|0, 0, \dots, \lambda_1, \lambda'_n\| + \sum_{i=2}^n \|0, 0, \dots, \lambda_i, \lambda'_{i-1}\| \end{aligned}$$

eşitsizliği elde edilir.

Böylelikle $\|\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n\| = |\lambda_1| + |\lambda_2| + \dots + |\lambda_n|$ fonksiyonu (AN1), (AN2), (AN3) ve (AN4) şartlarını sağlar ve $(X, \|\cdot, \dots, \cdot\|)$ bir A –normlu uzaydır.

Örnek 2.3. $X = C([0,1])$ kümesi $[0,1]$ üzerinde reel değerli sürekli fonksiyonlar olmak üzere $\|\cdot, \dots, \cdot\|: X^n \rightarrow \mathbb{R}$ normu her $f_1, \dots, f_n \in X$ için,

$$\|f_1, f_2, \dots, f_n\| = \max_{u \in [0,1]} \{|f_1(u)| + |f_2(u)| + \dots + |f_n(u)|\}$$

şeklinde tanımlansın. Bu durumda $(X, \|\cdot, \dots, \cdot\|)$ bir A –normlu uzaydır.

Çözüm. $\|f_1, f_2, \dots, f_n\| = \max_{u \in [0,1]} \{|f_1(u)| + |f_2(u)| + \dots + |f_n(u)|\}$ fonksiyonunun (AN1), (AN2),

(AN3) şartlarını sağladığı kolaylıkla gösterilebilir. (AN4) şartının sağlandığını göstermek yeterli olacaktır. Her $f_1, \dots, f_n, f'_1, \dots, f'_n \in X$ için

$$\begin{aligned} \|f_1 + f'_1, f_2 + f'_2, \dots, f_n + f'_n\| &= \max_{u \in [0,1]} \{|f_1(u) + f'_1(u)| + |f_2(u) + f'_2(u)| + \dots \\ &\quad + |f_n(u) + f'_n(u)|\} \\ &\leq \max_{u \in [0,1]} \{|f_1(u)| + |f'_1(u)| + |f_2(u)| + |f'_2(u)| + \dots + |f_n(u)| + |f'_n(u)|\} \\ &\leq \max_{u \in [0,1]} \{|f_1(u)| + |f'_1(u)|\} + \dots + \max_{u \in [0,1]} \{|f_n(u)| + |f'_n(u)|\} \\ &= \|0, 0, \dots, f_1, f'_1\| + \dots + \|0, 0, \dots, f_n, f'_n\| \end{aligned}$$

eşitsizliği sağlanır. Böylece $(X, \|\cdot, \dots, \cdot\|)$ bir A –normlu uzaydır.

Aşağıdaki önerme her A –normun bir A –metrik ürettiğini ifade etmektedir.

Önerme 2.4. $(X, \|\cdot, \dots, \cdot\|)$ bir A –normlu uzay olsun.

$$A(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n) = \|\lambda_1 - \lambda_2, \lambda_2 - \lambda_3, \dots, \lambda_n - \lambda_1\| \quad (2.1)$$

şeklinde tanımlı $A: X^n \rightarrow [0, \infty)$ fonksiyonu X üzerinde bir A –metrik tanımlar.

İspat. (AN1) koşulundan

$$A(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n) = \|\lambda_1 - \lambda_2, \lambda_2 - \lambda_3, \dots, \lambda_n - \lambda_1\| \geq 0$$

olup (A1) koşulunun sağlandığı görülmüş olur.

Benzer şekilde (AN2) koşulundan (A2) koşulunun sağlandığı görülür.

(AN3) koşuluyla birlikte

$$\begin{aligned} A(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n) &= \|\lambda_1 - \lambda_2, \lambda_2 - \lambda_3, \dots, \lambda_n - \lambda_1\| \\ &= \|\lambda_1 - a + a - \lambda_2, \lambda_2 - a + a - \lambda_3, \dots, \lambda_n - a + a - \lambda_1\| \\ &\leq \|0, 0, \dots, \lambda_1 - a, a - \lambda_1\| + \|0, 0, \dots, \lambda_2 - a, a - \lambda_2\| + \dots + \|0, 0, \dots, \lambda_n - a, a - \lambda_n\| \\ &= A(\lambda_1, \lambda_1, \dots, \lambda_1, a) + A(\lambda_2, \lambda_2, \dots, \lambda_2, a) + \dots + A(\lambda_n, \lambda_n, \dots, \lambda_n, a) \end{aligned}$$

eşitsizliği elde edilir. A –fonksiyonu bir A –metriktir ve (X, A) bir A –metrik uzaydır.

(2.1) eşitliğindeki A –metriğe A –norm tarafından üretilen A –metrik denir ve $A_{\|\cdot\|}$ ile gösterilir.

Sonuç 2.5. Her A –normlu uzay bir A –metrik uzaydır.

Aşağıda Örnek 2.6'da verilen A –metrik bir A –norm tarafından üretilmiştir.

Örnek 2.6. X boştan farklı bir küme ve d fonksiyonu da X üzerinde tanımlı bir metrik olsun. $n \geq 3$ olmak üzere her $\lambda_1, \dots, \lambda_n \in X$ için

$$A(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n) = d(\lambda_1, \lambda_2) + d(\lambda_2, \lambda_3) + \dots + d(\lambda_{n-1}, \lambda_n) + d(\lambda_n, \lambda_1)$$

olacak şekilde tanımlanan $A: X^n \rightarrow [0, \infty)$ fonksiyonu X üzerinde bir A –metriktir.

$X = \mathbb{R}$ olsun. d fonksiyonu olarak X üzerindeki mutlak değer metriği düşünülün. Her $\lambda_1, \dots, \lambda_n \in X$ için $A(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n) = |\lambda_1 - \lambda_2| + |\lambda_2 - \lambda_3| + \dots + |\lambda_n - \lambda_1|$ olacak şekilde A –metriği elde edilir.

Önerme 2.4'ten bu A –metrik Örnek 2.2'de tanımlanan A –norm tarafından üretilir. Gerçekten her $\lambda_1, \dots, \lambda_n \in X$ için

$$\begin{aligned} A(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n) &= \|\lambda_1 - \lambda_2, \lambda_2 - \lambda_3, \dots, \lambda_n - \lambda_1\| \\ &= |\lambda_1 - \lambda_2| + |\lambda_2 - \lambda_3| + \dots + |\lambda_n - \lambda_1| \end{aligned}$$

$$= d(\lambda_1, \lambda_2) + d(\lambda_2, \lambda_3) + \dots + d(\lambda_n, \lambda_1)$$

bulunur.

Önerme 2.7. X boştan farklı bir küme olmak üzere bir A –normlu X uzayında bir A –norm tarafından üretilen A –metrik her $\lambda_1, \dots, \lambda_n, a \in X$ ve her c sabiti için aşağıdaki koşulları sağlar:

- (i) $A(\lambda_1 + a, \lambda_2 + a, \dots, \lambda_n + a) = A(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n)$
(ii) $A(c\lambda_1, c\lambda_2, \dots, c\lambda_n) = |c|A(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n)$

İspat. Önerme 2.4'ten norm ile metrik arasındaki ilişkiyi kullanarak,

$$\begin{aligned} \text{(i)} \quad A(\lambda_1 + a, \lambda_2 + a, \dots, \lambda_n + a) &= \|\lambda_1 + a - \lambda_2 - a, \lambda_2 + a - \lambda_3 - a, \dots, \lambda_n + a - \lambda_1 - a\| \\ &= \|\lambda_1 - \lambda_2, \lambda_2 - \lambda_3, \dots, \lambda_n - \lambda_1\| \\ &= A(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n) \end{aligned}$$

olduğu elde edilir.

(ii) Önerme 2.4 ve (AN3) koşulundan,

$$\begin{aligned} A(c\lambda_1, c\lambda_2, \dots, c\lambda_n) &= \|c\lambda_1 - c\lambda_2, c\lambda_2 - c\lambda_3, \dots, c\lambda_n - c\lambda_1\| \\ &= \|c(\lambda_1 - \lambda_2), c(\lambda_2 - \lambda_3), \dots, c(\lambda_n - \lambda_1)\| \\ &= |c| \|\lambda_1 - \lambda_2, \lambda_2 - \lambda_3, \dots, \lambda_n - \lambda_1\| \\ &= |c|A(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n) \end{aligned}$$

elde edilir.

Uyarı. Bu önerme tek taraflıdır. Yani bu iki koşulu sağlayan bir A –metrik bir A –normdan üretilmiştir denilemez. Bu önerme ile koşullardan en az birini sağlamayan bir A –metriğin A –normdan elde edilmediği söylenebilir.

Her A –metrik bir A –norm tarafından üretilemez. Aşağıdaki örnek bununla ilgilidir.

Örnek 2.8. X boştan farklı bir küme olmak üzere $A: X^n \rightarrow [0, \infty)$ fonksiyonu her $\lambda_1, \dots, \lambda_n \in X$ için

$$A(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n) = \begin{cases} 0, & \lambda_1 = \lambda_2 = \dots = \lambda_n \\ 1, & \text{diğer durumlar} \end{cases}$$

şeklinde tanımlı olsun. A fonksiyonu X üzerinde bir A –metriktir ve ayrık A –metrik olarak adlandırılır. Bu ayrık A –metrik bir A –norm tarafından üretilemez. Bu durumun tersi kabul edilip bu A –metriğin bir A –norm tarafından üretildiği varsayalım. $\lambda_1 = \lambda_2 = \dots = \lambda_{n-1} \neq \lambda_n$ olacak şekilde $\lambda_1, \dots, \lambda_n \in X$ ve $c \neq 0, c \neq 1$ olacak şekilde c skaleri alınsın. $\lambda = \lambda_2 = \dots = \lambda_{n-1} \neq \lambda_n$ olduğundan $c\lambda_1 = c\lambda_2 = \dots = c\lambda_{n-1} \neq c\lambda_n$ olup

$$\begin{aligned} A(c\lambda_1, c\lambda_2, \dots, c\lambda_n) &= 1 \neq |c|A(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n) \\ &= |c| \end{aligned}$$

elde edilir. Bu durum ise Önerme 2.7'nin (ii) koşulu ile çelişki ortaya çıkarır. Sonuç olarak ayrık A –metrik bir A –norm tarafından üretilemez.

Norm ile A –norm arasındaki ilişkiyi araştırmadan önce norm tanımını hatırlatmakta fayda vardır.

Tanım 2.9. N bir reel vektör uzayı ve $\|\cdot\|: N \rightarrow \mathbb{R}$ reel değerli bir fonksiyon olsun. Her $\lambda, \mu \in N$ ve her $c \in \mathbb{R}$ için,

$$N1) \|\lambda\| \geq 0$$

$$N2) \|\lambda\| = 0 \Leftrightarrow \lambda = 0$$

$$N3) \|c\lambda\| = |c|\|\lambda\|$$

$$N4) \|\lambda + \mu\| \leq \|\lambda\| + \|\mu\|$$

şartları sağlanırsa $\|\cdot\|$ fonksiyonuna N üzerinde bir norm ve $(N, \|\cdot\|)$ ikilisine de bir normlu uzay denir.

Aşağıdaki önerme her normun bir A –norm ürettiğini ifade etmektedir.

Önerme 2.10. $(X, \|\cdot\|)$ bir normlu uzay ve $\|\cdot, \dots, \cdot\|: X^n \rightarrow \mathbb{R}$ fonksiyonu her $\lambda_1, \dots, \lambda_n \in X$ için $\|\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n\| = \|\lambda_1\| + \|\lambda_2\| + \dots + \|\lambda_n\|$ şeklinde tanımlansın. O halde $(X, \|\cdot, \dots, \cdot\|)$ bir A –normlu uzaydır. Bu A –norm fonksiyonuna $\|\cdot\|$ normu tarafından üretilen A –norm denir.

İspat. Her $\lambda_1, \dots, \lambda_n \in X$ ve $c \in \mathbb{R}$ için,

(AN1) $(X, \|\cdot\|)$ bir normlu uzay olup (N1) şartını sağlar. Böylece $i = \overline{1, n}$ olmak üzere her $\lambda_i \in X$ için $\|\lambda_i\| \geq 0$ olup $\|\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n\| \geq 0$ sağlanır.

(AN2) Normlu uzayın (N2) şartından $\|\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n\| = 0 \Leftrightarrow \lambda_1 = \lambda_2 = \dots = \lambda_n$ olduğu açıktır.

(AN3) Normlu uzayın (N3) şartı ile birlikte

$$\begin{aligned} \|c\lambda_1, c\lambda_2, \dots, c\lambda_n\| &= \|c\lambda_1\| + \|c\lambda_2\| + \dots + \|c\lambda_n\| \\ &= |c|\|\lambda_1\| + |c|\|\lambda_2\| + \dots + |c|\|\lambda_n\| \\ &= |c|(\|\lambda_1\| + \|\lambda_2\| + \dots + \|\lambda_n\|) \\ &= |c|\|\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n\| \end{aligned}$$

elde edilir.

(AN4) $\lambda'_1, \lambda'_n \in X$ olsun.

$$\begin{aligned} \|\lambda_1 + \lambda'_1, \lambda_2 + \lambda'_2, \dots, \lambda_n + \lambda'_n\| &= \|\lambda_1 + \lambda'_1\| + \|\lambda_2 + \lambda'_2\| + \dots + \|\lambda_n + \lambda'_n\| \\ &\leq \|\lambda_1\| + \|\lambda'_1\| + \|\lambda_2\| + \|\lambda'_2\| + \dots + \|\lambda_n\| + \|\lambda'_n\| \\ &= (\|0\| + \|0\| + \dots + \|\lambda_1\| + \|\lambda'_1\|) + \dots + (\|0\| + \|0\| + \dots + \|\lambda_n\| + \|\lambda'_n\|) \\ &= \|0, 0, \dots, \lambda_1, \lambda'_1\| + \dots + \|0, 0, \dots, \lambda_n, \lambda'_n\| \end{aligned}$$

Sonuç olarak $\|\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n\| = \|\lambda_1\| + \|\lambda_2\| + \dots + \|\lambda_n\|$ fonksiyonu A –normlu uzay olmanın tüm koşullarını sağlar ve $(X, \|\cdot, \dots, \cdot\|)$ bir A –normlu uzaydır.

Örnek 2.11. Örnek 2.2'de tanımlanan A –norm alışılmış norm tarafından üretilmiştir.

III. SONUÇ

Bu makalenin amacı yeni bir genelleştirilmiş norm yapısı olarak A –normlu uzayı tanıtmaktır. Bu genelleştirilmenin yapılabilmesi için A –metrik uzayın özelliklerinden faydalandı. Daha sonra bu iki uzay arasındaki ilişki irdelendi ve her A –normlu uzayın bir A –metrik ürettiği fakat tersinin doğru olmadığı gösterildi. Normlu uzaylar ile genelleştirilmiş norm yapısı olan A –normlu uzay arasındaki ilişki tek taraflı incelendi. Her normlu uzayın bir A –norm ürettiği gösterildi. "Herhangi bir norm tarafından üretilmeyen A –norm var mıdır?" sorusunun cevabı açık problem olarak ilgilenenlere bırakıldı.

IV. KAYNAKLAR

[1] Fréchet, M. M., "Sur quelques points du calcul fonctionnel," *Rendiconti del Circolo Matematico di Palermo (1884-1940)*, vol. 22, no. 1, pp. 1-72, 1906.

[2] S. Gähler, "2-Metriche raume und ihre topologische strukture," *Math. Nachr.* vol. 26, pp. 115–148, 1963.

[3] K. S. Ha, Y. J. Cho and A. White, "Strictly convex and strictly 2-convex 2-normed spaces," *Math. Jpn.*, vol. 33, no. 3, pp. 375–384, 1988.

[4] B. C. Dhage, "Generalized metric spaces and mapping with fixed point," *Bull. Cal.Math. Soc.*, vol. 84, pp. 329–336, 1992.

- [5] Z. Mustafa and B. Sims, "Some remarks concerning metric spaces," in *International Conferences on Fixed Point Theory and Application*, Valencia, Spain, 2003, pp. 189-198.
- [6] Z. Mustafa, and B. Sims, "A new approach to generalized metric spaces," *Journal of Nonlinear and Convex Analysis*, vol. 7, no.2, pp. 289-297, 2006.
- [7] S. Sedghi, N. Shobe and A. Aliouche, "A generalization of fixed point theorem in metric spaces," *Matematicki Vesnik*, vol. 64, no. 3, pp. 258-266, 2012.
- [8] M. Abbas, B. Ali and Y. I. Suleiman, "Generalized coupled common fixed point results in partially ordered A-metric spaces," *Fixed Point Theory and Applications*, vol. 2015, no. 1, pp. 1-24, 2015.
- [9] S. Gähler, "Lineare 2-normierte Räume," *Math. Nachr.* vol. 28, pp. 1-43, 1964.
- [10] K. A. Khan, "Generalized normed spaces and fixed point theorems," *Journal of Mathematics and Computer Science*, vol. 13, pp. 157-167, 2014.
- [11] A. Mutlu, U. Gürdal and K. Özkan, "A New Approach to G –Normed Spaces: Functionally Generalized Normed Spaces," *Celal Bayar University Journal of Science*, vol. 14, pp. 1-12, 2018.
- [12] N. Taş and N. Özgür, "A New Generalization of Rhoades' Condition," 2021, *arXiv:2105.13129*.
- [13] G. Zaim Erçınar, "Sabit Noktaların Bazı Geometrik Özellikleri," Ph.D. dissertation, Dept. Mathematics, Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye, 2020.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Teucrium chamaedrys subsp. *chamaedrys* Bitkisinin *in vitro* Antimikrobiyal Aktivitesi ve Etanol Ekstrakt Kompozisyonunun Gaz Kromatografisi/Kütle Spektrometresi ile Belirlenmesi

 Kaan ÇETİN^{a,*},  Başaran DÜLGER^b

^a Biyoloji Anabilim Dalı, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

^b Biyoloji Bölümü, Fen Edebiyat Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

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

DOI: 10.29130/dubited.1002626

ÖZ

Bu çalışmada, Düzce ilinden toplanan Lamiaceae familyasına ait *Teucrium chamaedrys* L. subsp. *chamaedrys* L. bitkisinden elde edilen etanol, etil asetat ve kloroform ekstraktları *Escherichia coli*, *Streptococcus pyogenes*, *Proteus vulgaris*, *Klebsiella pneumoniae*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Enterococcus faecalis*, *Salmonella typhimurium*, *Bacillus cereus* ve *Bacillus subtilis* gibi bakteri kültürlerine ve *Candida albicans*, *Candida tropicalis*, *Kluyveromyces marxianus*, *Cryptococcus neoformans* ve *Debaryomyces hansenii* gibi maya kültürleri kullanılarak antimikrobiyal aktivitelerini incelemek amacıyla disk difüzyon yöntemiyle araştırılmıştır. *Teucrium chamaedrys* L. subsp. *chamaedrys* L. bitkisinin en yüksek antibakteriyel aktivitesi etanol ekstraktında *S.aureus* (14mm) bakterisine karşı belirlenmiştir. En etkili antifungal etki ise yine etanol ekstraktında *K. marxianus* (17mm) maya türüne karşı gözlemlenmiştir. Etanolün, bitki bileşiklerinin ekstraksiyon işlemlerinde diğer çözücülere göre daha etkili olduğu belirlenmiştir. Buna ilaveten bitkinin kimyasal karakterizasyonu Gaz Kromatografisi Kütle Spektroskopisi (GC/MS) tekniği ile araştırılmıştır. Elde ettiğimiz bulgular bitkinin mikrobiyal enfeksiyonlara karşı halk arasında ilaç olarak kullanımının uygunluğunu destekler niteliktedir.

Anahtar Kelimeler: Kimyasal bileşim, Antimikrobiyal aktivite, Disk difüzyon yöntemi, GC-MS, *Teucrium chamaedrys* subsp. *chamaedrys*

in vitro Antimicrobial Activity of *Teucrium chamaedrys* subsp. *chamaedrys* and Determination of The Ethanol Extract Composition By Gas Chromatography/Mass Spectrometry

ABSTRACT

In this study, ethyl acetate, ethanol and chloroform extracts obtained from *Teucrium chamaedrys* L. subsp. *chamaedrys* L. (Lamiaceae) collected from Duzce province were investigated by disc diffusion method in order to examine their antimicrobial activities against *Escherichia coli*, *Streptococcus pyogenes*, *Proteus vulgaris*, *Klebsiella pneumoniae*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Enterococcus faecalis*, *Salmonella typhimurium*, *Bacillus cereus* and *Bacillus subtilis* as bacterial cultures and *Candida albicans*, *Candida tropicalis*, *Kluyveromyces marxianus*, *Cryptococcus neoformans* and *Debaryomyces hansenii* as the yeast cultures. While, the highest antibacterial activity was measured against *S. aureus* (14 mm) bacteria in the ethanol extract, the highest antifungal activity was measured against the yeast culture of *K. marxianus* (17 mm) in ethanol extract. Besides,

chemical characterization of the plant was investigated by Gas Chromatography Mass Spectroscopy (GC/MS) technique. Our findings support the suitability of the plant as a medicine against microbial infections among the public.

Keywords: Chemical composition, Antimicrobial activity, Disk diffusion method, GC-MS, *Teucrium chamaedrys* subsp. *Chamaedrys*

Geliş: 30/09/2021, Düzeltme: 20/10/2021, Kabul: 25/10/2021

I. GİRİŞ

İnsanoğlu bitkilerin tedavi edici özelliklerden çok eski tarihlerden beri yararlanmaktadır. 1926 yılından bu yana, bitkilerin insan sağlığı için önemleri ve mikroorganizmalar üzerine öldürücü özellikleri laboratuvarlarda araştırılmaktadır. Dünya sağlık örgütüne (WHO) göre, Dünya üzerinde 20.000 civarında tedavi amaçlı kullanılan tıbbi bitki bulunmaktadır [1].

Lamiaceae familyasına giren bitkilerin pek çoğu çok eski zamanlardan beri halk ilacı olarak çeşitli hastalıkların tedavisinde kullanılmakla beraber; bu bitkilerin tıpta, gıda endüstrisinde, parfümeri ve kozmetikte çeşitli kullanımlar sahaları bulunmaktadır. Buna ilaveten, bugün itibarı ile bu familya bitkilerinin rasyonel fitoterapiye ait pek çok preparatta da yer aldıkları aşikardır [2]. *Teucrium* L. cinsi üyeleri 2000 yıldan fazla bir süredir tıbbi bitkiler olarak kullanılmaktadırlar ve *Teucrium* L. cinsinin Türkiye’de 32 türü bulunmaktadır [3,4]. Bu cinse ait türler, içerdikleri çeşitli etken maddeler nedeni ile gerek Asya gerekse Avrupa ve Afrika kıtalarında ilkçağdan günümüze değin çeşitli hastalıkların tedavisi amacıyla yararlanılan bitkilerdir [5].

T. chamaedryssubsp. chamaedrys bitkisi ülkemizde “kısamahmut otu” ve “dalak otu” olarak bilinmekte olup, başlıca Kuzey, Güney ve Orta Anadolu’da yayılım göstermekte olup, bu bitki yaraları iyi edici, uyarıcı, iştah açıcı ve ateş düşürücü gibi özellikleri ile kullanım görmektedir. Bu bitkinin Bulgaristan’ın yöresel halkı tarafından, yapraklarından yapılan bir çay ile gastrite karşı kullanımı bulunmaktadır [6,7]. Rutin arazi çalışmaları sırasında, ilgili bitkinin bölge civarı hakkında yaraları iyi edici olarak kullanımı belirlenmiştir. Buradan yola çıkarak, bu çalışmada *T. chamaedrys* subsp. *chamaedrys* bitkisine ait ekstraktların antimikrobiyal etkilerinin ölçülmesi ve halk tıbbındaki yaygın kullanımının uygunluğunun bilimsel yöntemlerle araştırılması amaçlanmıştır. Ayrıca bitkinin kimyasal içerik yapısı analiz edilerek sahip olduğu kimyasal bileşiklerin belirlenmesi hedeflenmiştir.

II. YÖNTEM

A. BİTKİ MATERYALİ

Rutin arazi çalışmaları sırasında, *Teucrium chamaedrys* L. subsp. *chamaedrys* L. bitkisinin çiçekli toprak üstü kısımları, Düzce Üniversitesi, Konuralp Yerleşkesi’nden [280 m 40°54’24.19”K, 31°11’12.18”D (27/05/2020)] toplanmış ve Prof.Dr. Ersin Karabacak (Çanakkale 18 Mart Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü) tarafından teşhis edilmiştir.

B. TEST MİKROORGANİZMALARI

Çalışmada test mikroorganizmaları olarak; *Escherichia coli*, *Streptococcus pyogenes*, *Proteus vulgaris*, *Klebsiella pneumoniae*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Enterococcus faecalis*, *Salmonella typhimurium*, *Bacillus cereus* ve *Bacillus subtilis* bakteri kültürleri ve *Candida albicans*, *Candida tropicalis*, *Kluyveromyces marxianus*, *Cryptococcus neoformans* ve *Debaryomyces hansenii* maya kültürleri kullanılmıştır. Test mikroorganizmaları, Düzce Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Tıbbi Biyoloji Araştırma laboratuvarı’ndan sağlanmıştır.

C. EKSTRAKTLARIN HAZIRLANMASI

Araziden toplanan *Teucrium chamaedrys* L. subsp. *chamaedrys* L. bitkisine ait çiçekli toprak üstü kısımları uygun herbaryum teknikleri kullanılarak araştırma laboratuvarında kurutulmuştur. Kuruyan bitki kısımları aseptik şartlarda mekanik parçalayıcı kullanılarak toz haline getirilmiştir. Toz halindeki bitkiden 15 g tartılarak %96'lık 180 mL etanol (Merck, Darmstadt) ile soxhlet cihazına yerleştirilerek, 12 saat süren ekstraksiyon işlemi sonrasında aynı metot diğer çözücüler olan kloroform ve etil asetat ekstraktları için de uygulanmıştır. Elde edilen etanol, etil asetat ve kloroform ekstraktları korunaklı olarak +4 °C'de soğutucuda muhafaza edilmiştir [8].

D. DİSK DİFÜZYON YÖNTEMİ

Stok halde muhafaza edilen test mikroorganizmalarını aktifleştirmek için Mueller Hinton Broth (MHB) (Oxoid) besiyerleri kullanılmıştır. İnkübasyon işlemi bakteriler için 35-37 °C'de 24-48 saat, mayalar için ise 25-27 °C'de 48-72 saat olarak gerçekleştirilmiştir. Daha sonra, steril petrilere 20 mL Mueller Hinton Agar (MHA) (Oxoid) dökülmüştür. İnkübasyon sonrası, test mikroorganizmalarından mikropipet ile steril şartlarda 100 µL alınarak, besi ortamı petrilere ekimler yapılmıştır. 6 mm çapındaki boş steril diskler (Bioanalyse) aseptik şartlarda 75µL olacak şekilde bitkiden elde edilen ekstraktlar emdirilmiştir. Bu diskler mikroorganizma ekimi yapılan MHA'lı petrilere uygun mesafelerde ve kullanılan üç ekstrakt sayısına uygun bir şekilde üç bölgeye steril bir pens yardımıyla yerleştirilmiştir. Her diskin tüm yüzeyinin besi ortamına teması sağlanmıştır. 35-37 °C'de 24-48 saat bakterileri için, 25-27 °C'de 48-72 saat ise mayalar için inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon sürelerinin sonlarında disk çevresindeki inhibisyon zonlarının çapları milimetrik olarak ölçülmüştür [9,10]. Ayrıca, negatif kontrol için yalnız çözücüler emdirilmiş steril diskler, pozitif kontrol için ise ticari olarak kullanımda olan standart antibakteriyel ve antifungal antibiyotik diskleri kullanılmıştır. Tüm deneyler, üç tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir.

E. GAZ KROMOTOGRAFİSİ KÜTLE SPEKTROSKOPİSİ (GC/MS) YÖNTEMİ

Bu çalışmada, *T. chamaedrys* subsp. *chamaedrys* bitkisinden elde edilen etanol ekstraktının kompozisyonu Agilent marka 8890 model GC/MS cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Buna göre, enjektör sıcaklığı 350 °C ve taşıyıcı olarak He gazı kullanılmıştır (1mL/dk). Enjektör modu 10:1 split, enjektör hacmi 1 mikrolitredir. Fırın 40°C' den 150 °C'ye kadar dakikada 4 derece, 150 °C'den 180 °C'ye kadar dakikada 3 derece, 180 °C'den 230 °C'ye dakikada 2 derece ve 230 °C'den 280 °C' ye kadar dakikada 1 °C derece artışla gerçekleşmiştir. GC/MS tekniği ile elektron iyonlaştırması sonucu oluşan iyonlar, kütle/yük oranlarına göre ayrılarak dedektörde kaydedilmiş ve veriler bilgisayardan alınmıştır. En güncel Nist ve Wiley veri kütüphanelerindeki bileşiklerin verileri çapraz karşılaştırma sonucu bileşikler tayin edilmiştir [11,12].

III. BULGULAR ve TARTIŞMA

Düzce Yöresinde yayılış gösteren *Teucrium chamaedrys* subsp. *chamaedrys* bitkisinin antimikrobiyal aktivitesi üzerine yapılan çalışmanın bulguları Tablo-1 ve Tablo-2'de verilmiştir. Çalışma sonucunda el ettiğimiz verilere göre; *Teucrium chamaedrys* subsp. *chamaedrys* bitkisine ait etanol ekstraktının *E. coli*, *S. typhimurium*, *S. pyogenes*, *P. vulgaris*, *S. aureus*, *B. cereus*, *B. subtilis*, *E. faecalis*, *K. pneumoniae*, *C. albicans*, *C. neoformans* ve *D. hansenii* türlerine etki etmediği, diğer mikroorganizmalara ise 9-17 mm arasında değişen inhibisyon zonları ile etkili olduğu gözlenmiştir. Bitkiye ait kloroform ekstraktının *E. coli*, *S. typhimurium*, *S. pyogenes*, *K. pneumoniae*, *B. cereus*, *B. subtilis*, *E. faecalis*, *C. albicans*, *C. tropicalis*, *C. neoformans* ve *D. hansenii* türleri üzerinde etkili olmadığı, diğer mikroorganizmalarda ise 7-13 mm arasında inhibisyon zonları oluşturduğu saptanmıştır. Bitkiden elde edilen etil asetat ekstraktının *E. coli*, *S. typhimurium*, *P. vulgaris*, *S. pyogenes*, *S. aureus*, *K. pneumoniae*, *B. cereus*, *B. subtilis*, *E. faecalis*, *C. albicans*, *C. neoformans* ve *D. hansenii* mikroorganizmalarına kaşı etkisiz, diğer

türlere kaşı ise 7-9 mm arasında inhibisyon zonları ile değişik seviyelerde aktivite oluşturduğu belirlenmiştir. Bitkinin etanol ekstratının *C. tropicalis* türü üzerinde oluşturduğu inhibisyon zonu değeri (13mm), FLU₂₅, MCZ₁₀ ve KTC₁₀ antibiyotiklerinden, *K. marxianus* türü üzerinde oluşturduğu inhibisyon zonu değeri (17mm), FLU₂₅, MCZ₁₀, CLT₁₀, NY₁₀₀ antibiyotiklerinden daha yüksektir. Bitkinin kloroform ekstratının *K. marxianus* türü üzerinde oluşturduğu inhibisyon zonu değeri (13mm), FLU₂₅, CLT₁₀ ve MLT₁₀ antibiyotiklerinden yüksektir. Bitkiye ait etil asetat ekstratının *K. marxianus* türü üzerinde oluşturduğu inhibisyon zonu ise (9 mm) FLU₂₅ mukayese antibiyotiğinden daha yüksektir.

Tablo 1. *Teucrium chamaedrys subsp. chamaedrys* bitkisine ait ekstraktların antimikrobiyal aktivitesi.

Test Mikroorganizmaları	İnhibisyon Zonları (mm)*		
	Ekstraktlar		
	Etanol (75 µL)	Kloroform (75 µL)	Etil Asetat (75 µL)
Bakteriler			
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	12	9	9
<i>Escherichia coli</i>	6	6	6
<i>Salmonella typhimurium</i>	6	6	6
<i>Streptococcus pyogenes</i>	6	6	6
<i>Proteus vulgaris</i>	6	6	6
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	6	6	6
<i>Staphylococcus aureus</i>	14	6	6
<i>Enterococcus faecalis</i>	6	6	6
<i>Bacillus cereus</i>	6	6	6
<i>Bacillus subtilis</i>	6	6	6
Maya Kültürleri			
<i>Candida albicans</i>	6	6	6
<i>Candida tropicalis</i>	13	6	6
<i>Kluyveromyces marxianus</i>	17	13	9
<i>Cryptococcus neoformans</i>	6	6	6
<i>Debaryomyces hansenii</i>	6	6	6

* Değerlere disk çapları (6 mm) dahil olup, üç bağımsız deneyin ortalamasıdır.

Tablo 2. Çalışmada kullanılan bazı standart antibiyotiklerin antimikrobiyal aktivitesi.

Test Mikroorganizmaları	İnhibisyon Zonları (mm)*													
	Antibakteriyel Mukayese Antibiyotikleri										Antifungal Mukayese Antibiyotikleri			
	CN ₁₀	E ₁₅	TOB ₁₀	AZM ₁₅	S ₁₀	CIP ₅	TE ₃₀	NET ₃₀	IPM ₁₀	FLU ₂₅	KTC ₁₀	MCZ ₁₀	CLT ₁₀	NY ₁₀₀
Bakteriler														
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	22	34	21	30	26	41	27	27	45	Nt	Nt	Nt	Nt	Nt
<i>Escherichia coli</i>	14	40	18	33	18	44	13	10	52	Nt	Nt	Nt	Nt	Nt
<i>Salmonella typhimurium</i>	28	32	24	28	23	29	28	31	48	Nt	Nt	Nt	Nt	Nt
<i>Streptococcus pyogenes</i>	19	27	17	25	19	30	26	22	38	Nt	Nt	Nt	Nt	Nt
<i>Proteus vulgaris</i>	16	20	18	12	20	22	13	12	32	Nt	Nt	Nt	Nt	Nt
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	11	19	8	8	27	20	10	13	33	Nt	Nt	Nt	Nt	Nt
<i>Staphylococcus aureus</i>	19	30	19	23	23	33	29	22	42	Nt	Nt	Nt	Nt	Nt
<i>Enterococcus faecalis</i>	18	30	22	21	21	28	24	21	33	Nt	Nt	Nt	Nt	Nt

Tablo 2 (Devam). Çalışmada kullanılan bazı standart antibiyotiklerin antimikrobiyal aktivitesi.

<i>Bacillus cereus</i>	19	30	20	21	17	28	28	22	35	Nt	Nt	Nt	Nt	Nt
<i>Bacillus subtilis</i>	27	39	22	27	24	40	36	30	45	Nt	Nt	Nt	Nt	Nt
Maya Kültürleri														
<i>Candida albicans</i>	Nt	Nt	Nt	Nt	Nt	Nt	Nt	Nt	Nt	6	18	11	10	14
<i>Candida tropicalis</i>	Nt	Nt	Nt	Nt	Nt	Nt	Nt	Nt	Nt	7	12	9	14	20
<i>Kluyveromyces marxianus</i>	Nt	Nt	Nt	Nt	Nt	Nt	Nt	Nt	Nt	6	18	12	10	16
<i>Cryptococcus neoformans</i>	Nt	Nt	Nt	Nt	Nt	Nt	Nt	Nt	Nt	9	18	12	9	6
<i>Debaryomyces hansenii</i>	Nt	Nt	Nt	Nt	Nt	Nt	Nt	Nt	Nt	6	17	8	10	16

Nt: Test edilmedi, CN₁₀ (Gentamicin, 10 µg/disc), E₁₅ (Eritromisin, 15 µg/disc), TOB₁₀ (Tobramisin, 10 µg/disc), AZM₁₅ (Azitromicin, 15 µg/disc), S₁₀ (Streptomisin, 10 µg/disc), CIP₅ (Ciprofloksasin, 5 µg/disc), TE₃₀ (Tetrasiklin, 30 µg/disc), NET₃₀ (Netilmicin, 30 µg/disc), IPM₁₀ (Imipenem, 10 µg/disc), FLU₂₅ (Flukonazol, 25 µg/disc), KTC₁₀ (Ketokonazol, 10 µg/disc), MCZ₁₀ (Mikonazol, 10 µg/disc), CLT₁₀ (Klotrimazol, 10 µg/disc), NY₁₀₀ (Nistatin, 100 µg/disc).

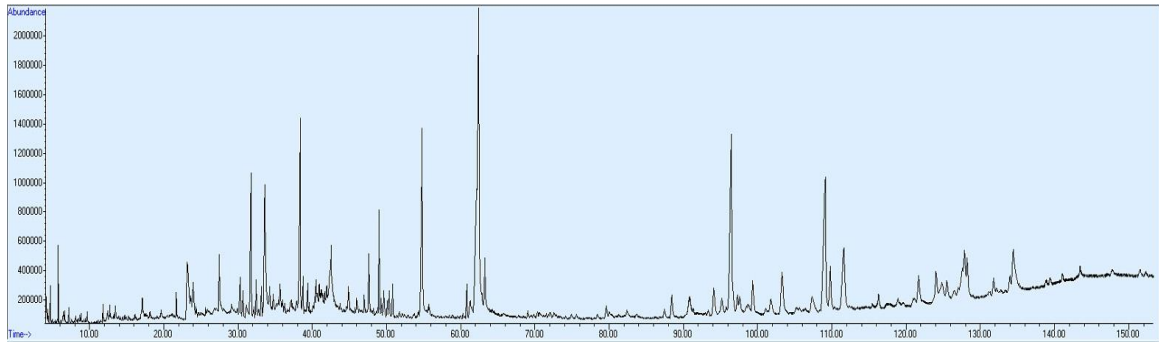
* Disklerin çapı (6 mm) olup değerler üç bağımsız deneyin ortalamasıdır.

Yaylı (2007), *T. chamaedrys* subsp. *chamaedrys* bitkisine ait uçucu yağın antimikrobiyal aktivitesini araştırmışlar ve test mikroorganizmaları olarak; *Yersinia pseudotuberculosis* ATCC 911, *Klebsiella pneumoniae* ATCC 13883, *Escherichia coli* ATCC 35218, *Enterococcus faecalis* ATCC 29212, *Staphylococcus aureus* ATCC 25923, *Serratia marcescens* ATCC 13880, *Bacillus subtilis* ATCC 6633, *Candida tropicalis* ATCC 13803 ve *Candida albicans* ATCC 60193 kullanmışlardır. Çalışmada çözücü olarak asetonun kullanıldığı bitkiye ait uçucu yağın, *E. coli*, *Y. pseudotuberculosis*, *S. marcescens*, *S. aureus* ve *E. faecalis*, mikroorganizmalarına karşı antimikrobiyal aktivite gösterirken, diğer 4 mikroorganizmaya karşı aktivite göstermediğini tespit etmişlerdir. Yapmış oldukları çalışma sonucunda en yüksek antimikrobiyal etkiyi *Y. pseudotuberculosis* türü göstermiştir. Bulgulara göre *E. coli*, *S. marcescens*, *E. faecalis* ve *S. aureus* türleri orta derece etki gösterirken, *B. subtilis*, *C. albicans*, *C. tropicalis* ve *K. pneumoniae* türlerinin ise etkisiz olduklarını belirlemişlerdir [13]. Çalışma verilerine göre bitkinin *S. aureus*, *B. subtilis*, *K. pneumoniae* ve *C. albicans* türleri üzerinde oluşturduğu değerler ile bizim çalışmamızda elde ettiğimiz sonuçlar benzerlik gösterse de *E. coli*, *E. faecalis* ve *C. albicans* türlerinin oluşturduğu değerler ile bu çalışmada elde ettiğimiz veriler arasında farklılıklar bulunmaktadır. Bu farklılığın nedeni olabilecek başlıca etkenler, iki çalışmada kullanılan çözücülerin farklı olması, çalışmada kullanılan mikroorganizma kemotiplerinin ve ikincil metabolitlerin bileşimindeki farklılıklar olabilir. Literatürde *T. chamaedrys* bitkisinin antimikrobiyal etkisini gösteren fazla çalışma olmaması, elde ettiğimiz sonuçların daha net bir şekilde karşılaştırılabilmesine engel teşkil etse de çalışmalar arasındaki benzerlikler bitkinin antimikrobiyal etkisinin ortaya koyulması adına önem arz etmektedir.

K. marxianus, bağışıklığı baskılanmış bireylerde ortaya çıkabilmesine rağmen, genellikle insan hastalığının bir nedeni değildir. Fakat kalp pilleri ve protez kalp kapakları gibi insan vücudundaki pek çok kalıcı cihazın biyofilmlerinde rastlanmaktadır. Tedavisinde kapsamlı yan etkileri nedeniyle, genellikle kritik hastalarda ya da bağışıklığı baskılanmış hastalarda ciddi mantar enfeksiyonları için kullanılan amfoterisin B antibiyotigi kullanılmaktadır [14]. Bitkinin etanol ekstraktı emdirilmiş disklerinin özellikle *K. marxianus* türü üzerinde oluşturduğu inhibisyon zonlarının deneyde kullandığımız 5 farklı mukayese antibiyotiginin 4 tanesinden daha etkili olması, *T. chamaedrys* subsp. *chamaedrys* bitkisinin *K. marxianus* mayasına karşı alternatif bir antimikrobiyal ajan olarak kullanılmasının uygun olabileceğini göstermektedir. Bu çalışmada etil asetat, etanol ve kloroform ekstraktlarının test mikroorganizmalarına karşı oluşturduğu inhibisyon zonlarının çapları ölçülerek, bu değerler tüm ekstraktlarla karşılaştırıldığında, etanol ekstraktında meydana gelen zon çaplarının toplamının diğer çözücülerle elde edilen ekstraktlardan daha fazla olduğu saptanmıştır. Ayrıca etanol ekstraktı ile saptanan bazı aktivite bulgularının, test mikroorganizmaları olarak kullanılan türler üzerinde bazı mukayese antibiyotik bulgularından daha yüksek çıktığı da belirlenmiştir. Bu durum çalışmamızda kullanılan etanolün diğer çözücülere göre, antimikrobiyal maddelerin ekstrakte edilmesi

bakımından en etkili çözücü olduğunu vermektedir. Buna ilaveten, disk difüzyon yöntemi araştırmalarında, elde edilen etanol ekstraktlarının çok daha iyi sonuçlar verdiği literatür bilgisinde de ortaya konmuştur [13].

Teucrium chamaedrys bitkisinin kimyasal içerik yapısı Tablo-3'de ve bitkiden elde edilen etanol ekstraktının GC/MS spektrumu da Şekil-1'de verilmiştir. Bitkinin kimyasal yapısı Gaz Kromatografisi Kütle Spektroskopisi (GC/MS) tekniği ile analiz edildiğinde; 2-Furanmethanol (Furfuril Alkol), catechol (Katekol), beta-Bourbonene (B-Burbonen), 2-furancarboxaldehyde (Furfural), cyclododecane (Siklododekan), alpha-Humulene (A-Humulen), 1-heptadecene (1-Heptadeken), caryophyllene (Kariofilen), 5-hydroxymethylfurfural (Hidroksimetilfurfural), 2-methoxy-4-vinylphenol (2-Metoksi-4-vinilfenol), trans-alpha-Bergamotene (Trans alfabergamoten) caryophylleneepoxide (Karyofillenoksit), 1-methyl-5-methylene-8-isopropyl-1,6-cyclodecadiene, (1,6-Siklodekadien, 1-metil-5-metilen-8-(1-metiletil)1, 5,5,8-Tetramethyl-12-thiabicyclo[9.1.0]dodeca-3,7-diene (1,2-Epithiohumilen), 5-.alpha.-Hydroxycaryophylla-4(12),8(13)-diene (5-a-Hidroksikaryofil-4(12),8(13)-dien), 4-((1E)-Hydroxy-1-propenyl]-2-methoxyphenol(4-((1E)-Hidroksi-1-propenil]-2-metoksifenol), 1-Octadecene (Oktadesen), Neophytadiene (Neofitadien), 1,1,7-Trimethyldecahydro-3a,7-methanocyclopenta[8] (annulene-3,6-diol), Neophytadiene (Neofitadien), Palmitic acid (Palmitik asit), 3,7,11,15-Tetramethyl-2-hexadecen-1-OL (3,7,11,15-Tetrametil-2-heksadesen-1-OL), 9,12,15-Octadecatrienoic acid (Alfa linolenik asit), Stearic acid (Stearik asit), 12-Epi-Teucvin ile 4 adet evrensel kütüphanede bulunmayan kimyasal içerik belirlenmiştir.



Şekil 1. *Teucrium chamaedrys subsp. chamaedrys* bitkisinin etanol ekstraktının genişletilmiş GC-MS spektrumu.

Tablo 3. *T. chamaedrys subsp. chamaedrys* bitkisinin etanol ekstraktının GC-MS analiz sonuçları.

Sıra	Molekül İsmi	Alan %	Yakalama Zamanı
1	2-Furanmethanol	0,15	7.222
2	Catechol	2,93	23.173
3	5-Hydroxymethylfurfural	1,13	23.942
4	2-Methoxy-4-vinylphenol	1,72	27.457
5	.BETA. BOURBONENE	0,69	30.273
6	Cyclododecane	0,38	30.684
7	Caryophyllene	2,41	31.727
8	trans-.alpha.-Bergamotene	0,56	32.465
9	.alpha.-Humulene	0,47	33.156
10	Unknown	4,24	33.607
11	8-ISOPROPYL-1-METHYL-5-METHYLENE-1,6-CYCLODECADIENE	0,95	34.298
12	Unknown	0,54	34.767
13	Unknown	2,08	35.707

Tablo 3. (devam) *T. chamaedrys* subsp. *chamaedrys* bitkisinin etanol ekstratının GC-MS analiz sonuçları.

14	(-)-5-Oxatricyclo[8.2.0.0(4,6)]dodecane,,12-trimethyl-9-methylene-, [1R-(1R*,4R*,6R*,10S*)]-	3,47	38.373
15	1-Heptadecene (1-Heptadeken)	0,61	38.758
16	(1R,3E,7E,11R)-1,5,5,8-Tetramethyl-12-oxabicyclo[9.1.0]dodeca-3,7-diene	0,70	39.403
17	5-.alpha.-Hydroxycaryophylla-4(12),8(13)-diene	3,15	40.527
18	Unknown	5,23	42.514
19	4-((1E)-3-Hydroxy-1-propenyl)-2-methoxyphenol	0,66	44.861
20	1-Octadecene	0,24	46.998
21	Unknown	1,17	47.604
22	Neophytadiene	1,56	48.985
23	(3S,3aS,6R,7R,9aS)-1,1,7-Trimethyldecahydro-3a,7-methanocyclopenta[8]annulene-3,6-diol	0,66	50.339
24	Neophytadiene	0,48	50.823
25	n-Hexadecanoic acid	4,76	54.793
26	2-Hexadecen-1-ol, 3,7,11,15-tetramethyl-, [R-[R*,R*-(E)]]-ethyl-, [R-[R*,R*-(E)]]-	0,44	60.834
27	9,12,15-Octadecatrienoic acid, (Z,Z,Z)-	14,39	62.428
28	Octadecanoic acid	1,67	63.287
29	12-epi-Teucvin	1,50	109.803
30	Unknown	3,24	111.619

Yaylı (2007) tarafından yapılan çalışmada, *Teucrium chamaedrys* subsp. *chamaedrys*, *T. orientale* var. *puberulens* ve *T. chamaedrys* subsp. *lydium* bitkilerinin uçucu yağ bileşenlerinin tayini için GC/MS tekniği kullanılmış ve 65 adet doğal bileşiğin yapısı aydınlatılmıştır. *T. chamaedrys* subsp. *chamaedrys* bitkisinden elde edilen 36 adet bileşiğin ham karışımın %79.2'sini oluşturduğu belirlenmiştir. 65 adet doğal bileşiğin 48tanesine terpen türü bileşikler olup bunlardan seskiterpenler bitkilerde sırasıyla %41.8, %53.5 ve %42.3 oranlarıyla miktarı en fazla olan gruptur. 11 adet bileşen bu üç tür içinde ortak olup bunların *T. chamaedrys* subsp. *chamaedrys*, *T. orientale* var. *puberulens* ve *T. chamaedrys* subsp. *lydium* bitkilerindeki oranları sırasıyla %42.0, %54.2 ve %46.9 şeklindedir [13]. İki çalışmada da *Teucrium chamaedrys* subsp. *chamaedrys* türü için tespit edilen ana kimyasal bileşikler terpenler sınıfında yer alan ve genellikle C₁₅H₂₄ moleküler formüle sahip seskiterpenlerdir. Terpenler, gıda, kozmetik, farmasötik ve biyoteknoloji endüstrilerinde kullanım için arzu edilen özelliklere sahiptir ve bu nedenle önemli kabul edilirler [14,15]. *Teucrium chamaedrys* subsp. *chamaedrys* bitkisinin antimikrobiyal etki ve kimyasal yapıları ile ilgili yapmış olduğumuz çalışma bulguları ile yapılan benzer çalışmalarda elde edilen sonuçların arasındaki farklılıklar, bitki metabolitlerini açığa çıkarmak için uygulanan yöntemlerdeki farklılıklardan yada antimikrobiyal etkinliği ölçmek için kullanılan deney yöntemindeki farklılıklardan kaynaklanabileceği düşünülebilir [16,17]. Farklılıkların nedeni ikincil metabolitlerin tür içi değişkenliği [16] olabilir. Bitkideki esansiyel yağ oranları ve kompozisyonlardaki varyasyonlar; ekolojik veya bireysel değişikliklere [18], lokasyona [19], çevre ve topografik koşullara [20], coğrafik koşullara [21], iklime [20,21], gün içindeki sıcaklık farklılıkları ve değişkenliklerine[22], bitkinin gelişim aşamasına [21,22], bitkinin genetik yapısına [18,20], bitkinin organlarına, bitkinin yaşına [20], bitkinin toplanma zamanına, damıtma şekline, kurutma koşullarına, kemotiplerine ya da büyük olasılıkla genetik farklılaşmaların sebebi durumundaki tozlaşmaya [21] bağlı olarak değiştiği varsayımına gidilebilir.

IV. SONUC

Çalışmada bitki materyali olarak kullanılan *Teucrium chamaedrys* subsp. *chamaedrys* türünün etanol, kloroform ve etil asetat ekstratlarının antimikrobiyal aktivitelerinin bilimsel metotlar dahilinde belirlenmesi hedeflenmiş ve elde edilen bulguların değerlendirilmesi sağlanmıştır. Daha önceleri bu

bitki türü ile yapılmış benzer çalışmalar yapılmış olsa da bu çalışma Gram-pozitif ve Gram-negatif olarak toplam 10 bakteri ve 5 maya kültürünün test mikroorganizması olarak kullanıldığı, 9 farklı antibakteriyal antibiyotik ile 5 farklı antifungal antibiyotiğin pozitif kontrol olarak ekstraktların etkinliği ile karşılaştırıldığı ve potansiyel bir antimikrobiyal aktivitenin ortaya çıkarıldığı ilk çalışma niteliğindedir. *Teucrium chamaedrys* subsp. *chamaedrys* türünün hem antimikrobiyal aktivite hem de kimyasal karakterizasyonunun belirlenmesi amacıyla yapılmış literatürde yeterli çalışma bulunmamaktadır. Çalışmamız neticesinde elde ettiğimiz bulguların daha ileri düzeyde araştırmalar için de temel veri niteliği taşıması hedeflenmiştir.

Son yıllarda mikroorganizmaların eski tip antimikrobiyal ajanlara karşı direnç geliştirmeye başlaması, bilim insanlarını yeni nesil antimikrobiyal madde arayışına itmiştir. Bu duruma bağlı olarak uzun zamandır halk tıbbında birçok hastalığın tedavisinde kullanılan çeşitli bitkiler ile bu bitkilere ait yağların ve ekstraktların yeni antibiyotikler üretiminde etkili çözüm yollarından biri olabileceği sonucu ortaya çıkmıştır. Elde ettiğimiz sonuçlar bize, çeşitli bitki ekstraktlarının enfeksiyon etkenlerine karşı etkili olabileceğini ve son yıllarda artan antibiyotiklere karşı gelişen direnç söz konusu olduğunda bunlara alternatif olabileceğini göstermiştir.

V. KAYNAKLAR

- [1] M. Saleem, “Chemical and biological screening of some relatives of Lamiaceae (Labiatae) family and marine algae *Conidium iyengarii*,” Doktora tezi, University of Karachi, Karachi, 2000.
- [2] A. Kalaycıoğlu ve C. Öner, “Bazı bitki ekstrelerinin antimutajenik etkilerinin Ames-Salmonella test sistemi ile araştırılması,” *Turkish Journal of Botany*, c. 18, ss. 117-122, 1994.
- [3] P. H. Davis, *Flora of Turkey and The East Aegean Islands*, Edinburgh University Press, Edinburgh, 1988.
- [4] M. Grieve, *A Modern Herbal*, Barnes and Noble Books, New York. pp. 564-566, 1996.
- [5] E. Şarer ve B. Konukligil, “*Teucrium polium* L. uçucu yağı üzerinde araştırmalar,” *Doğa Türk Tıp ve Eczacılık Dergisi*, c. 11, ss. 317-325, 1987.
- [6] Anonim, (2021, 27 Ağustos). [Online]. Available: <http://tr.wikipedia.org/wiki/dalakotu>.
- [7] Anonim, (2021, 27 Ağustos). [Online]. Available: <http://ibufloora.ibu.edu.tr/tur/teucrium-chamaedrys>.
- [8] N. H. Khan, M. S. A. nur-E Kamal and M. Rahman, “Antibacterial activity of *Euphorbia thymifolia* Linn,” *Indian Journal of Medical Research*, vol. 87, pp. 395-397, 1988.
- [9] N. Maleki, A. Garjani, H. Nazemiyeh, N. Nilfouroushan, A.T. Eftekhari Sadat, Z. Allameh and N. Hasannia, “Potent anti-inflammatory activities of hydroalcoholic extract from aerial parts of *Stachys inflata* on rats,” *Journal of Ethnopharmacology*, vol. 75, no. 3, pp. 213-218, 2001.
- [10] M. Rabbani, S. E. Sajjadi and H. R. Zarei, “Anxiolytic effects of *Stachys lavandulifolia* Vahl on the elevated plus-maze model of anxiety in mice,” *Ethnopharmacology*, vol. 89, no. 3, pp. 271-276, 2003.
- [11] Anonim, (2021, 16 Ağustos). [Online]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Gas_chromatography-mass_spectrometryGasChromatography, Wikipedia, The Free Encyclopedia .

- [12] Douglas,F, (2021, 17 Ağustos). [Online]. Available: GC/MSAnalysis, <http://www.scientific.org/tutorials/articles/gcms.html>.
- [13] N. Yaylı, “Bazı *Teucrium* L. taksonlarında uçucu yağların kimyasal bileşimleri ve Antimikrobiyal etkileri,” Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye, 2007.
- [14] R. Thimmappa, K. Geisler, T. Louveau, P. O’Maille and A. Osbourn, “Triterpene biosynthesis in plants,” *Annual Review of Plant Biology*, no. 65, pp. 225-257, 2014.
- [15] J. M. Augustin, V. Kuzina, S. B. Andersen and S. Bak, “Molecular activities, biosynthesis and evolution of triterpenoid saponins,” *Phytochemistry*, vol. 72, no. 6, pp. 435-457, 2011.
- [16] G. İşcan, B. Demirci, F. Demirci, Y. B. Köse and K. H. C. Başer, “Chemical characterization and antimicrobial evaluation of *Stachys citrina* subsp. *citrina* essential oil,” *Turkish Journal of Pharmaceutical Sciences*, vol. 9, no. 2, pp. 219-224, 2012.
- [17] G. Dülger, T. Tütenocaklı and B. Dülger, “Antimicrobial potential of the leaves of common mullein (*Verbascum thapsus* L., *Scrophulariaceae*) on microorganisms isolated from urinary tract infections,” *Journal of Medicinal Plants Studies*, vol. 3, no. 2, pp. 86-89, 2015.
- [18] A. Yavari and S. M. Shahagolzari, “Essential oil variation in the populations of *Stachys inflata* Benth from Iran”, *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, vol. 3, no. 5, pp. 735-739, 2013.
- [19] S. Cavar, M. Maksimovic and M. E. Solic, “Comparison of essential oil composition of *Stachys menthifolia* Vis. from two natural habitats in Croatia,” *Biologica Nyssana*, vol. 1, no. 1-2, pp. 99-103, 2010.
- [20] H. Fakir, S. Erbaş, M. Özen and İ. E. Dönmez, “Hayıt (*Vitex agnus-castus* L.)’da farklı toplama zamanlarının uçucu yağ oranı ve bileşenleri üzerine etkisi,” *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 1, s. 2, ss. 25-28, 2014.
- [21] F. Conforti, F. Menichini, C. Formisano, D. Rigano, F. Senatore, N. A. Arnold and F. Piozzi, “Comparative chemical composition, free radical-scavenging and cytotoxic properties of essential oils of six *Stachys* species from different regions of the Mediterranean area,” *Food Chemistry*, vol. 116, pp. 898-905, 2009.
- [22] A. Mukherjee, S. Pramanik, D. Das, R. Roy and K. L. Therese, “Polymicrobial chronic endophthalmitis diagnosed by culture and molecular technique,” *Indian Journal of Medical Microbiology*, vol. 32, no. 3, pp. 331-332, 2014.



Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

Analysis of Positive Selection Provides Insights into Lifestyle- and Lineage-Specific Patterns of Molecular Evolution in Insects

 Mehmet DAYI^{a,*}

^a Forestry Vocational School, Duzce University, Düzce, TÜRKİYE

* corresponding author: mehmetdayi@duzce.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.955354

ABSTRACT

Insects are among the most divergent and most rapidly evolving species, which allow them to adapt to virtually all ecosystems. Successful adaptation requires overcome of challenging environmental conditions. The best-known molecular mechanism underlying successful adaptation is positive selection. This mechanism favors in species by gaining new beneficial mutations and transferring these beneficial mutations to new generations in populations via reproduction. In this study, a total of 12 insect species belonging to 6 orders and two morphogenesis groups were used to investigate positive adaptive selection in insects and their common ancestors using a total of 535 one-to-one single-copy ortholog genes. The highest number of the positively selected gene was found in *Onthophagus taurus* and *Dendroctonus ponderosae*, and the lowest number of positively selected genes were found in a homopteran species, *Acyrtosiphon pisum*. The highest number of positively selected genes was detected in the common ancestor of the orders Lepidoptera and Diptera, followed by the node that separated Hymenoptera from a recent common ancestor of the orders Homoptera and Isoptera. Genes involved in the fundamental biological process digestion, oxidative reduction, transcription, and translation were among the core positively selected genes. Lifestyle and lineage-specific genes were found to be under positive selection.

Keywords: Insects, Genome, Molecular evolution

Pozitif Seçilim Analizi, Böceklerde Yaşam Tarzına ve Soya Özgü Moleküler Evrimin İzlerini Ortaya Çıkarmaktadır

ÖZ

Böcekler, en çeşitli ve hızlı evrim geçiren organizmalar arasındadır ve bu, böceklerin neredeyse tüm ekosistemlere uyum sağlamalarına izin vermektedir. Başarılı bir adaptasyon, zorlu çevre koşullarının üstesinden gelmeyi gerektirir. Başarılı adaptasyonun altında yatan bilinen en iyi moleküler mekanizma pozitif seçilimdir. Bu mekanizma, yeni faydalı mutasyonlar kazanarak ve bu faydalı mutasyonları üreme yoluyla popülasyonlarda yeni nesillere aktararak türlerin lehine olmaktadır. Bu çalışmada 6 takım ve iki başkalaşım grubuna ait toplam 12 böcek türü kullanılmıştır. Bu böceklerde ve ortak atalarında adaptif pozitif seçilim toplam 535 bire bir tek kopya ortolog genlerin kodlayan dizileri kullanılarak incelenmiştir. En fazla pozitif seçilime maruz kalmış gen sayısı *Onthophagus taurus* ve *Dendroctonus ponderosae*'de, en düşük pozitif seçilime uğramış gen sayısı ise bir homeopteran türü olan *Acyrtosiphon pisum*'da bulunmuştur. Soya dayalı analizlerde ise, en yüksek sayıda pozitif seçilime uğramış gen Lepidoptera ve Diptera takımlarının ortak atasında ve onları takiben Hymenoptera'yı Homoptera ve Isoptera takımlarının yakın zamandaki ortak atasından ayıran atada tespit edilmiştir. Sindirim, oksidatif indirgeme, transkripsiyon ve translasyon gibi temel biyolojik süreçte yer alan genler, pozitif olarak seçilen ortak genler arasındadır. Yaşam tarzı ve soya özgü genlerin pozitif seçilim altında olduğu bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Böcekler, Genom, Moleküler evrim

Received: 21/06/2021, Revised: 22/10/2021, Accepted: 27/10/2021

I. INTRODUCTION

Insects are considered one of the most successful organisms adapting to virtually all ecosystems on Earth. More than one million insect species have been identified so far, and their actual species number is estimated between 2 and 10 million [1]. Insects are recognized one of the earliest land animals, and their existence on earth dates back to around 400 million years [1].

Insects have been able to spread to a wide range of habits and have gained excellent adaptation and survival skills [2], which require beneficial mutations, also known as the positive selection, on key genes which are associated with signal mechanisms [3], transcription and translation [4], digestion of various food materials, reproduction, and detoxification of chemicals [5] released by host defense mechanisms or pesticides [6].

Positive selection is a mechanism by which species gain beneficial mutations required to overcome challenging environmental conditions and adapt to new environments [7]. Positive selection is a kind of natural selection by which beneficial phenotypes and genotypes become dominant after gaining beneficial mutations over other phenotypes and genotypes, which cause a change of allele frequency over time in the advantage of beneficial phenotype and genotype. [8]. Therefore, positive selection is recognized as the driving force of adaptive evolution and is one of the most powerful molecular evolutionary mechanisms used by species to maintain their populations.

Divergence ratio (ω or omega) at nonsynonymous (d_N) and synonymous (d_S) substitution rates is widely used to measure selection in evolutionary genetic studies. $dN/dS < 1$, $dN/dS = 1$ and $dN/dS > 1$ refer to purifying selection, neutral evolution, and positive selection, respectively [9]. In evolutionary studies, this ratio is accepted as an accurate and robust measure of adaptive evolution that acts on protein-coding sequences.

Advancements in genome sequencing accelerated genome-wide studies. To date, over one hundred insect genomes have been sequenced [10]. Several genome-wide evolutionary studies have been performed to identify genes under positive selection, but these studies included only a limited number of insect orders [11]-[13]. Therefore, it still largely remains a comparative positive selection event in a wide range of insect orders.

In this study, a total of 12 insect species from 6 orders were investigated signatures of positive selection by applying branch-site evolutionary selection analysis. In the analysis a total of 535 one-to-one single-copy gene set with a corresponding phylogenetic tree was used.

II. MATERIAL AND METHOD

A. INSECT DATA SET

A total of 12 insect species were used in the present study (Table 1). These include 7 species from Coleoptera (*Anoplophora glapripennis*, *Agrilus planipennis*, *Tribolium castaneum*, *Leptinotarsa decemlineata*, *Nicrophorus vespilloides*, *Onthophagus taurus* and *Dendroctonus ponderosae*) and 1 species from Hymenoptera (*Apis mellifera*), 1 species from Hemiptera (*Acyrtosiphon pisum*), 1 species from Isoptera (*Zootermopsis nevadensis*), 1 species from Diptera (*Drosophila melanogaster*) and 1 species from Lepidoptera (*Danaus plexippus*). The protein data set of each species was retrieved from National Center for Biotechnology Information (NCBI).

Table 1. Insects used in the present study.

Order name	Family name	Species name
Coleoptera	Cerambycidae	<i>Anoplophora glapripennis</i>
	Buprestidae	<i>Agrilus planipennis</i>
	Curculionidae	<i>Tribolium castaneum</i>
	Curculionidae	<i>Dendroctanus ponderosae</i>
	Silphidae	<i>Nicrophorus vespilloides</i>
	Chrysomelidae	<i>Leptinotarsa decemlineata</i>
Diptera	Scarabaeidae	<i>Onthophagus taurus</i>
	Drosophilidae	<i>Drosophila melanogaster</i>
Isoptera	Archotermopsidae	<i>Zootermopsis nevadensis</i>
Lepidoptera	Nymphalidae	<i>Danaus plexippus</i>
Hymenoptera	Apidae	<i>Apis mellifera</i>
Homoptera	Aphididae	<i>Acyrtosiphon pisum</i>

B. PHYLOGENOMIC RELATIONSHIPS IN INSECT SPECIES

For phylogenetic tree construction, one-to-one ortholog genes were identified using OrthoFinder v2.2.6 [14] with default parameters. Protein sequences of resulting one-to-one ortholog genes (535 genes) were aligned using MAFFT v7.221 [15] and alignments were further trimmed to remove poorly aligned positions and regions using trimAL v1.4.rev13 [16] with the default parameters. Alignments passing the filtering step was concatenated into one super matrix file, and this file was supplied as input to RAxML v8.0.26 [17] to generate the phylogenetic tree with 1000 bootstrap values using partition model to set the best amino acid substitution model for each ortholog gene. The resulting phylogenetic tree was further visualized using the ETE3 suite [18].

C. TEST OF ADAPTIVE SELECTION THAT ACTS ON BRANCHES AND SPECIES

The ratio $\omega = d_N/d_S$ (the ratio of nonsynonymous (d_N) to synonymous (d_S) substitution rates) was used to analyze positive selection on nodes and species in the phylogenetic tree that was generated using the one-to-one ortholog protein set (a total of 525) described previously (see previous chapter). CDS (coding sequences) of the one-to-one ortholog set were aligned to their corresponding protein sequences using pal2aln v14 with parameters --nogap --nomismatch. The aligned CDS of the one-to-one ortholog set was used as input to test positive selection on each species, and nodes that separate insect orders by comparing the null (M0, one ratio) and alternative model (Model A) of Codeml implemented in the package PAML v4.9 [9]. To test positive selection for species-wide, each species was marked in the phylogenetic tree as the foreground branch and tested against to remaining species (background).

For node test each node was marked as foreground node and tested against the remaining nodes (background) for each model. For each test, alternative and null models were tested. Each model (the null and the alternative) was launched with three independent runs for each tested (foreground) species, and nodes and the best likelihood value of each run was kept calculating the log-likelihood value.

The alternative model likelihood value was contrasted to the null model likelihood value using a likelihood-ratio test (LRT) in which log-likelihood ratios were compared to a chi-square distribution with 1 degree of freedom. The P -values of comparisons were corrected for multiple testing by applying FDR (false discovery rate) correction at 0.05 level using qvalue R package [19] in R v3.6.1 [20]. The significant one-to-one ortholog genes (<0.05 FDR value) were considered as positively selected genes.

D. FUNCTIONAL ANNOTATION OF POSITIVELY SELECTED GENES

To identify potential functions of positively selected genes, a multiple annotation approach was applied. Amino acid sequences of those genes were searched against InterProScan [21], UniProt [22], SwissProt [23], PFAM [24] and NCBI NR (non-redundant) databases. The resulting searches were used as input in Blast2GO v5 [25] annotation suite to cluster multiple annotation results into one final result to avoid overlap and assign Gene Ontology (GO) terms.

III. RESULTS

A. EVOLUTIONARY RELATIONSHIPS IN INSECTS

The phylogenetic relationships of insects are given in Figure 1. The phylogenetic tree separated insects into two clades. While Coleoptera, Diptera, and Lepidoptera perform a clade, Hymenoptera, Homoptera, and Isoptera orders perform another clade. The orders Diptera and Lepidoptera were clustered as sister clades together, and these clades shared a common ancestor with Coleoptera insects. In another clade, Isoptera and Homoptera were clustered as sister species and shared a common ancestor with Hymenoptera order.

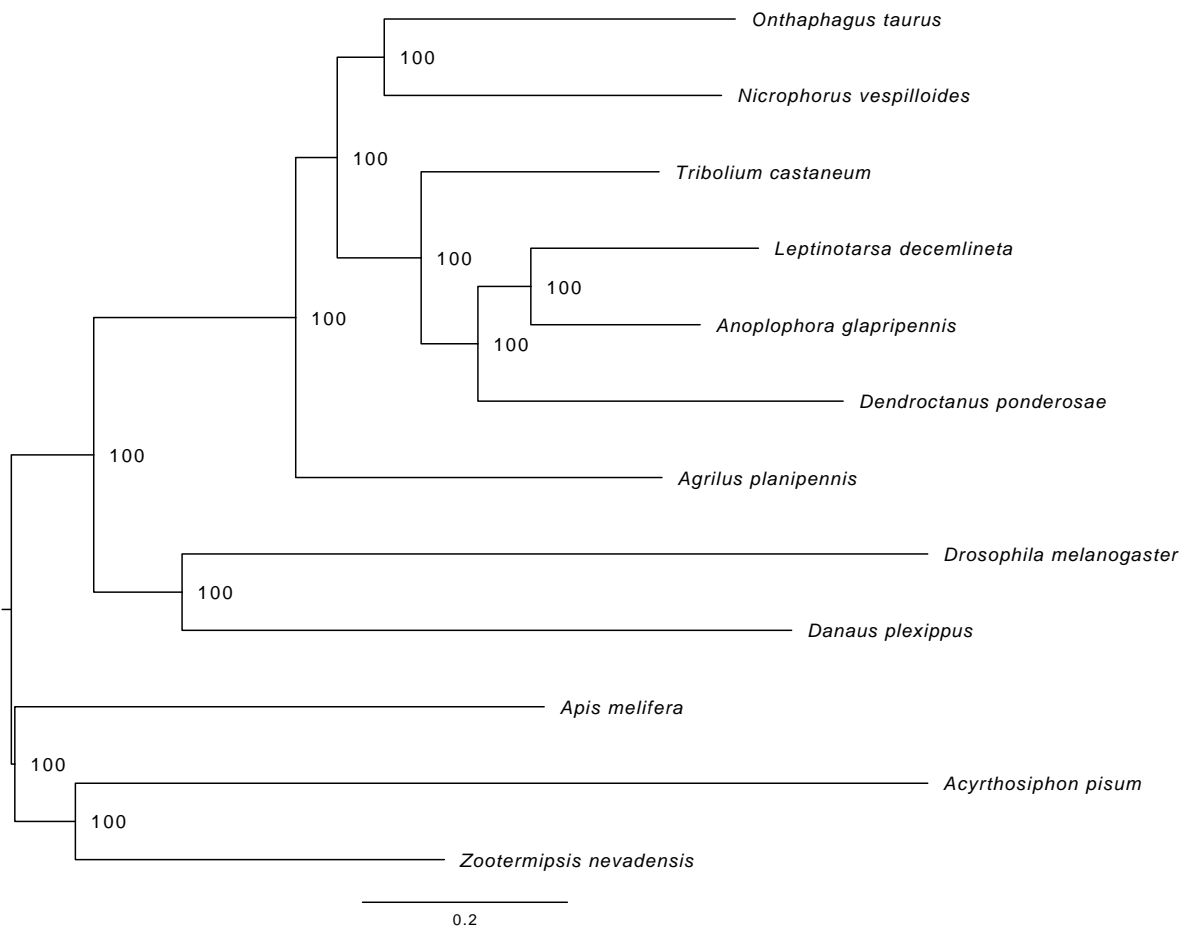


Figure 1. Phylogenetic relationships among insect species.

B. POSITIVE SELECTION IN INSECTS

A number of positively selected genes varied among species and branches tested. The highest number of positively selected genes were detected in *Onthophagus taurus* (55 genes) and followed by *Dendroctanus ponderosae* (49 genes) (Table S1). The lowest number of positively selected genes were

detected in *Acyrtosiphon pisum* (19 genes) (Table S1). In tested nodes, the highest number of positively selected genes (92 genes) were detected in the node that separates the orders Coleoptera and from a recent common ancestor of the orders Lepidoptera and Diptera, followed by the node (73 genes) that separates the order Hymenoptera from a recent common ancestor of the orders Homoptera and Isoptera (Table S2).

A. FUNCTIONS OF POSITIVELY SELECTED GENES

In tested species, positively selected genes are mostly involved in binding (ATP binding, protein binding, and DNA binding), peptidase, transmembrane, ribosome, transferase activity, oxidation-reduction process, ATP binding, and translation (Figure 2). Functions of positively selected genes were found to be conserved in insect orders. For example, genes involved in tRNA synthesizing were observed in mostly coleopteran insects, while genes having signal-related functions (signal peptide production and signal process) were positively selected only in Hymenoptera and Diptera. In addition, genes associated with chitin-binding were positively selected in Lepidoptera only. Another example of order-specific positively selected genes is GTPase activity. Genes associated with GTPase activity were positively selected in Isoptera.

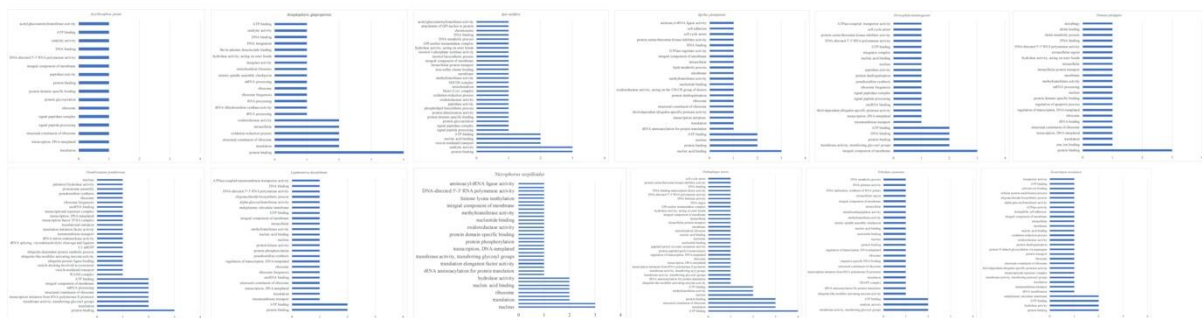


Figure 2. Gene Ontology Enrichment results of positively selected genes in insects.

On the other hand, species-specific positively selected genes varied among species. In *A. pisum*, genes encoding the signal activity process were found to expand, and genes having oxidoreductase activity were dominant in *A. glapripennis*. Signal peptide coding genes were detected as positively selected in *A. melifera* and *D. melanogaster*. Chitin process-associated genes were positively selected in *D. plexippus*. Protein synthesis associated genes (transcription, translation) were expanded positively in *D. ponderosae*. In *O. Taurus*, ATP binding was the most dominant function in positively selected genes.

In tested nodes, although it was found that positively selected genes are primarily involved in protein binding, ATP binding, translation, and structural constituent of ribosome, node-specific positively selected gene expansions were observed (Figure 3a, b,c).

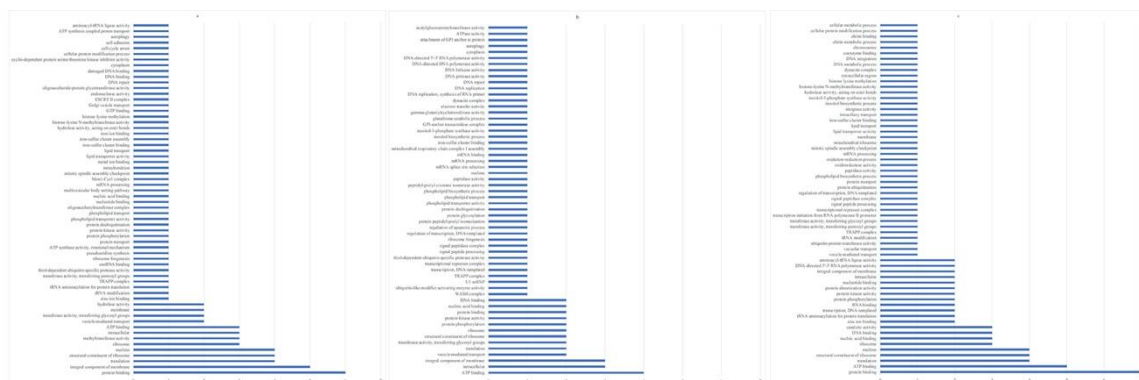


Figure 3. Gene Ontology Enrichment results of positively selected genes in nodes.

In addition, tRNA modification and protein post-process associated genes such as protein phosphorylation and protein kinase activity were found to under positive selection in the recent common ancestor of the orders Coleoptera, Diptera and Lepidoptera. It was found that number of positively selected genes that are associated with protein binding, integral component of membrane, translation, structural constituent of ribosome functions was higher in this node than other tested nodes (Figure 3a). Additionally, this node includes cyclin-dependent protein serine/threonine kinase inhibitor activity. In the node, the common ancestor of the orders Diptera and Lepidoptera, positively selected genes that are involved in the signal process (signal peptide processing and signal peptide complex), mRNA process (mRNA splice site selection, mRNA processing and mRNA binding) and phospholipid process (phospholipid transporter activity, phospholipid transport and phospholipid biosynthetic process) were found to be node-specific genes (Figure 3b). The node, common ancestor of the orders Hymenoptera, Homoptera, and Isoptera, was found to have positively selected genes involved in transferase activity and chitin metabolic process and chitin-binding function (Figure 3c).

IV. DISCUSSION

In the present study, a total of 12 insect species from 6 orders and common ancestors of these orders were examined to identify positively selected genes.

Insect species were found to share a common evolutionary mutation trend. It was observed that the positive selection mechanism acted on the fundamental genes of species. These genes include binding activities such as ATP binding, protein binding, and DNA binding. This function plays an essential role in gene activity by regulating their expression timing or expression level, which reflects that regulation activity of genes may have been exposed to a strong evolutionary force to switch on/off those genes based on the requirement of these species in challenging environments. Similar evolutionary trends were reported in ant [11] and social bees [12]. These studies also reported species-specific expansion or variation of positively selected gene functions. For example, in ant genomes, it was reported that mitochondrial genes were under positive selection [11].

Another common evolutionary trend shared by all insects was found in feeding mechanisms. Genes encoding peptidase, which is used to digest food molecules into small peptides [24], were found to be positively selected in all insects. Therefore, it can be said that insect genes associated with digestion activity were another mechanism to adapt to environments and target of evolutionary forces. Similar to these fundamental biological and metabolic processes, genes involved in the oxidation-reduction process are key factors in overcoming host defense, and pesticides to survive and maintain populations [5] were found to be under positive selection. These results suggest that insect species faced with common environmental challenges to adapt to new food sources and used similar mechanisms to overcome these challenges, such as regulating developmental process via modifying gene regulations by binding activity and mutations on digestion-associated genes such as peptidases. These results showed that genes involved in core metabolic and biological processes are under strong evolutionary pressure and are evolving more rapidly.

In addition to conserved adaptive evolution among insects, some species have been a target of different evolutionary forces, which allowed these insect species to gain beneficial mutations on different genes. For example, genes involved in the signal process were found to under positive selection in Diptera and Hymenoptera species. Positively selected genes encoding signal-related genes have been previously reported in several Hymenoptera and Diptera species as well [11]. In Hymenopteran species, signal transduction-associated genes have been reported as a target of positive selection [13]. Insects belonging to these orders mostly seek food sources, habitats, or mates by flying to distant environments. Therefore, signaling processes are a key factor for these species recognizing a wide range of signals and chemicals to survive and maintain their populations compared to insects in other orders.

Another example of species-specific positive selection was observed in *D. plexippus*. Genes involved in the chitin process were found to be positively selected in *D. plexippus*.

On the other hand, expansion of gene-specific positive selection was also found. Genes involved in protein synthesis (transcription, translation) in *D. ponderosae* and ATP binding in *O. taurus* were the most dominant function in positively selected genes. These results suggest that protein synthesis and ATP need of cell's during cellular respiration differ from other insects, and species-specific adaptation mechanism and need to overcome environmental challenges were greatly varied in these species compared to other species.

This study provided insights into core evolutionary mechanisms and lifestyle and lineage-specific molecular evolutionary footprints in insect genomes from various taxonomic groups and morphogenesis. It highlighted molecular evolution signatures targeting different biological and metabolic processes.

V. CONCLUSION

Insects are among the most divergent animals on Earth, and their genetic diversity and phenotypic plasticity allow them to invade and adapt to a wide range of ecosystems. Molecular mechanisms of this successful adaptation rely on their strong adaptive selection abilities that are forced by challenging environments. These are mediated by changes in nonsynonymous (d_N) ratio to synonymous (d_S) substitution rates. In this study, adaptive evolution was found to target on genes involved in fundamental biological process in all insects and nodes. Additionally, lifestyle and lineage specific positive selection were detected.

V. REFERENCES

- [1] G. Zhang, H. Wang, J. Shi, X. Wang, H. Zheng, G.K. Wong, T. Clark, W. Wang, J. Wang, L. Kang, "Identification and characterization of insect-specific proteins by genome data analysis," *BMC Genomics*, vol. 8, p. 93, 2007.
- [2] M.W. Gaunt, M.A. Miles, "An insect molecular clock dates the origin of the insects and accords with palaeontological and biogeographic landmarks," *Molecular Biology and Evolution*, vol. 19, no. 5, pp. 748-61, 2002.
- [3] C. Bleuven, C. R. Landry, "Molecular and cellular bases of adaptation to a changing environment in microorganisms," *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 283, no. 1841, 2016.
- [4] J. H. Laity, B. M. Lee, P. E. Wright, "Zinc finger proteins: new insights into structural and functional diversity," *Current opinion in structural biology*, vol. 11, no. 1, pp. 39-46, 2001.
- [5] R. Feyereisen, "Insect P450 enzymes," *Annual Review of Entomology*, vol. 44, pp. 507-33, 1999.
- [6] N. Liu, T. Li, Y. Wang, S. Liu, "G-Protein Coupled Receptors (GPCRs) in Insects-A Potential Target for New Insecticide Development," *Molecules*, vol. 26, no. 10, 2021.
- [7] H. Weigand, F. Leese, "Detecting signatures of positive selection in non-model species using genomic data," *Zoological Journal of the Linnean Society*, vol. 184, no. 2, pp. 528-583, 2018.
- [8] M. Molles, A. Sher, "Ecology: Concepts and Applications", 8e, Graw Hill 2019.
- [9] Z. Yang, "PAML 4: phylogenetic analysis by maximum likelihood," *Molecular biology and evolution*, vol. 24, no. 8, pp. 1586-1591, 2007.
- [10] F. Li, M. Li, K. He, C. Huang, Y. Zhou, Z. Li, J.R. Walters, "Insect genomes: progress and

challenges,” *Insect Molecular Biology*, vol. 28, no. 6, pp. 739-758, 2019.

[11] J. Roux, E. Privman, S. Moretti, J. T. Daub, M. Robinson-Rechavi, L. Keller, “Patterns of positive selection in seven ant genomes,” *Molecular biology and evolution*, vol. 31, no. 7, pp. 1661-85, 2014.

[12] K. M. Kapheim *et al.*, “Social evolution. Genomic signatures of evolutionary transitions from solitary to group living,” *Science*, vol. 348, no. 6239, pp. 1139-43, 2015.

[13] B. A. Harpur, C.F. Kent, D. Molodtsova, J.M.D. Lebon, A.S. Alqarni, A.A. Owayss, A. Zayed, “Population genomics of the honey bee reveals strong signatures of positive selection on worker traits,” *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 111, no. 7, pp. 2614-9, 2014.

[14] D. M. Emms, S. Kelly, “OrthoFinder: phylogenetic orthology inference for comparative genomics,” *Genome Biology*, vol. 20, no. 1, pp. 238, 2019.

[15] K. Katoh, D. M. Standley, “MAFFT: iterative refinement and additional methods,” *Methods in Molecular Biology*, vol. 1079, pp. 131-46, 2014.

[16] S. Capella-Gutierrez, J. M. Silla-Martinez, T. Gabaldon, “trimAl: a tool for automated alignment trimming in large-scale phylogenetic analyses,” *Bioinformatics*, vol. 25, no. 15, pp. 1972-3, 2009.

[17] A. Stamatakis, “RAxML version 8: a tool for phylogenetic analysis and post-analysis of large phylogenies,” *Bioinformatics*, vol. 30, no. 9, pp. 1312-3, 2014.

[18] J. Huerta-Cepas, J. Dopazo, T. Gabaldon, “ETE: a python Environment for Tree Exploration,” *BMC Bioinformatics*, vol. 11, p. 24, 2010.

[19] A. Dabney, J. D. Storey, G. Warnes, “qvalue: Q-value estimation for false discovery rate control,” *Rv.2.22*, vol. 1, no. 0, 2010.

[20] R. C. Team, “R: A language and environment for statistical computing,” 2013.

[21] P. Jones, D. Binns, H.Y. Chang, M. Frase, W. Li, C. McAnulla, H. McWilliam, J. Maslen, A. Mitchell, G. Nuka, S. Pesseat, A.F. Quinn, A. Sangrador-Vegas, M. Scheremetjew, S.Y. Yong, R. Lopez, S. Hunter, “InterProScan 5: genome-scale protein function classification,” *Bioinformatics*, vol. 30, no. 9, pp. 1236-40, 2014.

[22] R. Apweiler, A. Bairoch, C.H. Wu, W.C. Baerker, B. Boeckmann, S. Ferro, E. Gasteiger, H. Huang, R. Lopez, M. Magrane, M.J. Martin, D.A. Natale, C. O'Donovan, N. Redaschi, L.S.L. Yeh, “UniProt: the Universal Protein knowledgebase,” *Nucleic Acids Research*, vol. 32, no. 47, pp. D115-9, 2004.

[23] B. Boeckmann, A. Bairoch, R. Apweiler, M.C. Blatter, A. Estreicher, E. Gasteiger, M.J. Martin, K. Michoud, C. O'Donovan, I. Phan, S. Pilbout, M. Schneider, “The SWISS-PROT protein knowledgebase and its supplement TrEMBL in 2003,” *Nucleic Acids Research*, vol. 31, no. 1, pp. 365-370, 2003.

[24] R.D. Finn, J. Tate, J. Mistry, P.C. Coghill, S.J. Sammut, H.R. Hotz, G. Ceric, K. Forslund, S.R. Eddy, E.L.L. Sonnhammer, A. Bateman, “The Pfam protein families database,” *Nucleic Acids Research*, vol. 32, no. 40, pp. D138-41, 2004.

[25] A. Conesa, S. Gotz, "Blast2GO: A comprehensive suite for functional analysis in plant genomics," *International Journal of Plant Genomics*, vol. 2008, pp. 619832, 2008.



Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

Lyapunov Based Observer Design for Electro-Hydraulic Arm System

 Mithat ONDER ^{a*},  Alper BAYRAK ^a,  Serkan AKSOY ^b

^a Department of Electrical and Electronics Engineering, Faculty of Engineering, Bolu Abant İzzet Baysal University, Bolu, TURKEY

^b Department of Electronics Engineering, Faculty of Engineering, Gebze Technical University, Kocaeli, TURKEY

* Corresponding author's e-mail address: mithatonder@ibu.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1000111

ABSTRACT

In this paper, a Lyapunov based observer design is proposed to observe the load pressure of electro-hydraulic arm systems. The stability of the observer is investigated by using the Lyapunov based method. In the stability analysis, it is proven that the observer error converge to the vicinity of origin which can be adjusted to be arbitrarily small. The classical PID controller is used to control the position of the electro-hydraulic arm system and keep the system states bounded. The performance of the designed observer is evaluated by computational simulations which are conducted in MATLAB Simulink program. The performance of the observer is tested in two cases: i) noise free case and ii) noise case. In the noisy case, the state x_2 is exposed to the 30 dB additive white Gaussian noise. The computational simulation results are given to demonstrate that the proposed observer work efficiently in both noise free and noisy cases.

Keywords: Electro-hydraulic arm system, Lyapunov based observer, Load pressure

Elektro-Hidrolik Kol Sistemi için Lyapunov Tabanlı Gözlemci Tasarımı

ÖZ

Bu çalışmada, elektro-hidrolik kol sistemlerinin yük basıncını gözlemlemek için Lyapunov tabanlı bir gözlemci tasarımı önerilmiştir. Gözlemcinin kararlılığı Lyapunov tabanlı yöntem kullanılarak araştırılmıştır. Kararlılık analizinde, gözlemci hatasının keyfi olarak küçük olacak şekilde ayarlanabilen orijin civarına yakınsadığı kanıtlanmıştır. Klasik PID denetleyicisi, elektro-hidrolik kol sisteminin konumunu kontrol etmek ve sistem durumlarını sınırlı tutmak için kullanılmıştır. Önerilen gözlemcinin performansı, MATLAB Simulink programında yapılan hesaplamalı benzetimlerle değerlendirilmiştir. Gözlemcinin performansı iki durumda test edilmiştir: i) gürültüsüz durum ve ii) gürültülü durum. Gürültülü durumlarda, x_2 durumuna 30 dB ek beyaz Gauss gürültüsüne maruz bırakılmıştır. Hesaplamalı benzetim sonuçları, önerilen gözlemcinin hem gürültüsüz hem de gürültülü durumlarda verimli şekilde çalıştığını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Elektro-hidrolik kol sistemi, Lyapunov tabanlı gözlemci, Yük basıncı

I. INTRODUCTION

Electro-hydraulic arm systems are utilized in a wide area from industrial applications to civil engineering due to their ability of applying high power. Electro-hydraulic systems (EHS) have a strong nonlinear mathematical models and lots of parameters stays uncertain in practice [1]. Also, the position and pressure measurements are affected by high noise which reduces the control effort [2-4]. Even worse, in many practical applications, the velocity and especially, the pressure sensor are not used due to cost reductions. This led to a wide literature on the observer designs for the EHS.

Mohanty et al. designed a nonlinear observer to estimate the velocity and the parameters of an EHS using pressure measurement only [5]. Sofiane et al. used a discrete time observer to estimate the unmeasurable states and the uncertainties for the electro-hydraulic actuator system [6]. Guo et al. designed an output position feedback control based on an extended-state observer to deal with the load disturbance and the nonlinearity of the EHS [7]. In [1], the backstepping control method with a sliding state observer was developed to deal with systems uncertainties. Yao et al. designed an robust backstepping controller fused with an extended state observer (ESO) to handle the nonlinearity of the system [2]. In [8], an observer based controller is designed to estimate the force-rate and the pressure. The backstepping technique is used to control the EHS and the PI observer is designed to observe the force rate and the pressure. Kim et al. designed an observer-based controller for the position tracking of the EHS of which only the position measurement is available [9]. Guo et al. designed an observer based controller. The designed high gain observer (HGO) estimates full states of EHS and the backstepping method is designed to control the EHS. [10]. In [3], the feedback linearization control was developed to improve monitoring performance and a HGO was designed to predict the exact state of the EHS. In [11], the only system input and the position signal were used to estimate states with an ESO. Liu and Yao designed a sliding mode dynamic flow rate observer to estimate the flow rates of a hydraulic cylinder [12]. In [13], a sampled data distortion observer based on the ESO was used to predict unmeasurable states and uncertainties. Garimella and Yao designed an adaptive robust observer to estimate the unknowns and uncertainties of the system [14]. In [15], a twisting algorithm based observer was designed. In [16], The SMC was designed with the PID type sliding surface to control of EHS and the unknowns and uncertainties of the system is predicted with an ESO thanks to an extended model of EHS. In [17], the adaptive backstepping control which is combined a HGO was proposed to deal with unmeasurable states and uncertainties. In [18], Won et al. proposed the backstepping controller which is using high gain extended state observer (HGESO) with only position feedback. Phan et al. were designed the adaptive fault-tolerant controller with input observer to overcome the sensor fault and the mismatched disturbances/uncertainties [19]. Zou was designed a recursive SMC for position tracking and an ESO was estimated the unmeasured states and unknown disturbances of EHS [20].

In this study, a Lyapunov based observer is recommended to observe the load pressure of the EHS. It is aimed that the observer error converges near the origin, which can be set to be arbitrarily small. The observer is designed by utilizing a Lyapunov based stability analysis. In order to show the performance of the observer, the simulation results are presented with different reference tracking and for noisy free and noisy cases. The simulation studies are conducted with MATLAB Simulink. From the simulation results, it appears that the designed observer works with high accuracy.

II. MATERIAL and METHOD

The system model, the design of the observer and the stability analysis are presented in the subsections of section II.

A. SYSTEM MODEL

The fourth-order state space dynamic model of the EHS is given as follows [21,22]:

$$\begin{aligned}
\dot{x}_1 &= x_2 \\
\dot{x}_2 &= \frac{1}{m}(-Kx_1 - bx_2 + A_p x_3 - F_L) \\
\dot{x}_3 &= -\frac{4\beta_e A_p}{V_t} x_2 - \frac{4\beta_e C_{tl}}{V_t} x_3 + \frac{4\beta_e C_d w K_{sv}}{V_t \sqrt{\rho}} \sqrt{p_s - \text{sgn}(x_4) x_3 x_4} \\
\dot{x}_4 &= \frac{-x_4 + K_{sv} u}{T_{sv}}
\end{aligned} \tag{1}$$

where $x_1 = y$ is the displacement of the hydraulic cylinder, $x_2 = \dot{y}$ is the displacement velocity of the hydraulic cylinder, $x_3 = p_L = p_a = p_b$ is the load pressure, $x_4 = x_v$ is the spool position of servo valve and u is the control input of servo valve. The list of the parameters are given in Table 1.

The proposed observer design requires the mechanical system model as in (1) and the closed loop control system hold the next assumptions.

Assumption 1. The system states x_1 and x_2 are available.

Assumption 2. The control signal u is bounded and keeps all system states bounded and continuous.

Assumption 3. The third expression in model in (1) can be rewritten as

$$\dot{x}_3 = f(x_2, x_3, x_4) - \frac{4\beta_e C_{tl}}{V_t} x_3 \tag{2}$$

where $f(x_2, x_3, x_4)$ is a continuous nonlinear function and it can be bounded as $|f(x_2, x_3, x_4)| < \lambda$ where $\lambda \in \mathbb{R}^+$.

Remark 1. It should be noted that since all the system states are bounded as mentioned in Assumption 2, boundedness of function $f(x_2, x_3, x_4) \in \mathbb{R}$ in Assumption 3 is a reasonable assumption.

Table 1. Parameter descriptions of the system.

Parameter	Description
m	Load mass
K	Load spring constant
b	Viscous damping coefficient
A_p	Annulus area of cylinder chamber
F_L	External load of hydraulic actuator
β_e	Effective bulk modulus
V_t	Half-volume of cylinder
C_{tl}	Coefficient of the total leakage of the cylinder
C_d	Discharge coefficient
w	Area gradient of the servo valve spool
K_{sv}	Gain of the servo valve
ρ	Density of hydraulic oil
p_s	Supply pressure of the pump
T_{sv}	Response time constant of the servo valve

B. OBSERVER DESIGN

The main goal of this study is to design a continuous observer to estimate the load pressure of hydraulic cylinder denoted as x_3 . The load pressure of the hydraulic cylinder observer, denoted by \hat{x}_3 will be designed to observe x_3 while ensuring that the observer error $\tilde{x}_3 = x_3 - \hat{x}_3$ converges to the origin circumference, which can be set to be arbitrarily small. The design is constrained by the

constraint on the right side of the expression of \dot{x}_3 in (1) being uncertain as in Assumption 3. To overcome this restriction, the design is began by designing the observer and defining the observer error for the state x_2 which is already available. The estimate of x_3 is placed in the dynamic equation of the observer error of x_2 . By this structure, a known observer error could be used in the design of \hat{x}_3 .

$$\tilde{x}_2 \triangleq x_2 - \hat{x}_2 \quad (3)$$

where \hat{x}_2 is estimate of x_2 .

By taking the time derivative of (3), the following equation is obtained:

$$\dot{\tilde{x}}_2 \triangleq \dot{x}_2 - \dot{\hat{x}}_2 \quad (4)$$

where $\dot{\hat{x}}_2$ is defined as follows,

$$\dot{\hat{x}}_2 \triangleq -\frac{K}{m}x_1 - \frac{b}{m}\hat{x}_2 + \frac{A_p}{m}\hat{x}_3 - \frac{F_L}{m}. \quad (5)$$

where \hat{x}_3 is estimate of x_3 .

By substituting (1) and (5) in (4), we obtain the following closed loop error system:

$$\dot{\tilde{x}}_2 \triangleq -\frac{b}{m}\tilde{x}_2 + \frac{A_p}{m}\tilde{x}_3 \quad (6)$$

where \tilde{x}_3 is the observer error for x_3 and defined as:

$$\tilde{x}_3 \triangleq x_3 - \hat{x}_3. \quad (7)$$

Based on the subsequent stability analysis, the update rule for \hat{x}_3 is designed as follows:

$$\dot{\hat{x}}_3 \triangleq \gamma \frac{A_p}{m}\tilde{x}_2 - k_2\hat{x}_3 \quad (8)$$

where $\gamma \in \mathbb{R}^+$ and $k_2 \in \mathbb{R}^+$ are the observer gains and k_2 is defined as:

$$k_2 \triangleq k_1 + \epsilon \quad (9)$$

where $k_1 \in \mathbb{R}^+$ and $\epsilon \in \mathbb{R}^+$ are constants. $|\epsilon| < k_1$ and k_1 is defined as:

$$k_1 \triangleq \frac{4\beta_e C_{tl}}{V_t} \quad (10)$$

It should be noted that $0 < \frac{4\beta_e C_{tl}}{V_t}$.

C. STABILITY ANALYSIS

The stability of the observer has been investigated using the Lyapunov-based method. The Lyapunov function candidate is chosen as follows:

$$V = \frac{1}{2}\gamma\tilde{x}_2^2 + \frac{1}{2}\tilde{x}_3^2. \quad (11)$$

The time derivative of (11) can be given as:

$$\dot{V} = \gamma\tilde{x}_2\dot{\tilde{x}}_2 + \tilde{x}_3\dot{\tilde{x}}_3. \quad (12)$$

By substituting (3), (6), (8) and using (10) and the time derivative of (7), (12) can be rewritten as:

$$\dot{V} = -\frac{b}{m}\gamma\tilde{x}_2^2 + \tilde{x}_3\left(\frac{A_p}{m}\gamma\tilde{x}_2 + f(x_2, x_3, x_4) - k_1x_3 - \gamma\frac{A_p}{m}\tilde{x}_2 + k_2\hat{x}_3\right). \quad (13)$$

By using (7) and (9), (13) can be rewritten as:

$$\begin{aligned} \dot{V} &= -\frac{b}{m}\gamma\tilde{x}_2^2 + \tilde{x}_3(f(x_2, x_3, x_4) - k_2\tilde{x}_3 + \epsilon x_3) \\ &= -\frac{b}{m}\gamma\tilde{x}_2^2 - k_2\tilde{x}_3 + \tilde{x}_3f(x_2, x_3, x_4) + \tilde{x}_3\epsilon x_3 \end{aligned} \quad (14)$$

By taking the absolute value of some items on the right-hand side in (14) and using Assumption 2 and 3, (14) can be upper bounded as:

$$\begin{aligned} \dot{V} &< -\frac{b}{m}\gamma\tilde{x}_2^2 - k_2\tilde{x}_3^2 + |\tilde{x}_3||f| + |\tilde{x}_3||\epsilon||x_3| \\ &< -\frac{b}{m}\gamma\tilde{x}_2^2 - k_2\tilde{x}_3^2 + |\tilde{x}_3|\xi \end{aligned} \quad (15)$$

where

$$\xi = \lambda + \epsilon_2 \quad (16)$$

$$\epsilon_2 > |\epsilon||x_3|. \quad (17)$$

By adding and subtracting $\frac{1}{4(k_2-1)}\xi^2$ to the right-hand side of (15), it can be written as:

$$\begin{aligned} \dot{V} &< -\frac{b}{m}\gamma\tilde{x}_2^2 - \tilde{x}_3^2 - \left(\sqrt{k_2-1}|\tilde{x}_3| - \frac{1}{2\sqrt{k_2-1}}\xi\right)^2 + \frac{1}{4(k_2-1)}\xi^2 \\ &< -\frac{b}{m}\gamma\tilde{x}_2^2 - \tilde{x}_3^2 + \frac{1}{4(k_2-1)}\xi^2. \end{aligned} \quad (18)$$

Finally, \dot{V} can be upper bounded as follows:

$$\dot{V} < -w\|z\|^2 + \psi \quad (19)$$

where

$$w = \min\left(\frac{b}{m}\gamma, 1\right) \quad (20)$$

$$k_2 > 1 \quad (21)$$

$$z = [\tilde{x}_2 \ \tilde{x}_3]^T \quad (22)$$

$$\psi = \frac{1}{4(k_2-1)}\xi^2. \quad (23)$$

From (11) and (18), it is seen that $V(z) \in \mathcal{L}_\infty$ and thus $z(t) \in \mathcal{L}_\infty$. In addition, from (22) and the structure of (11) and (18), it can be said that the trajectory of observer error \tilde{x}_3 , with any initial value, converges to the origin circumference that can be set to be arbitrarily small by tuning the gain k_2 . Therefore, the observer error is globally ultimately bounded when the condition in (21) is satisfied.

III. NUMERICAL SIMULATION RESULTS

In order to substantiate the theoretical results, the designed observer has been tested by using Matlab Simulink program. The system parameters utilized during the simulation are given in Table 2.

Table 2. System parameters

Parameter	Value	Unit
C_d	0.62	-
p_s	$4 \cdot 10^6$	Pa
V_t	$3.417 \cdot 10^{-5}$	m^3
K_{sv}	$5 \cdot 10^{-5}$	m/V
K	1000	N/m
C_{tl}	$2.5 \cdot 10^{-11}$	$m^3 / (s \cdot Pa)$
w	0.024	m
A_p	2.01	cm^2
β_e	$2 \cdot 10^8$	Pa
T_{sv}	12	ms
b	2500	N.s/m
ρ	850	Kg/m^3
F_L	57	N
m	4.845	kg

The following PID controller is used to control the position of the EHS and keep the system states bounded,

$$u = K_p e + K_d \dot{e} + K_i \int e \quad (24)$$

where $e = x_1 - x_{1d}$. The control gains are selected as $K_p = 1000$, $K_d = 10$ and $K_i = 100$.

The performance of the observer is tested for three cases as set point tracking, sinusoidal reference trajectory tracking, and variable set point trajectory cases with and without noise. In the noisy cases, 30 dB additive white Gaussian noise is added to the state x_2 . The observer gains are selected as $\gamma = 5 \cdot 10^{14}$ and $k_2 = 5$ for the noisy free cases and the observer gains are selected as $\gamma = 5 \cdot 10^{10}$ and $k_2 = 500$ for the noisy cases.

A. SET POINT TRACKING

The desired trajectory is selected as $x_{1d} = 0.005$ m. The initial values of all states are set to zero. The designed observer performance is tested in two different situations, noisy and noiseless. In both cases, the desired trajectory of the EHS has not been changed. The observer gains are selected as $\gamma = 5 \cdot 10^{14}$ and $k_2 = 5$ for the noisy free cases and the observer gains are selected as $\gamma = 5 \cdot 10^{10}$ and $k_2 = 500$ for the noisy cases. The control signals and the tracking performance of PID controllers are given in Figures 1 and 3 and Figures 4 and 6, respectively for noisy free and noisy cases. The tracking performance of the observer is given in Figures 2 and 5 for the noise free case and the noisy case, respectively. From Figure 2, it is clear that the observer reaches the actual value quickly and successfully in the noise free case. From the Figure 5, it clear that the observer output tracks the shape of the actual signal successfully in the case of the noisy measurements.

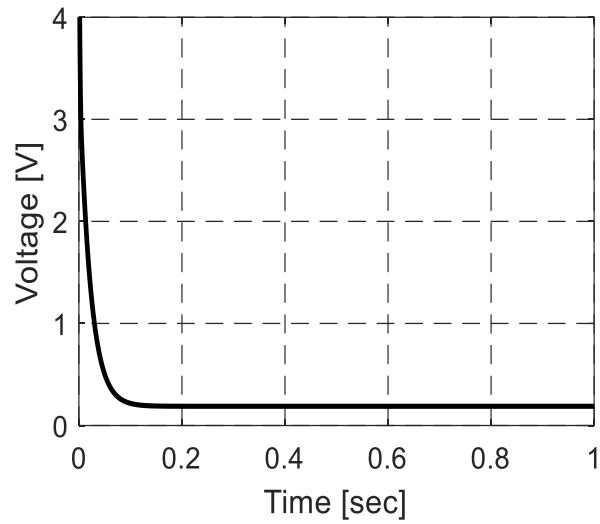


Figure 1. The control signal of set point tracking for the noise free case.

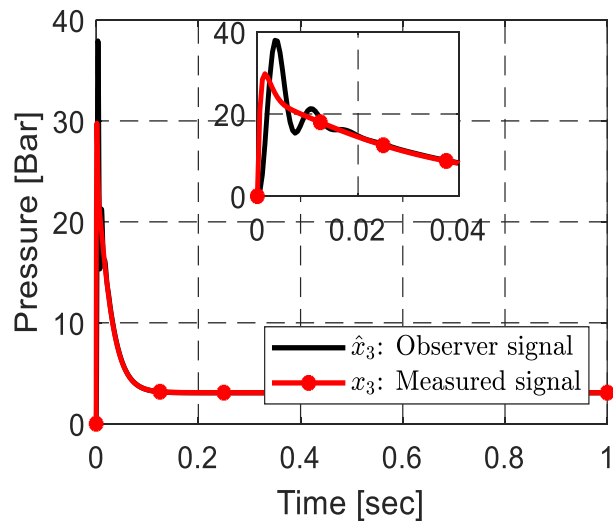


Figure 2. The set point tracking performance of the observer for the noise free case.

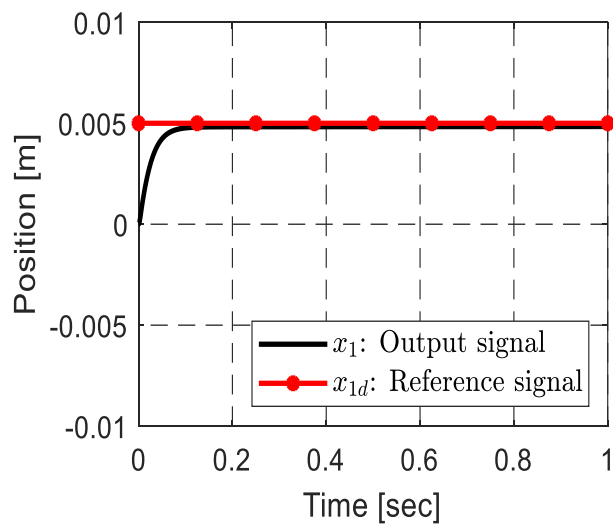


Figure 3. The set point tracking performance of the PID controller for the noise free case.

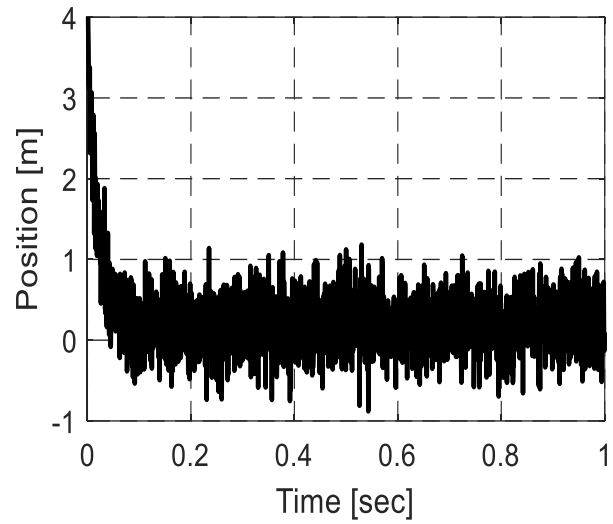


Figure 4. The control signal of set point tracking signal for the noisy case.

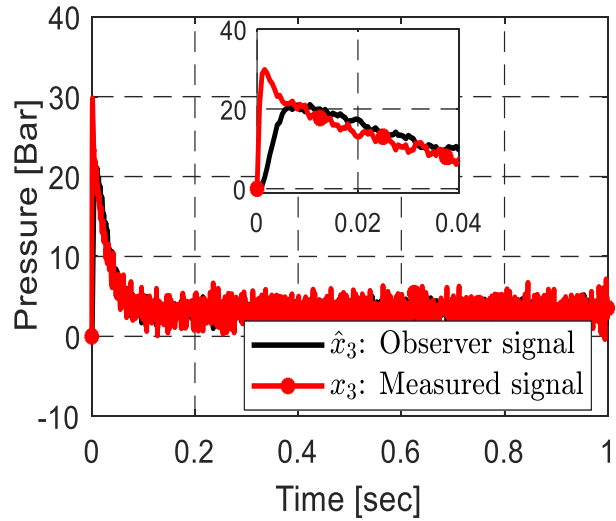


Figure 5. The set point tracking performance of the observer for the noisy case.

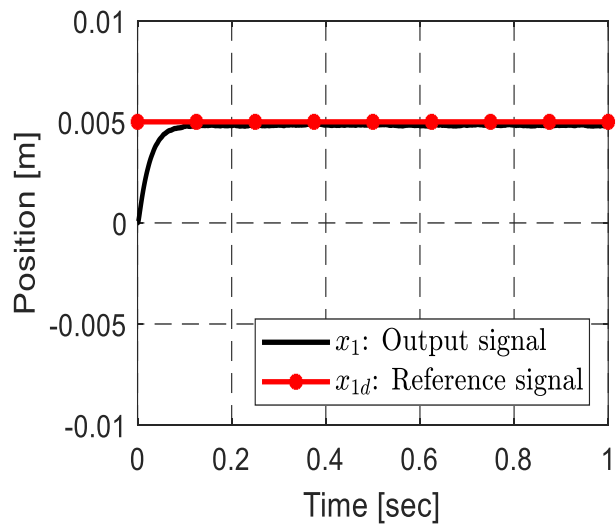


Figure 6. The set point tracking performance of the PID controller for the noisy case.

B. SINUSOIDAL REFERENCE TRAJECTORY TRACKING

The desired trajectory is selected as $x_{1d} = 26 \cdot 10^{-3} \sin(2\pi t)$ m. The initial values of all states are set to zero. The designed observer performance is tested in two different situations, noisy and noiseless. In both cases, the desired trajectory of the EHS has not been changed. The observer gains are selected as $\gamma = 5 \cdot 10^{14}$ and $k_2 = 5$ for the noisy free cases and the observer gains are selected as $\gamma = 5 \cdot 10^{10}$ and $k_2 = 500$ for the noisy cases. The control signals and the tracking performance of PID controllers are given in Figures 7 and 9 and Figures 10 and 12, respectively for noisy free and noisy cases. The tracking performance of the observer is given in Figures 7 and 11 for the noise free case and the noisy case, respectively. From Figure 2, it is clear that the observer reaches the actual value quickly and successfully in the noise free case. From the Figure 11, it clear that the observer output tracks the shape of the actual signal successfully in the case of the noisy measurements.

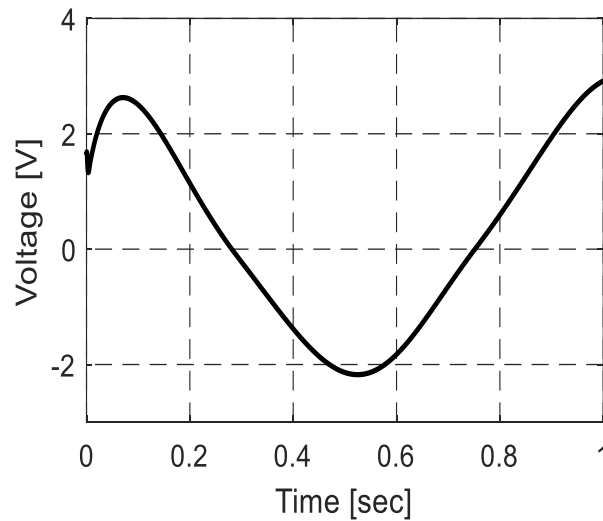


Figure 7. The control signal of sinusoidal reference trajectory signal for the noise free case.

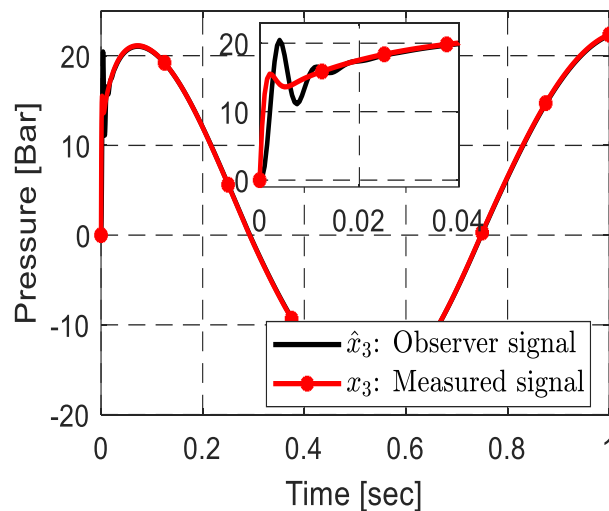


Figure 8. The sinusoidal reference trajectory tracking performance of the observer for the noise free case.

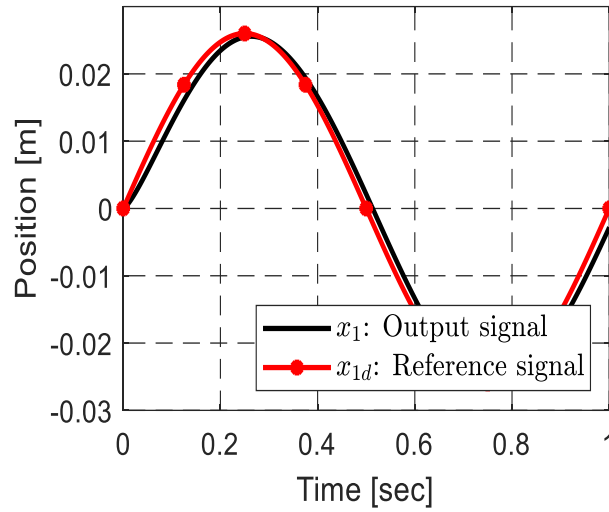


Figure 9. The sinusoidal reference trajectory tracking performance of the PID controller for the noise free case.

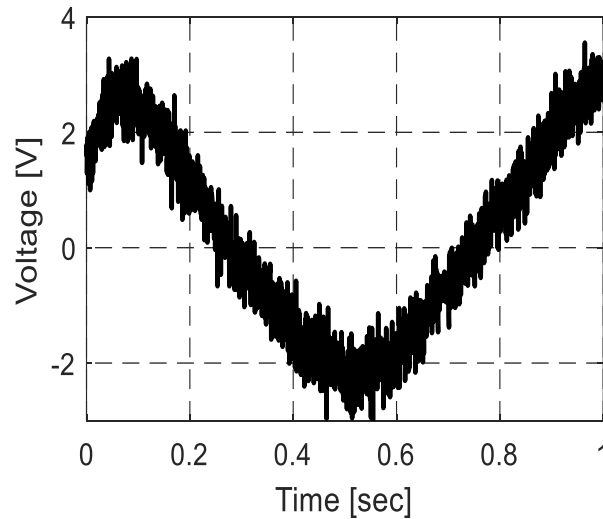


Figure 10. The control signal of sinusoidal reference trajectory signal for the noisy case.

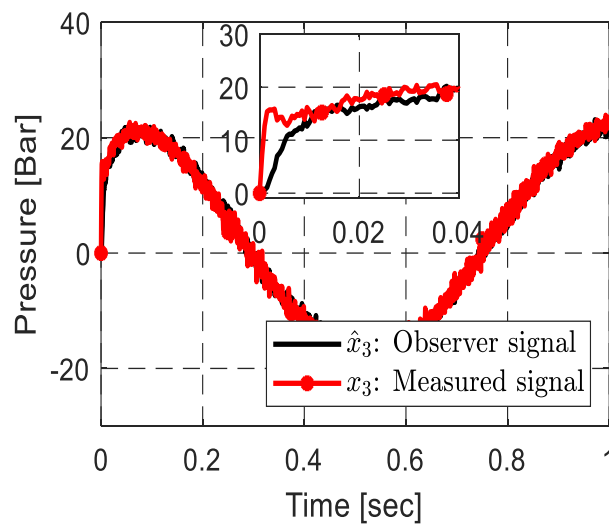


Figure 11. The sinusoidal reference trajectory tracking performance of the observer for the noisy case.

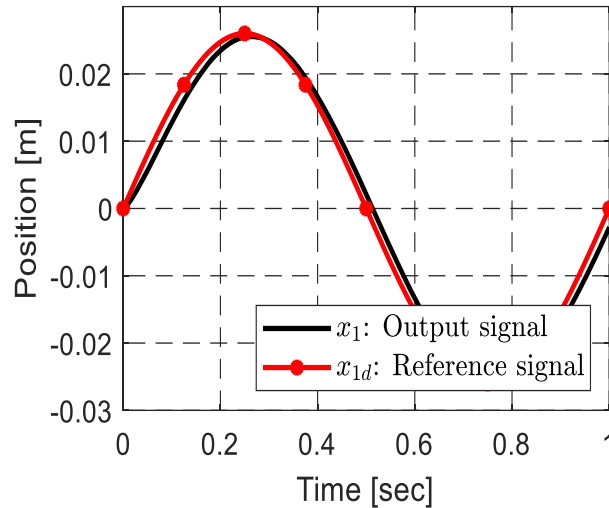


Figure 12. The sinusoidal reference trajectory tracking performance of the PID controller for the noisy case.

C. VARIABLE SET POINT TRACKING

The desired trajectory is selected as $x_{1d} = 0.005$ m and the desired trajectory changed to $x_{1d} = 0.0025$ m after 0.5 seconds. The initial values of all states are set to zero. The designed observer performance is tested in two different situations, noisy and noiseless. In both cases, the desired trajectory of the EHS has not been changed. The observer gains are selected as $\gamma = 5 * 10^{14}$ and $k_2 = 5$ for the noisy free cases and the observer gains are selected as $\gamma = 5 * 10^{10}$ and $k_2 = 500$ for the noisy cases. The control signal and the tracking performance of PID controller in both cases are given in Figures 13 and 15 and Figures 16 and 18, respectively for noisy free and noisy cases. The tracking performance of the observer is given in Figures 14 and 17 for the noise free case and the noisy case, respectively. From Figure 17, it is clear that the observer reaches the actual value quickly and successfully in the noise free case. From the Figure 17, it clear that the observer output tracks the shape of the actual signal successfully in the case of the noisy measurements.

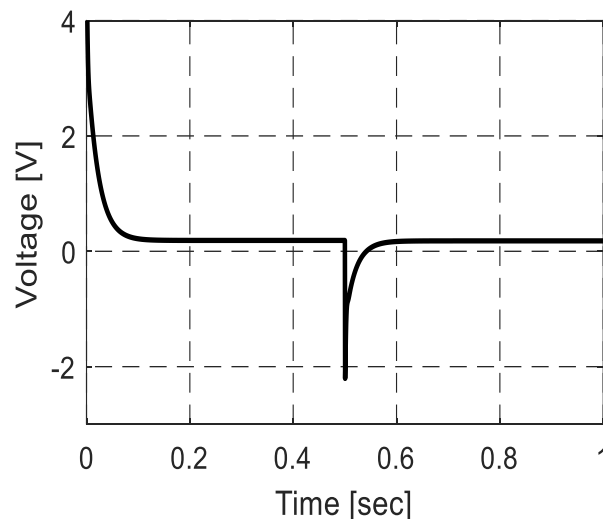


Figure 13. The control signal of variable set point tracking signal for the noise free case.

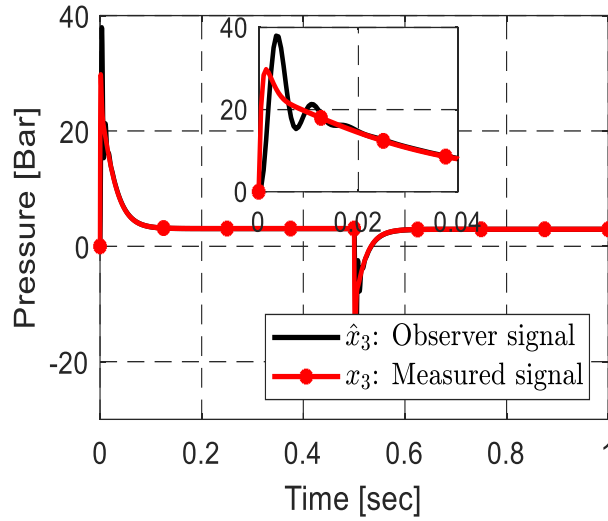


Figure 14. The variable set point tracking performance of the observer for the noise free case.

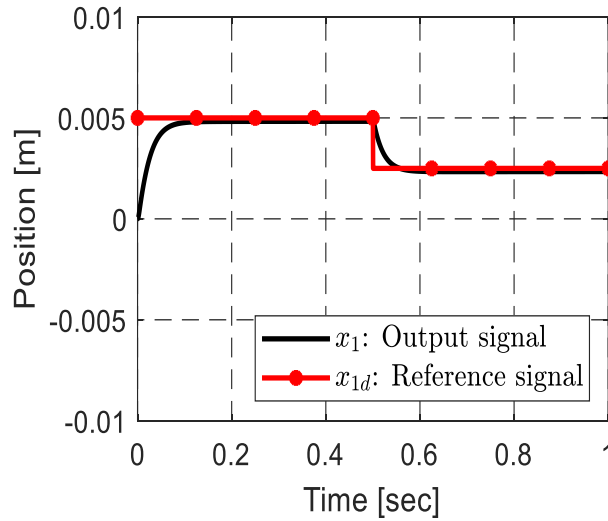


Figure 15. The variable set point tracking performance of the PID controller for the noise free case.

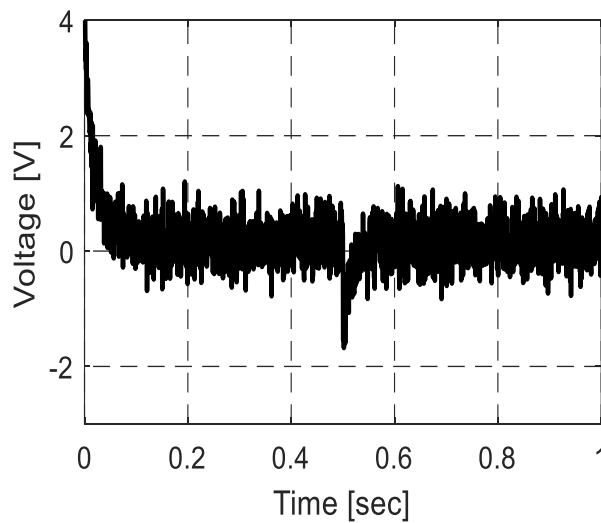


Figure 16. The control signal of variable set point tracking signal for the noisy case.

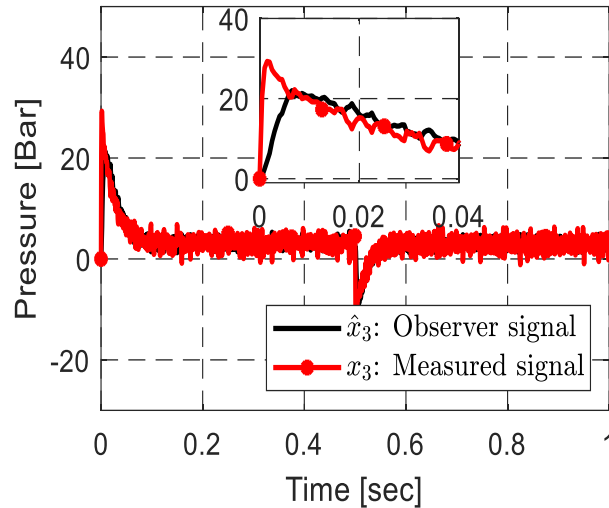


Figure 17. The variable set point tracking performance of the observer for the noisy case.

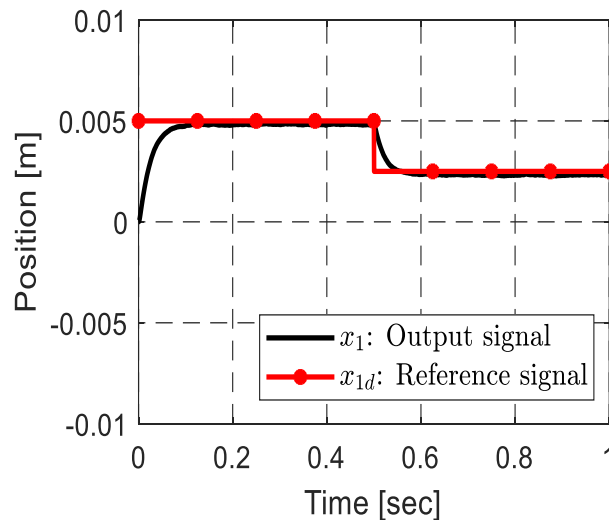


Figure 18. The variable set point tracking performance of the PID controller for the noisy case.

IV. DISCUSSION and CONCLUSION

In this paper, a Lyapunov based observer is proposed to observe the load pressure of the EHS. With the stability analysis, it is verified that observer error is proven to be around the origin, which can be set to be arbitrarily small. The performance of the observer is tested by the computational simulation studies which are conducted in MATLAB Simulink program. In the simulation studies, in order to prove the performance of the observer, the simulation results are presented with different reference tracking and in noisy and noise free cases. In the noisy cases, the state x_2 is exposed to the 30 dB additive white Gaussian noise. The simulation results demonstrated that the observer works efficiently in the noise free case and the noisy case.

V. KAYNAKLAR

- [1] Y. Chen, "Backstepping Controller Design for Electro-hydraulic Servo System with Sliding Observer," *Proceedings of the 29th Chinese Control Conference*, 29-31 July, Beijing, China, pp. 391-394, 2010.

- [2] J. Yao, Z. Jiao and D. Ma, "Extended-State-Observer-Based Output Feedback Nonlinear Robust Control of Hydraulic Systems with Backstepping," *IEEE Transaction on Industrial Electronics*, vol. 61, no. 11, pp. 6285-6293, 2014.
- [3] A. Chaji and S.K.H. Sani, "Observer Based Feedback Linearization Control for Electrohydraulic Servo Systems. International Congress on Technology," *Communication and Knowledge*, 11-12 November, Mashhad, Iran, pp. 226-231, 2015.
- [4] J. Yao, Z. Jiao and D. Ma, "Output Feedback Nonlinear Control for Electro-hydraulic Systems," *Mechatronics*, vol. 22, no. 6, pp. 766-777, 2012.
- [5] A. Monhanty and S. Gayaka, B. Yao, "An Adaptive Robust Observer for Velocity Estimation in an Electro-hydraulic System," *International Journal of Adaptive Control and Signal Processing*, vol. 26, no. 12, pp. 1076-1088, 2012.
- [6] S.A. Ali, A. Christie, S. Begg and N. Langlois, "Continuous Discrete Time Observer Design for State and Disturbance Estimation of Electro-hydraulic Actuator Systems," *IEEE Transaction on Industrial Electronics*, vol. 63, no. 7, pp. 4314-4324, 2016.
- [7] Q. Guo, Y. Zhang, B. G. Celler and S. W. Su, "Backstepping Control of Electrohydraulic System Based on Extended-State Observer with Plant Dynamics Largely Unknown," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 63, no. 11, pp. 6909-6920, 2016.
- [8] P. Nakkarat and S. Kuntanapreeda, "Observer-Based Backstepping Force Control of an Electrohydraulic Actuator," *Control Engineering Practice*, vol. 17, no. 8, pp. 895-902, 2009.
- [9] W. Kim, D. Won and C. C. Chung, "High Gain Observer Based Nonlinear Position Control for Electro-Hydraulic Servo Systems," *Proceeding of the 2010 American Control Conference*, 30 June-2 July, Baltimore, MD, USA, pp. 1140-1446, 2010.
- [10] Q. Guo, T. Yu and D. Jiang, "High-Gain Observer-Based Output Feedback Control of Single-rod Electro-hydraulic Actuator," *IET Control Theory & Applications*, vol. 9, no. 16, pp. 2395-2404, 2015.
- [11] W. Shen, H. Huang and J. Wang, "Robust Backstepping Sliding Mode Controller Investigation for a Port Plate Position Servo System Based on an Extended States Observer," *Asian Journal of Control*, vol. 21, no. 1, pp. 302-311, 2019.
- [12] S. Liu and B. Yao, "Sliding Mode Flow Rate Observer Design," *Proceeding of the 6th International Conference on Fluid Power Transmission and Control*, 5-8 April, Huangzhou, China, pp. 1-5, 2005.
- [13] A.A. Sofiane, "Sampled Data Observer Based Inter-Sample Output Predictor for Electrohydraulic Actuators," *ISA Transaction*, vol. 58, no. 1, pp. 421-433, 2015.
- [14] P. Garimella and B. Yao, "Nonlinear Adaptive Robust Observer Design for a Class of Nonlinear Systems," *Proceeding of the 2003 American Control Conference*, 4-6 June, Denver, CO, USA, pp. 4391-4396, 2003.
- [15] L. Schmidt, T. O. Andersan and H. C. Pedersen, "An Approach for State Observation in Dynamical Systems Based on the Twisting Algorithm," *IEEE International Conference on Mechatronics and Automation*, 4-7 August, Takamatsu, Japan, pp. 1051-1056, 2013.






- [16] Q. Zou, D. Chen and K. Wei, "Sliding Mode Based Mode Free Control of Electro-hydraulic System with Extended State Observer," *IEEE 5th Information Technology and Mechatronics Engineering Conference*, 12-14 June, Chongqing, China, pp. 1637-1641, 2020.
- [17] F. Lin, K. Ou and Y. Wang, "A Position Adaptive Control Associated with High Gain Observer for Electro-Hydraulic Servo System," *Chinese Automation Congress*, 6-8 November, Shanghai, China, pp. 3345-3350, 2020.
- [18] D. Won, W. Kim and M. Tomizuka, "Nonlinear Control with High Gain Extended State Observer for Position Tracking of Electro Hydraulic Systems," *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, vol. 25, no. 6, pp. 2610-2621, 2020.
- [19] V. Phan, C. Vo, H. Dao and K. Ahn, "Robust Fault-Tolerant Control of an Electrohydraulic Actuator with a Novel Nonlinear Unknown Input Observer," *IEEE Access*, vol. 9, no. 1, 2021 pp. 30750-30760, 2021.
- [20] Q. Zou, "Extended State Observer-Based Finite Time Control of Electro-hydraulic System via Sliding Mode Technique," *Asian Journal of Control*, pp. 1-17, 2021.
- [21] Q. Guo, Q. Wang, Z. Zuo, Y. Zhang, D. Jiang and Y. Shi, "Parametric Adaptive Control of Electro-hydraulic System Driving Two DOF Robotic Arm," *IEEE 56th Annual Conference on Decision and Control*, 12-15 December, Melbourne, VIC, Australia, pp. 3283-3288, 2017.
- [22] M. Onder, A. Bayrak, S. Aksoy "RISE-Based Backstepping Control Design for an Electro-Hydraulic Arm System with Parametric Uncertainties," *International Journal of Control*, pp. 1-14, 2021.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Kömür Yakıtlı Süper Kritik Termik Santralin Enerji ve Ekserji Analizi

 Halil İbrahim TOPAL ^{a,*},  Başak BAYRAM ^b,  Kemal BAYRAM ^b,  Beytullah ERDOĞAN ^a,
 Mehmet KOPAÇ ^a

^a *Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Zonguldak, TÜRKİYE*

^b *Eren Enerji, Zonguldak, TÜRKİYE*

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: h.ibrahimtopal@beun.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.966961

ÖZ

Yenilenebilir enerji kaynaklarıyla elektrik üretimi üzerine araştırmalar hızlı bir şekilde ilerlese de fosil yakıtlarla elektrik üretiminin hem dünyada hem Türkiye’de uzun bir süre daha sürmesi beklenmektedir. Hem çevrede oluşturduğu zararlı etkiler hem de tükenme riskinin yüksek olması, fosil yakıtların termik santrallerde verimli bir şekilde tüketilmesini zorunluluk haline getirmiştir. Fosil yakıtın bir türü olan kömür, elektrik üretmek amacıyla termik santrallerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Kömür yakıtlı termik santrallerde kullanılan kazan, süper kritik bir kazan seçildiğinde santral verimi artırılabilir. Bu çalışmada Zonguldak ilinde bulunan Eren Enerji’ye ait kömür yakıtlı süper kritik termik santralin termodinamik performansı, enerji ve ekserji analiz metodlarıyla incelenmiştir. Santralde bulunan her bir elemana ait enerji kayıpları ve tersinmezlikler hesaplanmıştır. Enerji analizi, kömürün kimyasal enerjisinin %48.5’inin kondenserde soğutma suyuna aktarıldığını; ekserji analizi ise kömürün kimyasal ekserjisinin %49.2’sinin kazanda yok edildiğini göstermiştir. Santralin enerji verimi %33.65, ekserji verimi ise %31.42 olarak hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: *Süper kritik santral, Enerji, Ekserji, Tersinmezlik*

Energy and Exergy Analysis of a Coal-Fired Supercritical Power Plant

ABSTRACT

Although research on electricity generation with renewable energy sources is progressing rapidly, it is expected that electricity generation with fossil fuels will continue for a long time both in the world and in Turkey. Fossil fuels should consume more efficiently in thermal power plants because of their harmful effects on the environment and the high risk of depletion. Coal is one type of fossil fuels and is widely used as an energy source to generate electricity in thermal power plants. The power plant efficiency can be increased when the boiler used in coal-fired thermal power plant is selected as a supercritical boiler. In this study, the thermodynamic performance of a coal-fired supercritical thermal power plant located in Zonguldak province and owned by Eren Energy was investigated by energy and exergy analysis methods. The energy losses and irreversibilities of each component in the power plant was calculated. The energy analysis demonstrated that 48.5% of the chemical energy of the coal was transferred to the cooling water in the condenser, the exergy analysis demonstrated that 49.2% of the chemical exergy of the coal was destroyed in the boiler. The energy efficiency of the power plant was calculated as 33.65% and the exergy efficiency as 31.42%.

Keywords: *Supercritical power plant, Energy, Exergy, Irreversibility*

I. GİRİŞ

Ülkelerin gelişmişlik düzeyini gösteren önemli parametrelerden biri, o ülkede kişi başına tüketilen yıllık elektrik enerjisi miktarıdır [1]. 2018 yılı verilerine göre kişi başına yıllık elektrik tüketimi dünyada 3081 kWh iken, ülkeler arasında en fazla kişi başına yıllık elektrik tüketimi 51699 kWh olarak İzlanda'da gerçekleşmiştir. Bu değer Türkiye'de ise 3013 kWh olmuştur [2]. Teknolojinin ilerlemesine bağlı olarak da insanların yıllık elektrik tüketimi sürekli artmaktadır. Bu durum elektrik üretimindeki arzın, yıldan yıla artacağına bir göstergesidir.

Elektrik enerjisi; güneş, rüzgar, biyokütle, jeotermal ve hidroelektrik gibi yenilenebilir enerji kaynaklarıyla üretilebilse de [3] dünyada hala kömür, doğalgaz, petrol gibi fosil kökenli enerji kaynaklarına dayalı elektrik üretiminin payı çok yüksektir [4]. Fosil kökenli yakıtlarla elektrik enerjisi üretimi; yakıtın yanmasıyla birlikte açığa çıkan kimyasal enerjinin bir akışkana aktarılması, bu akışkanın bir türbinden geçirilerek türbinin döndürülmesi ve türbine bağlı olan bir jeneratörde elektrik üretilmesi prensibine dayanır [5]. Fosil kökenli yakıtların yanmasıyla birlikte ortaya çıkan yanma gazları ise atmosfer sıcaklığının üzerindeki bir sıcaklıkta çevreye atılır. Bu gazların içindeki su buharı, karbon dioksit, nitröz oksit gibi sera gazları küresel ısınma artışına neden olurken; karbon monoksit, kükürt dioksit gibi zehirli emisyonlar da insan sağlığı için tehlikelidir [6]. Elektrik enerjisine olan ihtiyacın gittikçe artması, buna karşın fosil kökenli yakıtların hem zararlı çevresel etkileri hem de tükenme riskinin çok yüksek olması, araştırmacıları bu kaynakları daha verimli ve daha az zararlı bir biçimde tüketme yollarını bulmaya teşvik etmektedir.

Kömür yakıtlı termik santraller hem dünyada hem de Türkiye'de elektrik üretimi amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Türkiye Elektrik İletim A.Ş. verilerine göre Mayıs 2021 tarihi itibarıyla Türkiye'de 97689.5 MW kurulu gücün yaklaşık %21'ini kömür/linyit yakıtlı termik santraller oluşturmaktadır [7]. Çevresel etkiler, elektrik enerjisine duyulan ihtiyacın gittikçe artması gibi faktörler göz önüne alındığında, mevcut termik santrallerin termodinamik performansı hakkında detaylı bir mühendislik araştırması yapmak ve santrallerdeki verimsizliklerin yerini ve büyüklüğünü belirlemek akıllıca bir yaklaşım olacaktır. Kömür yakıtlı termik santrallerdeki verim artışı, eşit büyüklükteki elektrik üretimini daha az yakıtla yapabilmeye imkanı sağlar [8]. Verim artışı aynı zamanda santralden atılan emisyon miktarının azalmasına neden olur [9]. İş akışkanının su olduğu kömür yakıtlı termik santrallerde verim artışı sağlamanın bir yolu, santralde kullanılan kazanın seçimidir. Bu tür santrallerde kullanılan kazanlar suyun kritik nokta özellikleri (373.95 °C, 22.06 MPa) referans alınarak genelde üç sınıfa ayrılır [10]: (i)*Kritik altı kazanlar*: Bu tip kazanlar suyun kritik nokta basıncının altında çalışır. Maksimum su buharı sıcaklığı ise yaklaşık 540 °C'dir. (ii)*Süper kritik (kritik üstü) kazanlar*: Bu tip kazanlarda kazan basıncı kritik basıncın üzerinde (25-28.5 MPa) olurken su buharı sıcaklığı 610 °C'dir. (iii)*Ultra süper kritik (ultra kritik üstü) kazanlar*: Bu tip kazanlarda ise kazan basıncı 30 MPa, maksimum su buharı sıcaklığı ise 700 °C civarındadır. Kritik altı kazanların kullanıldığı santrallerde termik verim %30-37, süper kritik kazan kullanılan santrallerde %39-43, ultra süper kritik kazanların kullanıldığı santrallerde ise %43-50 aralığındadır. Malzeme teknolojisindeki gelişmeler, ultra süper kritik kazanların üretilmesine ve yüksek sıcaklığa ve basınca dayanabilen türbin kanadı imalatının yapılabilmesine imkan sağlamıştır.

Kömür yakıtlı termik santrallerin termodinamik performansı, santrale enerji ve ekserji analizlerinin uygulanması ile araştırılabilir [11]. Santralin enerji analizi, enerjinin korunumu yasası ile yapılır [12]. Termodinamiğin 1. Yasası olan enerjinin korunumu yasası ile santraldeki enerji kayıplarının yeri ve büyüklüğü belirlenir. Ayrıca santraldeki her bir ekipmanın ve santralin enerji verimi hesaplanır. Termik santrallerde esas amaç iş türü bir enerji olan elektrik üretmektir. Carnot'un teorisine göre bir ısı makinesinin verimi asla %100 olamaz. Enerji bir hal değişimi esnasında korunurken, verimin neden %100 olamayacağına cevabı ise Termodinamiğin 2. Yasası ile ilgilidir [13]. Termodinamiğin 2. Yasası, bir ısı makinesinin sadece tek bir ısı kaynağıyla etkileşimde olarak net iş üretemeyeceğini ifade eder. Gerçek hal değişimlerinde, enerji korunurken entropi ürer. Üretilen entropi ile referans çevrenin mutlak sıcaklığının çarpımı tersinmezlik verir. Tersinmezlik, bir prosesteki hal değişimi esnasında meydana gelen iş kayıplarının miktarıdır. Bir sistemden elde edilebilecek maksimum iş, o sistemin belirli bir halden referans (ölü) hale tersinir bir hal değişimi geçirmesi durumunda gerçekleşir. Bu durum,

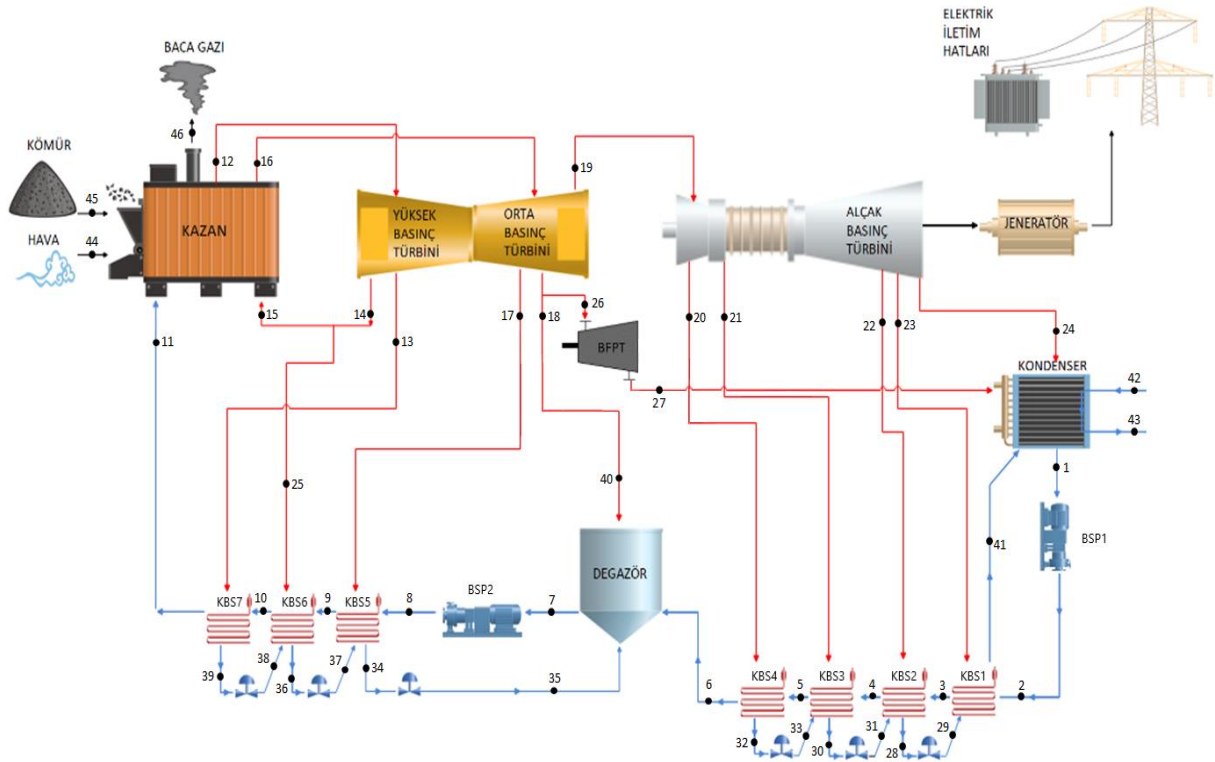
termodinamik bir özellik olarak ifade edilebilen ekserji kavramı ile tanımlanır. Gerçek hal değişimlerinde ekserji, enerjinin korunumunun aksine yok olur. Yok olan ekserji, termal sistemdeki iş kayıplarının bir ölçüsüdür. Bu nedenle, termik santral gibi termal sistem tasarımlarında ekserji analizi ile ekserji kayıplarının sayısal değerini belirlemek ve bu değeri minimize etmek, enerji kaynaklarının etkin bir şekilde kullanılmasına imkan verir [13]. Literatürde, kömür yakıtlı termik santrallere enerji ve ekserji analizinin uygulandığı birtakım çalışmalar mevcuttur. Regulagadda vd., 32 MW gücünde elektrik üreten kömür yakıtlı termik santralin termodinamik analizini yaparak, ekserji kayıplarının en fazla kazan ve türbinde gerçekleştiğini göstermiştir. Santralin enerji verimini %30.12, ekserji verimini %25.38 olarak hesaplamıştır [14]. Erdem vd, Türkiye’de bulunan dokuz farklı kömür yakıtlı termik santralin termodinamik performansının kıyaslamalı olarak incelemiştir. En düşük ekserji verimine (%28.55) Kangal Termik santralini, en yüksek ekserji verimine (%37.88) Çan Termik Santrali’nin sahip olduğunu göstermiştir [15]. Kopaç vd, Çatalağzı Termik santraline enerji ve ekserji analizini uygulayarak, santralin termodinamik analizini yapmışlardır [11]. Birinci kanun analizine göre en yüksek enerji kaybının kondenserde, ikinci kanun analizine göre en yüksek ekserji kaybının kazanda olduğu belirtilmiştir ve iyileştirme çalışmalarının öncelikle kazanda yapılması gerektiği vurgulanmıştır. Ganapaty vd, linyit kömürünün enerji kaynağı olarak kullanıldığı bir termik santrale ekserji analizini uygulamışlardır [16]. Bu uygulama sonucunda, kazanda %57 ekserji kaybı olduğunu ve bu kaybın %42.7’sinin yakıcılardan kaynaklandığını tespit etmiştir. Yakıcılarda yapılacak olan iyileştirme ile verimin artacağını belirtmiştir. Ehsan ve Yılmazoğlu, 9 farklı linyit yakıtının kullanıldığı santrallerde ekserji yok oluşunu (tersinmezlik) ve ekserji verimini araştırmıştır [17]. Ayrıca yakıt oranları ve CO2 emisyon değerlerini belirlemiş ve kıyaslamıştır. Sonuç olarak CO2 emisyon değerleri ve ekserji verimi en iyi Yeniköy linyiti için belirlenmiştir. Maksimum tersinmezliğin Seyitömer linyitinde olduğunu, bunun nedeni olarak karbon ve hidrojen oranının diğer linyitlere göre düşük olmasından kaynaklandığını ifade etmişlerdir. Amir ve Mehdi, bir termik santraldeki her bir ekipmanın enerji ve ekserji performanslarını, farklı referans sıcaklıkları için incelemiştir [18]. Artan ortam sıcaklığı ve buna bağlı artan kondenser basıncının, santralin enerji veriminin azalmasında önemli bir faktör olduğunu tespit etmişlerdir. Gulhana ve Thakur, kojenerasyon santraline ekserji analizini uygulamış ve uygulama sonucunda kazan ekipmanlarında yapılacak iyileştirmelerin verimliliği artırabileceğini vurgulamıştır [19]. Ünal ve Özkan, Tunçbilek termik santral ekipmanlarının enerji ve ekserji akımlarını hesaplayarak, enerji kayıplarını ve tersinmezlikleri hesaplamıştır [20]. Kurulu sistemde bir iyileştirme yapılmak istenirse, taze hava fanlarının ve otomatik kontrol tekniğinin gözden geçirilmesinin sisteme fayda sağlayacağını vurgulamışlardır. Rai vd., termik santralde süper kritik kazan teknolojisini incelemişler ve verimi hesaplamışlardır [21]. Yaptıkları analizlerde, kritik basınç üzerinde yüksek sıcaklıktaki buharla yüksek kazan verimi elde edebileceklerini görmüşlerdir. Gelişmiş teknolojideki bu kazanların yüksek verimlilik ve yüksek güvenilirlik sağladığını belirtmişlerdir. Rude vd., süper kritik kazan teknolojisini incelemişlerdir [22]. Süper kritik kazanların MWh başına harcanan kömür miktarının az olması nedeniyle daha az çevre kirliliği ve yüksek verimlilik için iyi bir teknoloji olduğu vurgulanmıştır. Ayrıca yüksek santral veriminin, türbin girişindeki sıcaklık ve basıncın yüksek olmasından ve ileri yanma teknolojisinden kaynaklandığını belirtmişlerdir.

Tüm bu bilgiler değerlendirildiğine yazarlar, mevcut bir kömür yakıtlı süper kritik termik santralin enerji/ekserji performansını araştırmanın literatüre katkı sunacağını düşünmektedir. Bu nedenle bu çalışmada, Zonguldak ilinde bulunan Eren Enerji kömür yakıtlı süper kritik termik elektrik santralini termodinamik performansı, literatürde güçlü bir analiz aracı olduğu kabul edilen enerji ve ekserji analiz metodları ile incelenmiştir. Enerji analizi ile santraldeki enerji kayıplarının yeri ve büyüklüğü tayin edilmiş, santralin enerji verimi bulunmuştur. Ekserji analizi ile santral ekipmanlarının tersinmezlikleri ve büyüklüğü hesaplanmış, ekserji verimi belirlenmiştir.

II. EREN ENERJİ KÖMÜR YAKITLI SÜPER KRİTİK ELEKTRİK SANTRALİ

Eren Enerji Elektrik Santrali, 1 adet 160 MW akışkan yatak teknolojisi, 2x615 MW ve 2x700 MW süper kritik pulverize kömürlü ünitelere sahip olan toplamda 2790 MW kurulu güce sahip bir santraldir. Bu

çalışmada süper kritik pulverize kömürlü kazana sahip olan 700 MW nominal güçteki santral incelenmiştir. Santralde kullanılan kazan; süper kritik, tek geçişli, pulverize kömür yakıtlı, Benson tip kazandır. Kazan genel olarak, ekonomizer, su duvarları, süper kızdırıcı (superheater), tekrar kızdırıcı (reheater) ve akış geçiş ayırıcı (su ve buhar ayırıcı) ekipmanlarından oluşur. Kazanda, ön hava ısıtıcılarında ısıtılan havayla kömürün yanması sonucu açığa çıkan kimyasal enerji, suyun sistem içerisinde buharlaşmasını sağlamaktadır. Kazanda üretilen süper kritik şartlardaki buhar sırasıyla yüksek basınç türbini (YBT), orta basınç türbini (OBT) ve alçak basınç türbinine (ABT) girerek genişler ve mekanik iş üretilir. Türbin grubuna bağlı olan jeneratör (G) ile elektrik üretilmiş olur. ABT'den çıkan ıslak buhar kondensere girerek yoğunlaşır. Kondenserde soğutma suyu olarak deniz suyu kullanılır. Türbinlerin ara kademelerinden çekilen buhar, kazan besleme suyu ısıtıcılarına (KBSI) girerek santral veriminin artışı sağlanır. Kondenserdan çıkan sıvı suyun basıncı besleme suyu pompası 1 (BSP1) ile degazör basıncına, degazörden çıkan sıvı suyun basıncı BSP2 ile kazan basıncına yükseltilir. Kazan besleme suyu pompa türbini (BFPT) ile pompaların tahriki sağlanır.



Şekil 1. Eren Enerji kömür yakıtlı süper kritik elektrik santrali kütle akış şeması.

III. ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ

Süper kritik termik santralin termodinamik performansını, verimini ve santral elemanlarındaki tersinmezlikleri araştırabilmek için enerji ve ekserji analizi yapılmıştır. Analiz esnasında aşağıdaki kabuller yapılmıştır.

- Potansiyel ve kinetik enerji değişimleri ihmal edilmiştir.
- Kazana giren havanın ve yanma sonu ürünlerinin mükemmel gaz olduğu kabul edilmiştir.
- Pompa ve türbin gibi iş üreten veya tüketen elemanlardaki ısı kaybının, üretilen/tüketilen işin %2'si kadar olduğu kabul edilmiştir.
- Referans çevre koşulları 25 °C ve 101.3 kPa olarak alınmıştır.

Sürekli akışlı bir sistem için Termodinamiğin 1. Yasası olarak bilinen enerjinin korunumu denklem 1 ile ifade edilir [23] :

$$\dot{Q} - \dot{W} + \sum \dot{m}_g h_g - \sum \dot{m}_c h_c = 0 \quad (1)$$

Burada \dot{Q} ve \dot{W} sırasıyla seçilen kontrol hacminin sınırlarından geçen ısı ve işi, \dot{m} kütle debisini, h ise birim kütle başına entalpiyi temsil eder.

Termal sistem tasarımlarını sadece termodinamiğin birinci yasasını dikkate yapmak sistemin doğru tasarlandığını göstermez. Bu yüzden termal sistemlerin tasarımlarında termodinamiğin ikinci yasasıyla ilişkili olan ekserji analizini de yapmak çok önemlidir. Ekserji, bir sistemin belirli bir ilk halden çevre haline tersinir bir hal değişimi geçirmesi sonucu o sistemden elde edilebilecek iş olarak tanımlanır. Akan bir maddenin birim kütle başına toplam termomekanik ekserjisi; nükleer, manyetik, elektriksel ve yüzey gerilmeleri, potansiyel ve kinetik ekserjileri ve kimyasal ekserjisi ihmal edildiğinde denklem 2 ile ifade edilir [23]:

$$ex = (h - h_0) - T_0(s - s_0) \quad (2)$$

Burada ex ve s sırasıyla birim kütle başına ekserjiyi ve entropiyi temsil etmektedir. Akan bir maddenin toplam ekserjisi denklem 3 ile hesaplanır [23]:

$$\dot{E}_x = \dot{m}(ex) \quad (3)$$

Burada \dot{E}_x akan bir maddenin toplam ekserjisini göstermektedir. Sürekli akışlı bir sistemde ekserji, enerjinin aksine korunmaz ve yok olur. Yok olan ekserji, kaybolan iş miktarının bir ölçüsüdür. Bir sistemde yok olan ekserji; tersinmezlik veya ekserji yıkımı olarak adlandırılır [24]. Ekserji dengesini bir sisteme kurabilmek için tersinmezlik miktarını eşitliğe eklemek gerekir. Sürekli akışlı bir sistem için genel ekserji dengesi denklem 4 ile ifade edilir [23]:

$$\dot{I} = \dot{E}_x^{\dot{Q}} - \dot{E}_x^{\dot{W}} + \sum \dot{E}_{x,g} - \sum \dot{E}_{x,c} \quad (4)$$

Burada \dot{I} sistemde meydana gelen tersinmezliği, $\dot{E}_x^{\dot{Q}}$ ve $\dot{E}_x^{\dot{W}}$ sırasıyla seçilen kontrol hacminin sınırlarını ısıyla ve işle geçen ekserjiyi, $\dot{E}_{x,g}$ ve $\dot{E}_{x,c}$ kontrol hacmine giren ve kontrol hacminden çıkan maddenin ekserjisini temsil eder. Isı ile ekserji geçişi denklem 5 ile hesaplanır [13]:

$$\dot{E}_x^{\dot{Q}} = \left(1 - \frac{T_0}{T_k}\right) \dot{Q} \quad (5)$$

Burada T_0 referans çevrenin mutlak sıcaklığı, T_k ise ısı transferinin gerçekleştiği noktada sistemin mutlak sıcaklığıdır.

Ekserji elde edilebilecek maksimum iş olduğundan iş ile ekserji geçişi, işin kendisine eşittir ve denklem 6 ile hesaplanır [13]:

$$\dot{E}_x^{\dot{W}} = \dot{W} \quad (6)$$

1-6 numaralı denklemlerden faydalanarak santralin tüm elemanlarına uygulanan enerji ve ekserji denklilikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tabloda açıkça verilmeyen bazı parametreler 7-13 numaralı denklemlerle hesaplanabilir. Kazana giren kömürün yanmasıyla açığa çıkan toplam kimyasal enerji $\dot{E}_{yakıt}$ denklem 7 ile tanımlanır [13]:

Tablo 1. Santral elemanlarına ait enerji ve ekserji denklemleri.

Komponent	Enerji dengesi	Ekserji dengesi
Kazan	$\dot{E}_{yakıt} + \dot{E}_{11} + \dot{E}_{15}$ $= \dot{E}_{12} + \dot{E}_{16} + \dot{E}_{bg}$ $+ \dot{Q}_{k,kazan}$	$\dot{I}_k = \dot{E}_{x_{yakıt}} + \dot{E}_{x_{11}} + \dot{E}_{x_{15}} - \dot{E}_{x_{12}} - \dot{E}_{x_{16}}$ $- \dot{E}_{x_{bg}}$
YBT	$\dot{E}_{12} = \dot{E}_{13} + \dot{E}_{14} + \dot{W}_{YBT} + \dot{Q}_{k,YBT}$	$\dot{I}_{YBT} = \dot{E}_{x_{12}} - \dot{E}_{x_{13}} - \dot{E}_{x_{14}} - \dot{E}_{x_{w,YBT}}$
OBT	$\dot{E}_{16} = \dot{E}_{17} + \dot{E}_{18} + \dot{E}_{19} + \dot{W}_{OBT} + \dot{Q}_{k,OBT}$	$\dot{I}_{OBT} = \dot{E}_{x_{16}} - \dot{E}_{x_{18}} - \dot{E}_{x_{17}} - \dot{E}_{x_{19}}$ $- \dot{E}_{x_{w,OBT}}$
ABT	$\dot{E}_{19} = \dot{E}_{20} + \dot{E}_{21} + \dot{E}_{22} + \dot{E}_{23} + \dot{E}_{24}$ $+ \dot{W}_{ABT} + \dot{Q}_{k,ABT}$	$\dot{I}_{ABT} = \dot{E}_{x_{19}} - \dot{E}_{x_{20}} - \dot{E}_{x_{21}} - \dot{E}_{x_{22}} - \dot{E}_{x_{23}}$ $- \dot{E}_{x_{24}} - \dot{E}_{x_{w,ABT}}$
KON	$\dot{E}_{24} + \dot{E}_{27} + \dot{E}_{41} + \dot{E}_{42}$ $= \dot{E}_1 + \dot{E}_{43} + \dot{Q}_{k,KON}$	$\dot{I}_{KON} = \dot{E}_{x_{24}} + \dot{E}_{x_{27}} + \dot{E}_{x_{41}} + \dot{E}_{x_{42}} - \dot{E}_{x_1}$ $- \dot{E}_{x_{43}}$
BSP1	$\dot{E}_1 + \dot{W}_{BSP1} = \dot{E}_2 + \dot{Q}_{k,BSP1}$	$\dot{I}_{BSP1} = \dot{E}_{x_1} - \dot{E}_{x_2} + \dot{E}_{x_{BSP1}}$
BSP2	$\dot{E}_7 + \dot{W}_{BSP2} = \dot{E}_8 + \dot{Q}_{k,BSP2}$	$\dot{I}_{BSP2} = \dot{E}_{x_7} - \dot{E}_{x_8} + \dot{E}_{x_{BSP2}}$
BFPT	$\dot{E}_{26} = \dot{E}_{27} + \dot{W}_{BFPT} + \dot{Q}_{k,BFPT}$	$\dot{I}_{BFPT} = \dot{E}_{x_{26}} - \dot{E}_{x_{27}} - \dot{E}_{x_{BFPT}}$
KBSI 1	$\dot{E}_2 + \dot{E}_{23} + \dot{E}_{29} = \dot{E}_3 + \dot{E}_{41} + \dot{Q}_{k,KBSI1}$	$\dot{I}_{KBSI1} = \dot{E}_{x_2} + \dot{E}_{x_{23}} + \dot{E}_{x_{29}} - \dot{E}_{x_3} - \dot{E}_{x_{41}}$
KBSI 2	$\dot{E}_3 + \dot{E}_{22} + \dot{E}_{31} = \dot{E}_4 + \dot{E}_{28} + \dot{Q}_{k,KBSI2}$	$\dot{I}_{KBSI2} = \dot{E}_{x_3} + \dot{E}_{x_{22}} + \dot{E}_{x_{31}} - \dot{E}_{x_4} - \dot{E}_{x_{28}}$
KBSI 3	$\dot{E}_4 + \dot{E}_{21} + \dot{E}_{33} = \dot{E}_5 + \dot{E}_{30} + \dot{Q}_{k,KBSI3}$	$\dot{I}_{KBSI3} = \dot{E}_{x_4} + \dot{E}_{x_{21}} + \dot{E}_{x_{33}} - \dot{E}_{x_5} - \dot{E}_{x_{30}}$
KBSI 4	$\dot{E}_5 + \dot{E}_{20} = \dot{E}_6 + \dot{E}_{32} + \dot{Q}_{k,KBSI4}$	$\dot{I}_{KBSI4} = \dot{E}_{x_5} + \dot{E}_{x_{20}} - \dot{E}_{x_6} - \dot{E}_{x_{32}}$
Degazör	$\dot{E}_6 + \dot{E}_{35} + \dot{E}_{40} = \dot{E}_7 + \dot{Q}_{k,degazör}$	$\dot{I}_{Degazör} = \dot{E}_{x_6} + \dot{E}_{x_{40}} + \dot{E}_{x_{35}} - \dot{E}_{x_7}$
KBSI 5	$\dot{E}_8 + \dot{E}_{17} + \dot{E}_{37} = \dot{E}_9 + \dot{E}_{34} + \dot{Q}_{k,KBSI5}$	$\dot{I}_{KBSI5} = \dot{E}_{x_8} + \dot{E}_{x_{17}} + \dot{E}_{x_{37}} - \dot{E}_{x_9} - \dot{E}_{x_{34}}$
KBSI 6	$\dot{E}_9 + \dot{E}_{25} + \dot{E}_{38} = \dot{E}_{10} + \dot{E}_{36} + \dot{Q}_{k,KBSI6}$	$\dot{I}_{KBSI6} = \dot{E}_{x_9} + \dot{E}_{x_{25}} + \dot{E}_{x_{38}} - \dot{E}_{x_{10}} - \dot{E}_{x_{36}}$
KBSI 7	$\dot{E}_{10} + \dot{E}_{13} = \dot{E}_{11} + \dot{E}_{39} + \dot{Q}_{k,KBSI7}$	$\dot{I}_{KBSI7} = \dot{E}_{x_{10}} + \dot{E}_{x_{13}} - \dot{E}_{x_{11}} - \dot{E}_{x_{39}}$

$$\dot{E}_{yakıt} = \dot{m}_{yakıt}(AID)_{yakıt} \quad (7)$$

Burada $\dot{m}_{yakıt}$ kazanda yanan kömürün kütle debisini, $(AID)_{yakıt}$ ise kömürün alt ısıl değerini gösterir. Santralde kullanılan yakıtın alt ısıl değeri 25791 kJ/kg'dır.

Kazanda kömürün yanmasıyla açığa çıkan toplam yakıt ekserjisi $\dot{E}_{x_{yakıt}}$ denklem 8 ile hesaplanır [13]:

$$\dot{E}_{x_{yakıt}} = \dot{m}_{yakıt}(ex)_{yakıt} \quad (8)$$

Burada $(ex)_{yakıt}$ yakıtın birim kütle başına ekserjisidir. Kotas katı fosil yakıtların ekserjisini hesaplayabilmek için 9 numaralı denklemdaki korelasyonu önermiştir [24].

$$ex_{yakıt} = [AID_{yakıt} + 2442w]\varphi_{kuru} + 9417s \quad (9)$$

$$\varphi_{kuru} = 1.0437 + 0.1882\frac{h}{c} + 0.0610\frac{o}{c} + 0.0404\frac{n}{c} \quad (10)$$

Burada h, o, c, n, s ve w ifadeleri sırasıyla yakıt içindeki hidrojen (H), oksijen (O), karbon (C), azot (N), kükürt (S) ve nemin kütle oranlarıdır. Santralde kullanılan yakıtın yapılan elementel analizi sonucunda içeriğinde % 66.01 C, % 3.66 O, %4.16 O, % 1.5 N, % 0.9 S, % 10 nem ve %13.72 kül belirlenmiştir.

Baca gazlarıyla çevreye olan ısı transferi \dot{E}_{bg} denklem 11 ile hesaplanır [24]:

$$\dot{E}_{bg} = \sum_{i=1}^n \dot{n}_k [\bar{h}_k(T_{bg}) - \bar{h}_k(T_0)] \quad (11)$$

Burada \dot{n}_k baca gazı içindeki k bileşenin molar debisini, $\bar{h}_k(T_{bg})$ ve $\bar{h}_k(T_0)$ sırasıyla k bileşenin baca gazı ve çevre sıcaklığındaki birim mol başına entalpisini ifade eder. Baca gazlarının kimyasal potansiyeli referans çevrenin kimyasal potansiyelinden farklı olduğundan baca gazlarının ekserjisini hesaplayabilmek için termomekanik ekserjinin yanında kimyasal ekserjiyi de dikkate almak gerekir. Bu durumda baca gazlarının toplam ekserjisi denklem 12 ile hesaplanır [24]:

$$\begin{aligned} \bar{e}x_{bg} = & \sum_{i=1}^n y_k \bar{c}_{p,0k} (T_{bg} - T_0) - T_0 \sum_{i=1}^n y_k \bar{c}_{p,0k} \ln \left(\frac{T_{bg}}{T_0} \right) - T_0 \bar{R} \ln \left(\frac{P_{bg}}{P_0} \right) + \sum_{i=1}^n y_k \bar{e}x_k^{st} \\ & + T_0 \bar{R} \sum_{i=1}^n y_k \ln y_k \end{aligned} \quad (12)$$

Burada $\bar{e}x_{bg}$ baca gazlarının birim mol başına toplam ekserjisini, y_k ideal gaz karışımı içindeki k bileşenin mol oranını, $\bar{c}_{p,0k}$ ortalama özgül ısısını, $\bar{e}x_k^{st}$ k bileşenin standart kimyasal ekserjisini, \bar{R} ise evrensel gaz sabitini temsil eder. Denklem 11 ve denklem 12'de bulunan değişkenlerin değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Baca gazı bileşenlerinin mol oranları ve ilgili termodinamik özellikleri.

Madde	y_k (%)	$\bar{e}x_k^{st}$ (kJ/kmol)	$\bar{c}_{p,0k}$ (kJ/kmolK)	$\bar{h}_k(T_{bg} = 127^\circ\text{C})$ (kJ/kmol)	$\bar{h}_k(T_0 = 25^\circ\text{C})$ (kJ/kmol)
O ₂	6.56	3970	28.41	11711	8682
CO ₂	12.91	20140	39.88	13372	9364
H ₂ O	6.67	11710	33.50	13356	9904
N ₂	80.48	720	29.39	11640	8669

Toplam baca gazı ekserjisi ise denklem 13 ile hesaplanır [24]:

$$\dot{E}_{x_{bg}} = \dot{n}_{bg} \bar{e}x_{bg} \quad (13)$$

Burada \dot{n}_{bg} baca gazının molar debisidir.

Termik santralin genel verimi olarak da bilinen birinci yasa verimi η_I denklem 14 ile hesaplanır [25]:

$$\eta_I = \frac{\dot{W}_{net}}{\dot{E}_{yakıt}} \quad (14)$$

Burada \dot{W}_{net} santralde üretilen net elektrik miktarını temsil eder. Termik santralin ikinci yasa verimi η_{II} ise denklem 15 ile hesaplanır [25]:

$$\eta_{II} = \frac{\dot{W}_{net}}{\dot{E}_{x_{yakıt}}} \quad (15)$$

IV. BULGULAR VE TARTIŞMA

Süper kritik santrale ait veriler %80 yükteki çalışma koşulunda temin edilmiştir. Her bir akım noktasına ait kütle debisi, basınç, sıcaklık, entalpi ve entropi gibi termodinamik özellikler Tablo 3'te verilmiştir.

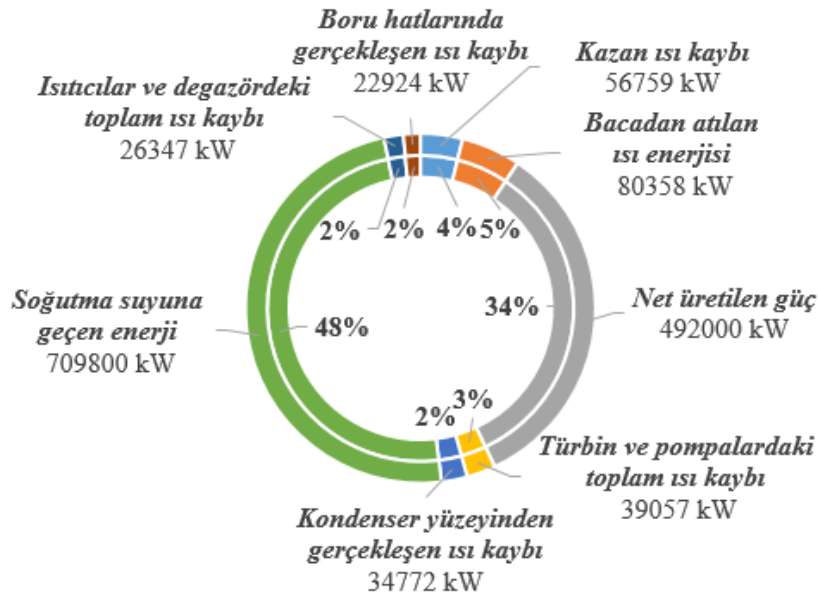
Tablo 3. Akım noktalarına ait kütle debileri ve termodinamik özellikler.

Akım no	\dot{m} (kg/s)	P (kPa)	T (°C)	h (kJ/kg)	s (kJ/kgK)	ex (kJ/kg)
0	-	101.325	25	104.83	0.3672	-
1	376	5	33	138	0.478	0.15
2	376	2700	34	142	0.491	1.28
3	376	2500	55	230	0.768	5.7
4	376	1500	75	314	1.016	15.8
5	376	1200	96	402	1.262	30.5
6	376	980	140	589	1.750	72
7	508	980	178	756	2.129	129
8	508	29960	185	786	2.188	139
9	508	29500	210	898	2.425	180
10	508	29000	252	1096	2.810	263
11	508	28870	281	1242	3.077	330
12	508	24200	566	3397	6.344	1512
13	43	6366	355	3057	6.356	1168
14	465	4170	315	2995	6.404	1091
15	420	4087	305	2972	6.372	1076
16	420	3962	566	3520	7.181	1385
17	20	1920	458	3284	7.306	1111
18	42	1017	364	3188	7.349	1003
19	358	997	365	3190	7.352	1005
20	28	399	257	2979	7.407	775
21	14	106	125	2726	7.488	499
22	13	47	79	2643	7.620	377
23	15	19	59	2607	8.050	213
24	288	5	33	2560	8.402	60.8
25	45	4270	308	2966	6.322	1087
26	18	966	355	3172	7.319	996
27	18	6	38	2568	8.320	93
28	55	46	62	260	0.857	9.2
29	55	19	62	260	0.857	9.2
30	42	104	83	348	1.111	21.5
31	42	46	83	348	1.111	21.5
32	28	393	104	436	1.352	37.7
33	28	104	104	436	1.352	37.7
34	108	1786	190	807	2.236	145
35	108	902	190	807	2.236	145
36	88	3964	216	925	2.480	191
37	88	1786	216	925	2.480	191
38	43	3964	260	1134	2.885	279
39	43	4170	260	1134	2.885	279
40	24	966	355	3169	7.319	993
41	79	19	39	164	0.560	1.72
42	16900	-	20	84	0.296	0.39
43	16900	-	30	126	0.437	0.37

Termodinamiğin 1. yasası olan enerjinin korunumu yasasının santral elemanlarına uygulanmasıyla elde edilen sonuçlar Tablo 4'te detaylı bir şekilde verilmiştir. Süper kritik kazanda kömürün yakılmasıyla 1462017 kW ısı enerjisi açığa çıkmıştır. Açığa çıkan ısı enerjisinin 492000 kW'lık kısmı jeneratörde elektrik enerjisi olarak üretilmiştir. Kondenserde türbinden çıkan yaş buharı yoğunlaştırmak amacı ile soğutma suyuna verilen ısı enerjisinin de oldukça büyük ve 709800 kW ısıl güçte olduğu belirlenmiştir. Enerjinin korunumu ekseninde düşünüldüğünde bu değer çok büyük olmasının nedeni; türbinden çıkan yaş su buharının toplam entalpisinin, pompaya girmeden önceki sıvı durumdaki toplam entalpisine göre çok büyük olmasındandır. Aynı durum, kondensere giren-çıkan soğutma suyu kütledebisinin çok yüksek olması ve dolayısıyla sıcaklık farkının nispeten düşük olmasıyla da açıklanabilir. Fakat burada soğutma suyu giriş-çıkış sıcaklıklarının düşük olduğunu ve soğutma suyuna aktarılan ısı enerjisinin nicelik bakımından çok büyük bir değer aldığını vurgulamak gerekir. Kazandaki ısı kayıplarından kaynaklanan enerji kaybı 56759 kW ve baca gazları ile çevreye atılan ısı enerjisi ise 80358 kW olarak hesaplanmıştır. Türbin ve pompa gibi iş üreten ve tüketen elemanların dış yüzeylerinden gerçekleşen ısı kaybı 39057 kW, ön ısıtıcılar ve degazörün dış yüzeylerinden kaybolan ısı enerjisinin 26347 kW, kondanser dış yüzeyinden çevreye gerçekleşen ısı kaybının 34772 kW ve boru hatlarının dış yüzeyinden gerçekleşen ısı kaybının ise 22924 kW olduğu hesaplanmıştır.

Tablo 4. Santrale ait enerji analiz sonuçları.

	Giren (kW)	Çıkan (kW)	Giren (%)	Çıkan (%)
Santrale giren yakıt enerjisi	1462017		100.00	
Kazan ısı kaybı		56759		3.9
Bacadan atılan ısı enerjisi		80358		5.5
Net üretilen güç		492000		33.65
Türbin ve pompalardaki toplam ısı kaybı		39057		2.65
Kondenser yüzeyinden gerçekleşen ısı kaybı		34772		2.4
Soğutma suyuna geçen enerji		709800		48.5
Isıtıcılar ve degazördeki toplam ısı kaybı		26347		1.8
Boru hatlarında gerçekleşen ısı kaybı		22924		1.6
Toplam	1462017	1462017	100.00	100



Şekil 2. Santral elemanlarındaki enerji dağılımının grafiksel gösterimi.

Enerji analiziyle elde edilen sayısal sonuçların yanında, kazanda açığa çıkan yakıt enerjisinin ne kadarlık kısmıyla elektrik üretildiğini ve diğer kalan kısımların hangi ekipmanlarda harcandığını yüzdelik olarak ifade etmek analizi daha anlamlı hale getirir. Bu nedenle, santrale giren yakıt enerjisinin (%100) enerji dağılımı oransal olarak Şekil 2’de detaylı bir biçimde gösterilmiştir. Buna göre; santrale giren yakıt enerjisinin %48.5’lik kısmı soğutma suyuna transfer edilmektedir. Bu oran çok yüksek olsa da, santralin termodinamik çevrimini gerçekleştirebilmek ve net iş üretebilmek için harcanması gereken bir enerjidir. Kazanda açığa çıkan ısı enerjisinin %33.65 oranlık kısmıyla net elektrik üretilmiştir. Buna göre santralin genel enerji verimi %33.65’tir Açığa çıkan enerjinin %5.5’i bacadan atmosfere atılırken, %3.9’u kazan çevre yüzeyinden ısı kaybı olarak gerçekleşmiştir. Ayrıca %2.65’i pompa ve türbin gibi iş üreten/tüketen makinelerin dış yüzeylerinden, %2.4’ü kondanserin dış yüzeyinden, %1.8’i ön ısıtıcılar ve degazörün dış yüzeyinden, %1.6’sı boru hatlarının dış yüzeyinden ısı kaybı olarak gerçekleşmiştir.

Termodinamiğin 1. ve 2. yasalarını kombine bir biçimde içeren ekserji analiz sonuçları Tablo 5’te verilmiştir. Tablodan da anlaşılacağı üzere, kömürün süper kritik kazanda yanmasıyla ortaya çıkan yakıt ekserjisi 1565829 kW hesaplanmıştır. Santralde üretilen elektrik, iş türü bir enerji olduğundan ve ekserji bir sistemden elde edilebilecek maksimum iş potansiyeli olarak tanımlandığından santralde enerji analizi yöntemiyle hesaplanan net elektrik değeri, santralde üretilen net ekserji değerine eşit ve 492000 kW olmuştur.

Tablo 5. Santrale ait ekserji analiz sonuçları.

	Giren (kW)	Çıkan (kW)	Giren (%)	Çıkan (%)
Santrale giren yakıt ekserjisi	1565829		100	
Kazanda gerçekleşen tersinmezlik		770784		49.23
Baca gazı ekserjisi		65317		4.17
Net üretilen güç		492000		31.42
Türbin ve pompalardaki toplam tersinmezlik		181680		11.60
Kondenserdeki tersinmezlik		19094		1.22
Soğutma suyuna geçen ekserji		338		0.02
Isıtıcılar ve degazördeki toplam tersinmezlik		19758		1.26
Boru hatlarındaki tersinmezlik		16858		1.08
Toplam	1565829	1565829	100	100

Kazanda gerçekleşen tersinmezliklerin değeri (yok olan ekserji) 770784 kW olarak hesaplanmıştır. Kazanda gerçekleşen tersinmezliklerin başlıca nedenleri yanma reaksiyonu sırasında gerçekleşen tersinmezlikler, yanma sonu ürünleri ile kazanda dolaşan su arasında sonlu sıcaklık farkında gerçekleşen ısı transferi, suyun kazan boruları içinde dolaşırken basıncındaki düşüşe dayalı tersinmezlikler ve kazan dış yüzeyinden gerçekleşen ısı transferine bağlı tersinmezlikler olarak sıralanabilir. Kazanda gerçekleşen tersinmezlikler belirli bir ölçüde kazanda yapılabilecek iyileştirmeler ile azaltılabilir. Kazan yüzeyinden gerçekleşen ısı kaybını azaltarak kazanın hem enerji verimi hem de ekserji verimi artırılabilir. Ayrıca yanma reaksiyonunu daha verimli gerçekleştirerek ekserji verimi belirli bir ölçüde arttırılabilir. Ancak bu durum için çaba harcansa da yanma işlemlerinde her zaman yüksek oranlarda tersinmezlikler ortaya çıkar.

Kazandan atılan baca gazlarının ekserjisi 65317 kW olarak hesaplanmıştır. Bu ekserji değerini, yanma sonu ürünlerini farklı bir proseste kullanarak azaltmak mümkündür. Böyle bir prosesin santrale entegre edilmesiyle baca gazı çıkış sıcaklığını azaltmak mümkün görünmektedir. Ancak bu sıcaklık, baca gazları içinde bulunan SO_2 bileşeninin hava içinde bulunan nem ile birlikte yoğunlaşarak santral elemanlarına ve çevreye muhtemel zararlı etkilerini önleyecek bir sıcaklık olarak seçilmelidir.

Türbin ve pompalardaki toplam tersinmezlik 181680 kW olarak hesaplanmıştır. Bu elemanlardaki tersinmezliklerin nedeni sıkıştırma/genişleme hal değişimleri sırasındaki entropi üretiminden kaynaklanır. Bu entropi üretiminin nedeni, bu elemanlardaki hidrolik, ısı ve mekanik kayıplardır. Bu

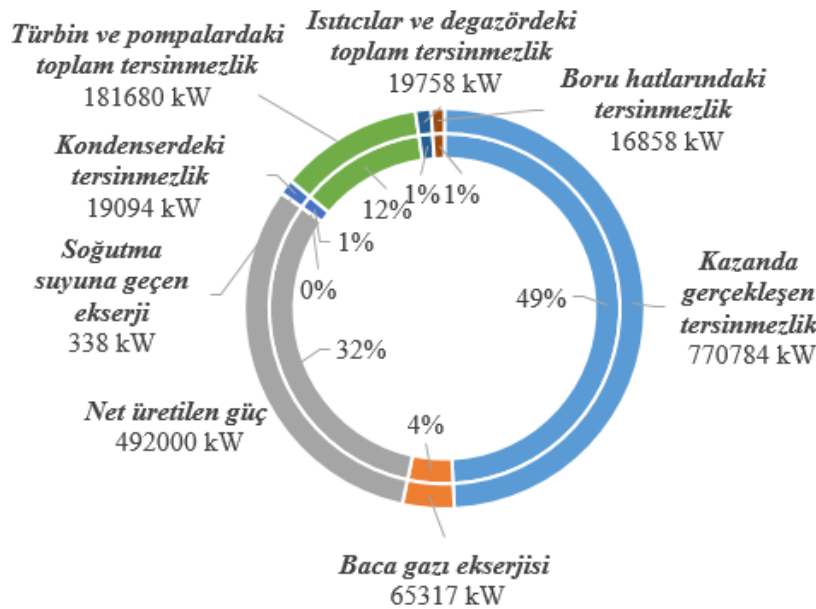
elemanlardaki tersinmezliği, elemanların izentropik, mekanik ve ısıl verimini artırarak azaltmak mümkündür.

Kondenserde gerçekleşen tersinmezlik 19094 kW olarak hesaplanmıştır. Kondenserde gerçekleşen tersinmezliğin nedeni ise türbinden çıkan ıslak su buharının yoğunlaşması için soğutma suyuna gerçekleşen ısı transferi ile kondanser dış yüzeyinden gerçekleşen ısı kaybıdır. Bu durum, türbin çıkışındaki yaş buharın sıcaklığı ile soğutma suyu sıcaklığını birbirine yaklaştırarak azaltılabilir. Ancak bunun için ısı transferi yüzey alanı çok daha büyük bir kondensere ihtiyaç vardır. Bu ise ekstra bir maliyettir. Ayrıca ısı değiştiricilerindeki maksimum etkinliği sağlayabilmek için sıcak akışkanın ısı değiştiriciden çıkış sıcaklığının soğuk akışkanın ısı değiştiriciden çıkış sıcaklığından genelde minimum 10 °C yüksek olması istenir (pinch point method).

Soğutma suyuna aktarılan ekserji 338 kW olarak hesaplanmıştır. Bunun nedeni, soğutma suyu sıcaklığının referans sıcaklığa çok yakın olmasıyla açıklanabilir. Dikkat edildiğinde, enerji analizinde soğutma suyuna aktarılan ısı enerjisinin, kazanda açığa çıkan yakıt enerjisinin yarısı olmasına rağmen ekserji analizinde soğutma suyuna aktarılan ekserjinin çok küçük bir değer olduğu görülebilir. Bu durum termal sistem tasarımlarında ekserji analizinin, sistem elemanlarındaki termodinamik verimsizliklerin yerini belirlemede ne kadar önemli bir metot olduğunu gösterir.

Isıtıcılar ve degazördeki toplam tersinmezlik 19758 kW olarak hesaplanmıştır. Bu elemanlardaki tersinmezliklerin nedeni, elemanlar içindeki akışkanların birbirleri arasındaki ısı transferi ve elemanların dış yüzeylerinden gerçekleşen ısı kayıplarıdır.

Boru hatlarında gerçekleşen tersinmezlik ise 16858 kW olarak hesaplanmıştır. Boru hattındaki tersinmezlikler, boru hatlarındaki basınç kayıpları ile boru dış yüzeyinden gerçekleşen ısı kayıplarından kaynaklanır. Bu tersinmezlik değerini boru hattındaki ısı kayıplarını azaltarak aşağıya çekmek mümkündür.



Şekil 3. Santralde elemanlarındaki ekserji dağılımının grafiksel gösterimi.

Yakıttan elde edilen ekserjinin oransal olarak hangi elemanlarda tüketildiği, nerelerde kaybolduğu ve ne kadarı ile net ekserji üretildiği Şekil 3'te grafiksel biçimde verilmiştir. Yakıt ekserjisinin %100 olduğu kabul edilerek, bu yakıt ekserjisinden %31.42 oranında net elektrik üretildiği hesaplanmıştır. Buna göre santralin ikinci yasa verimi olarak da bilinen ekserji verimi %31.42 olarak hesaplanmıştır.

Santralde oransal olarak en fazla tersinmezlik %49.23 oranında kazanda gerçekleşmiştir. Enerji analizinde yakıt enerjisinin %48.5'lik kısmının kondenserde soğutma suyuna aktarıldığı vurgulanırken, ekserji analizinden yakıt ekserjisinin neredeyse yarısının kazanda yok edildiği görülmektedir. Bu sonuç, yukarıda da ifade edildiği gibi ekserji analiz metodunun gerçek termodinamik verimsizliklerin yerini belirlemede çok güçlü bir analiz metodu olduğunu gösterir. Kazandan sonra en fazla tersinmezlik %11.6 oranında türbin ve pompalarda gerçekleşmiştir. Baca gazlarıyla atılan ekserji oranı ise %4.17'dir. Kondenserdeki, ısıtıcı ile degazördeki ve boru hatlarındaki toplam tersinmezlik oranları sırasıyla %1.22 ve %1.26 ve %1.08 olarak hesaplanmıştır. Soğutma suyuna atılan ekserji ise oransal olarak en küçük ve değeri %0.02'dir.

V. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada kömür yakıtlı süper kritik bir santralin termodinamik performansını incelemek amacıyla, santraldeki her bir elemana enerji ve ekserji dengeleri uygulanmış, bu elemanlardaki enerji kayıpları ve tersinmezliklerin değeri hesaplanmıştır. Yapılan araştırmadan öne çıkan sonuçlar şu şekildedir.

- Kömür yakıtlı süper kritik termik santralin enerji verimi %33.65, ekserji verimi ise %31.42 olarak hesaplanmıştır.
- Kömürün yanmasıyla açığa çıkan yakıt enerjisinin %48.5'lik kısmının oransal olarak en fazla kondenserde soğutma suyuna transfer edildiği hesaplanmıştır.
- Kömürün yanmasıyla açığa çıkan yakıt ekserjisinin %49.23'lük kısmının oransal olarak en fazla kazanda yok edildiği hesaplanmıştır.
- Yakıt enerjisinin %5.5'lik kısmının, yakıt ekserjisinin %4.17'lik kısmının baca gazlarıyla atmosfere atıldığı belirlenmiştir.

Yukarıda sonuçlardan çıkarılabilecek en önemli sonuç, termik santrallerin sadece elektrik üretimi baz alınarak tasarlanmaması gerektiğidir. Termik santraller ısı ve işin aynı anda üretildiği kojenerasyon bir tesise dönüştürülerek üretilen ısı, bölgesel ısıtma ve konutların sıcak su ihtiyacını karşılamak amacıyla kullanıldığında santrallerin enerji verimleri artırılabilir. Bu tür dönüşümler gerçekleştirilirse, çevreye atılacak gazların etkilerinde nispeten iyileşme ve kullanılan yakıt miktarlarında azalma olacak, bunun sonucu olarak da çevre kirliliği ve enerji kaynaklarındaki yurt dışı bağımlılığı azalacaktır. Ayrıca, mevcut santrallerde yoğunlaşmalı kondenser (ısı pompası) kullanılmasıyla yüksek sıcaklıktaki soğutucu akışkan sıcaklığından yararlanılması daha etkin olacaktır. Benzer biçimde, baca gazlarından da ek enerji kaynağı olarak yararlanılabilir. Sistem performansını artırmak için yapılan iyileştirmelerde maliyet de çok önemlidir. Bu yüzden iyileştirmelerde termoekonomik analizlerin de yapılması oldukça önemlidir.

TEŞEKKÜR: Yazarlar, bu çalışma kapsamında sağladıkları her türlü bilgi ve destekten ötürü Eren Enerji yönetici ve çalışanlarına teşekkürlerini sunar.

VII. KAYNAKLAR

[1] 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.

[2] IEA. (2021, June 27). *International Energy Agency* [Online]. Available: <https://www.iea.org>.

[3] J. Paska and T. Surma, “Electricity generation from renewable energy sources in Poland,” *Renewable Energy*, vol. 71, pp. 286–294, 2014.

[4] BP Statistics. (2021, June 27). *BP Statistical Review of World Energy 68th edition*. [Online].

Available:<https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>.

- [5] A. J. Omosanya, E. T. Akinlabi, and J. O. Okeniyi, "Overview for Improving Steam Turbine Power Generation Efficiency," *Journal of Physics: Conference. Series*, vol. 1378, no. 3, pp:1-8, 2019.
- [6] J. S. Gaffney and N. A. Marley, "The impacts of combustion emissions on air quality and climate - From coal to biofuels and beyond," *Atmospheric Environment*, vol. 43, no. 1, pp. 23–36, 2009.
- [7] TEİAŞ. (2021, Mayıs 20). *Yük tevzi dairesi başkanlığı - Kurulu güç raporu-Mayıs 2021* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.teias.gov.tr/tr-TR/kurulu-guc-raporlari>.
- [8] C. Xu, G. Xu, S. Zhao, W. Dong, L. Zhou, and Y. Yang, "A theoretical investigation of energy efficiency improvement by coal pre-drying in coal fired power plants," *Energy Conversion and Management*, vol. 122, pp. 580–588, 2016.
- [9] Z. Ma, Z. Li, J. Jiang, J. Deng, Y. Zhao, S. Wang, and L. Duan, "PM2.5 emission reduction by technical improvement in a typical coal-fired power plant in China," *Aerosol and Air Quality Research*, vol. 17, no. 2, pp. 636–643, 2017.
- [10] M. Başaran, "Kömürlü termik santrallarda verimlilik çalışmaları ve kazanımlar," *Mühendis ve Makine*, c. 52, s. 617, ss. 116-124, 2011.
- [11] M. Kopac and A. Hilalci, "Effect of ambient temperature on the efficiency of the regenerative and reheat Çatalağzı power plant in Turkey," *Applied Thermal Engineering*, vol. 27, no. 8–9, pp. 1377–1385, 2007.
- [12] H.İ. Topal, M. Kopaç, and M. Eyriboyun, "The feasibility energy analysis of Çatalağzı Thermal Electricity power plant for district heating application," *Journal of Thermal Science and Technology*, vol. 37, no. 1, pp. 139–146, 2017.
- [13] A. Bejan, G. Tsatsaronis, and M. Moran, *Thermal design and optimization*, 1st ed., New York, United States, 1996, John Wiley & Sons, ch. 3, pp. 113-162.
- [14] P. Regulagadda, I. Dincer, and G. F. Naterer, "Exergy analysis of a thermal power plant with measured boiler and turbine losses," *Applied Thermal Engineering*, vol. 30, no. 8–9, pp. 970–976, 2010.
- [15] H. H. Erdem, A. V. Akkaya, B. Cetin, A. Dagdas, S. H. Sevilgen, B. Sahin, I. Teke, C. Gungor, and S. Atas, "Comparative energetic and exergetic performance analyses for coal-fired thermal power plants in Turkey," *International Journal of Thermal Science*, vol. 48, no. 11, pp. 2179–2186, 2009.
- [16] T. Ganapathy, N. Alagumurthi, R. P. Gakkhar, and K. Murugesan, "Exergy analysis of operating lignite fired thermal power plant," *Journal of Engineering Science and Technology Review*, vol. 2, no. 1, pp. 123–130, 2009.
- [17] A. Ehsana and M. Z. Yilmazoglu, "Design and exergy analysis of a thermal power plant using different types of Turkish lignite," *International Journal of Thermodynamics*, vol. 14, no. 3, pp. 125–133, 2011.
- [18] S. Mehdi and V. Amir, "The Effect of Ambient Temperature to Power Plant Efficiency," *2nd International Conference on Mechanical, Production and Automobile Engineering*, Singapore, 2012, pp. 248–252.
- [19] D. Sharma and T. A. Khan, "Exergy Analysis of Boiler in Thermal Power Plant," *Global Sci-Tech*, vol. 8, no. 3, pp. 1428-1440, 2016.



- [20] F. Ünal ve D. B. Özkan, “Tunçbilek Termik Santralinin Enerji ve Ekserji Analizi,” *Tesisat Mühendisliği*, s. 143, ss. 5–13, 2014.
- [21] I. H. Aljundi, “Energy and exergy analysis of a steam power plant in Jordan,” *Applied Thermal Engineering*, vol. 29, no. 2–3, pp. 324–328, 2009.
- [22] N. K. Rude, H. S. Aamir, and M. D. A. Ahmad, “Case Study of Supercritical Boiler Technology,” *International Research Journal of Engineering Technology*, vol. 5, no. 6, pp. 2614–2617, 2018.
- [23] A. Ustaoglu, “Jeotermal enerji kaynaklı ara ısıtmalı organik Rankine çevriminin konvansiyonel ve ileri ekserji analizi,” *Düzce Üniversitesi Bilim ve Mühendislik Dergisi*, c. 8, s. 1, ss. 783–800, 2020.
- [24] T. J. Kotas, *The exergy method of thermal plant analysis*, 1st ed., London, Great Britain, Butterworths: Anchor Brendow Ltd., 1985, London, ch. Appendix C, pp. 267-269.
- [25] C. Yılmaz, “Exergoeconomic analysis of an industrial cogeneration cooling system powered by natural gas fueled diesel engine,” *Düzce University Journal of Science & Technology*, vol. 8, no. 1, pp. 437–452, 2020.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Yüksek Fırın Cürufu İkameli Çimentoların Yapısal ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması

 Yusuf İslam ŞAHİN^a,  Yılmaz KOÇAK^{b,*}

^a İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

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

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

DOI: 10.29130/dubited.986896

ÖZ

Gerek doğal gerekse yapay puzolanik malzemeler çimento ve beton teknolojisinde yoğun olarak kullanılmaktadır. Özellikle yapay puzolanların kullanımının atık değerlendirilmesi, çevre kirliliğinin azaltılması, enerji kaynaklarının korunması, dayanım ve dayanıklılığa katkısı nedeniyle giderek yaygınlaştığı görülmektedir. Bu amaçla yapılan çalışmanın ilk aşamasında Portland çimento ve yüksek fırın cürufunun fiziksel, kimyasal, mineralojik, termal özellikleri ve bağ yapıları gibi yapısal özellikleri belirlenmiştir. İkinci aşamada yüksek fırın cürufu ağırlıkça %0, %5, %10, %15 ve %20 oranlarında Portland çimento yerine ikame edilerek 5 tipte çimento elde edilmiştir. Üçüncü aşamada ise bu çimentolarla üretilen çimento hamur ve harç örnekleri üzerinde su ihtiyacı, genleşmesi, priz süresi ve basınç dayanımı değerleri belirlenmiştir. Sonuç olarak yapılan deneyler neticesinde elde edilen veriler, Portland çimento ve yüksek fırın cürufunun fiziksel, kimyasal, mineralojik özellikleri ile bağ yapılarına göre su ihtiyacında, priz sürelerinde ve basınç dayanımlarında farklılıklar olduğunu göstermiştir. Nihayetinde endüstriyel bir atık olan yüksek fırın cürufunun çimento ve beton teknolojisinde kullanılmasıyla ekonomik ve ekolojik yarar sağlanabileceği düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Yüksek fırın cürufu, Portland çimento, Termal analiz, XRD, FT-IR, Basınç dayanımı

Investigation of Structural and Mechanical Properties of Blast Furnace Slag Substituted Cements

ABSTRACT

Both natural and artificial pozzolanic materials extensively in cement and concrete technology are used. It is seen that especially the use of artificial pozzolans are becoming widespread due to their contribution to waste valuation, reduction of environmental pollution, protection of energy resources, strength and durability. For this purpose, in the first stage of the study, the structural properties of Portland cement and blast furnace slag such as physical, chemical, mineralogical, thermal properties and bond structures were determined. In the second stage, 5 types of cement were obtained by replacing Portland cement at 0%, 5%, 10%, 15% and 20% by weight of blast furnace slag. In the third stage, water requirement, volume expansion, setting time and compressive strength values were determined on cement paste and mortar samples produced with these cements. As a result, the data obtained as a

result of the experiments showed that there are differences in water demand, setting times and compressive strengths according to the physical, chemical, mineralogical properties and bond structures of Portland cement and blast furnace slag. It is thought that economic and ecological benefits can be achieved by using blast furnace slag, which is an industrial waste, in cement and concrete technology.

Keywords: Portland cement, Blast furnace slag, Thermal analysis, XRD, FT-IR, Compressive strength

I. GİRİŞ

Çimento ve beton teknolojisinin hızlı gelişimi ile tras, zeolit, diatomit, pirinç kabuğu külü, yüksek fırın cürufu, uçucu kül, silis dumanı, metakaolin gibi doğal ve yapay puzolanlar her geçen yıl giderek daha yaygın olarak kullanılmaktadır [1]–[9]. Bu puzolanik malzemelerin yaygın olarak kullanılmasının en temel nedenleri, beton ve çimentonun teknik, ekonomik ve ekolojik avantajlar sağlaması, korozyon direncini artırması, hidrasyon ısını düşürmesi, sülfat saldırılarına karşı direnci artırması, enerji maliyetlerini düşürmesi, küresel ısınmayı azaltması ve dayanıklılığı artırması vb. sıralanabilir [10]–[21].

Bu mineral katkıları içerisinde atık olarak ortaya çıkan yüksek fırın cürufu (YFC), çimento ve beton teknolojisine önemli katkılar sağlamakta ve bu nedenle de yoğun olarak kullanılmaktadır. YFC; metalurji tesislerindeki fırınlarda demir filizi gangı, kok, kireç gibi maddelerin 1450-1550 °C arasında demirin üretilmesi esnasında ergimiş durumda atık madde olarak elde edilen ve ana ürün tipine ve üretim yöntemine göre farklı özellikte meydana gelebilen yapay puzolan sınıfında bir üründür [22]–[24]. YFC'nin esas olarak kimyasal bileşiminin CaO, SiO₂ ve Al₂O₃'ten oluştuğu söylenebilir. Ancak YFC'nin en az kimyasal bileşimi kadar mineralojik yapısı da önemli bir faktördür. Cürufular yüksek fırın çıkışında yavaş soğutulduğunda kristal yapıda oluşmakta ve bu tip cürufular beton agregası olarak kullanılabilir. Hızlı soğutulduğunda ise amorf yapıda bir katı eriyik elde edilmekte, yarı-kararlı amorf yapıdaki bu malzeme sodyum hidroksit veya kalsiyum hidroksit gibi aktivatör kullanılmak suretiyle veya ince öğütülerek Portland çimentosunun hidrasyonu ile ortaya çıkan portlandite (CH) reaksiyonu sonucunda ilave kalsiyum silikat hidratları (C-S-H) oluşturmaktadır. Hızlı soğutulan bu cürufuların en az 2/3 oranında camı faz içermesi, CaO, SiO₂ ve MgO miktarları toplamı yine minimum 2/3 oranında olması ve çeşitli hidrolik modüllerden biri olan (CaO+MgO)/SiO₂ oranının ise 1'den büyük olması tercih edilmektedir [24], [25].

YFC inşaat endüstrisinde genel olarak çimento ve beton içerisinde katkı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Literatürde beton içerisine katılan YFC'nin yapısal özelliklerine bağlı olarak, erken yaş dayanımlarda bir miktar azalmaya sebep olurken ileri yaş dayanımlarında artış sağladığı, betonda priz sürelerini uzattığı, işlenebilirliği artırdığı, hidrasyon ısını, terlemeyi, su geçirimsizliğini klorür geçirimsizliğini azalttığı, yüksek alkali silika direnci sağladığı, donatı korozyonu direncini artırdığı ve betonun durabilitesinde artış sağladığı bildirilmektedir [26]–[37]. Ayrıca YFC, enerjinin korunumu ve açığa çıkan CO₂ miktarının azaltılması bakımından da her geçen gün daha fazla dikkat çekmektedir [38].

Çimento ve beton katkı malzemesi olarak tercih edilmekte olan YFC'nin olumlu özellikleri nedeniyle yapılan bu çalışmanın ilk aşamasında Portland çimento ve yüksek fırın cürufunun fiziksel, kimyasal, mineralojik, termal özellikleri ve bağ yapıları gibi yapısal özellikleri belirlenmiştir. İkinci aşamada yüksek fırın cürufu, Portland çimento yerine ağırlıkça %0-5-10-15-20 oranlarında ikame edilerek biri referans diğerleri YFC ikameli çimentolar olmak üzere toplam 5 tipte çimento elde edilmiştir. Üçüncü aşamada ise bu çimentolarla üretilen çimento hamur ve harç örnekleri üzerinde su ihtiyaçları, genleşme değerleri, priz süreleri ve basınç dayanım değerleri belirlenmiş ve elde edilen veriler değerlendirilmiştir.

II. MALZEME VE YÖNTEM

A. MALZEME

Yapılan bu çalışma için CEM I 42,5 R tipi PÇ bağlayıcı olarak ve endüstriyel bir atık olan YFC ise mineral katkı olarak kullanılmıştır. PÇ Bolu Çimento Fabrikası tarafından üretilmiş, YFC ise yine Bolu Çimento Fabrikasından sağlanmıştır. Harç numune üretimlerinde TS EN 196-1'e [39] uygun standart kum ve içilebilir nitelikte olan Bolu ili Merkez ilçesi şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

B. YÖNTEM

Çimento hamur ve harç numunelerinin hazırlanması için %0 (referans), %5, %10, %15 ve %20 oranlarında YFC ikameli 5 farklı çimento kullanılmıştır. Kullanılan çimentolar ile ilgili kodlamalar ile çimento ve harç için karışım miktarları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. PÇ ve YFC harç numunelerinin miktarları ve kodları.

Kod	Çimento miktarı (g)	Çimento miktarı (%)	YFC miktarı (g)	YFC miktarı (%)	Su miktarı (g)	Standart kum miktarı (g)	Su/Çimento
R	450	100	0	0			
5YFC	427,5	95	22,5	5			
10YFC	405	90	45	10	225	1350	0,5
15YFC	382,5	85	67,5	15			
20YFC	360	80	90	20			

PÇ ve YFC'nin yapısal özelliklerinin belirlenmesi için; kimyasal analizler Thermo marka Arl 9900 model XRF cihaz, Blaine değerleri Astek marka Blaine cihaz, özgül ağırlıklar Quantachrome/MVP-3, mineralojik özellikler Rigaku Ultima-IV, kafes ve moleküler yapıları Shimadzu-IRPestige 21, termal özellikler Shimadzu/DTG 60H-DSC 60 marka cihazlarla tespit edilmiştir.

Çimento hamur ve harç karışımları, TS EN 196-1'de belirtilen esaslara göre yapılmıştır [39]. Çimento hamurlarının su ihtiyacı, genleşme ve priz süreleri sıcaklığın 20 °C, bağıl nemin ise %65 olduğu bir laboratuvar ortamında TS EN 196-3'e göre belirlenmiştir [40]. Çimento harçları ise 4x4x16 cm boyutlarında üç gözlü kalıplara dökülmüş, 24 saat laboratuvar ortamında bekletilmiş, 20 °C'lik sıcaklıktaki bir odadaki su havuzlarına yerleştirilmiş, 2, 7, 28. hidratasyon günlerinde harç numuneleri havuzlardan alınıp kurulanmış ve basınç dayanımları TS EN 196-1'e göre belirlenmiştir [39].

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Hammaddelere fiziksel, kimyasal, mineralojik, moleküler ve termal analizler uygulanmıştır. Çimento hamurlarına su ihtiyacı, genleşme ve priz süreleri için deneyler yapılmış, çimento harçlarının ise basınç dayanımları tespit edilmiştir. Analiz ve deneylerden belirlenen sonuçların yer aldığı çizelge ve şekiller, analiz ve deneylerin ilgili başlıklarda verilmiştir.

A. FİZİKSEL ANALİZLER

PÇ ve YFC'nin elek analizi, özgül ağırlıkları ve özgül yüzey alanları (Blaine) gibi fiziksel özellikleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. PÇ ve YFC'nin fiziksel özellikleri.

Malzemeler	Boyut aralığı (elek üstü)		Özgül ağırlık (g/cm ³)	Blaine (cm ² /g)
	(%)			
	>45 (µm)	>90 (µm)		
PÇ	3,6	0,3	3,17	3882
YFC	0	0,1	2,85	5295

Elek analizi sonuçlarına göre YFC'nin, PÇ'ye göre nispeten daha küçük tane yapısına sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca YFC'nin ASTM C 989 standardında belirtilen 45 µm elek bakiyesi olarak verilen maksimum %20 sınır değerini sağladığı belirlenmiştir [42]. PÇ'nin özgül ağırlığı 3,17 g/cm³, Blaine değeri ise 3882 cm²/g iken, YFC'nin 2,85 g/cm³, Blaine değeri ise 5295 cm²/g dir (Tablo 2). Bu verilere göre daha düşük özgül ağırlıklı ve daha yüksek Blaine değerine sahip YFC ikameli çimentolar elde edilebileceği ifade edilebilir.

B. KİMYASAL ANALİZLER

PÇ ve YFC'nin kimyasal yapısı Tablo 3'te verilmiştir.

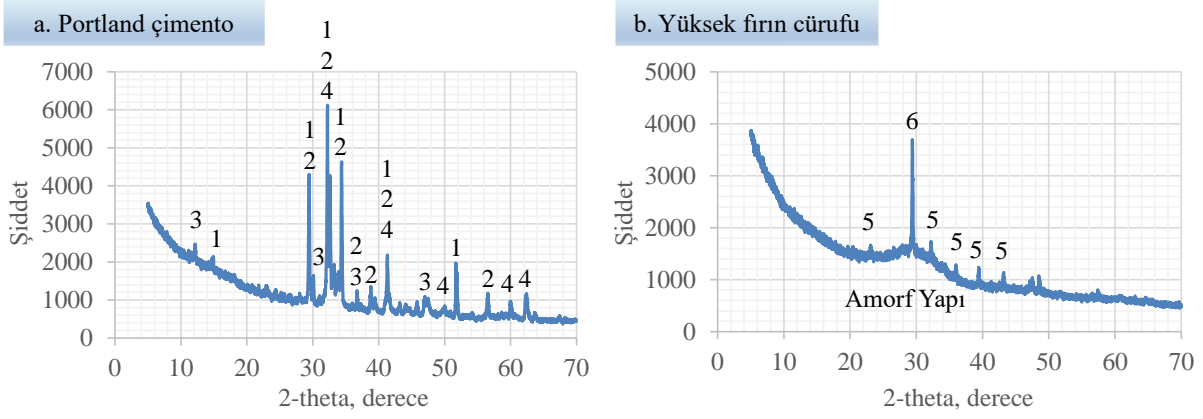
Tablo 3. PÇ ve YFC'nin kimyasal özellikleri.

Kimyasal sembolü	Kimyasal kompozisyon	PÇ	TS EN 197-1	YFC	BS 6699
S	SiO ₂	19,8	-	41,08	-
A	Al ₂ O ₃	5,38	-	10,08	-
F	Fe ₂ O ₃	3,35	-	0,97	-
C	CaO	63,39	-	34,64	-
M	MgO	1,35	< %5,0	6,16	< %13,0
S	SO ₃	2,79	< %3,5	0,83	< %2,5
N	Na ₂ O	0,18	-	0,52	-
K	KO	0,64	-	0,97	-
	Cl ⁻	2,79	< %0,1	0,83	< %0,1
	Kızdırma kaybı	2,67	< %5,0	1,16	< %3,0
	(C+ M)/ S	-	-	0,993	> 1
	Çözünmeyen Kalıntı	1,08	-	-	-
	Serbest CaO	0,86	-	-	-

Tablo 3'te görüldüğü üzere PÇ'nin kimyasal yapısı (MgO, SO₃, Cl⁻ ve kızdırma kaybı) TS EN 197-1'de belirtilen sınırlar içerisinde [41]. YFC SiO₂, CaO ve Al₂O₃ ana bileşenlerinden oluşmaktadır. Ağırlıkça SiO₂/Al₂O₃ (S/A) oranı 2,54'tür. YFC'nin hidrolik özelliklerinin belirlenmesindeki önemli parametrelerden birisi olan kimyasal kompozisyonundaki (C+M)/S oranının 0,993 oranı ile minimum 1 olan sınır değerine çok yakın olduğu, (C+M+A)/S oranının 1,239, yani 1'den büyük olması, YFC'nin tercih edilen hidrolik modül sınırları içerisinde olduğunu göstermektedir [42]. Ayrıca YFC'nin kimyasal yapısı (MgO, SO₃, Cl⁻ ve kızdırma kaybı değerleri) BS 6699 standardındaki sınır değerleri içinde olduğu ve dolayısı ile dayanım ve dayanıklılığa olumsuz bir etkisinin olmayacağı düşünülmektedir (Tablo 3) [42].

C. MİNEROLOJİK ANALİZLER

PÇ ve YFC'nin minerolojik yapısı Şekil 1'de verilmiştir.



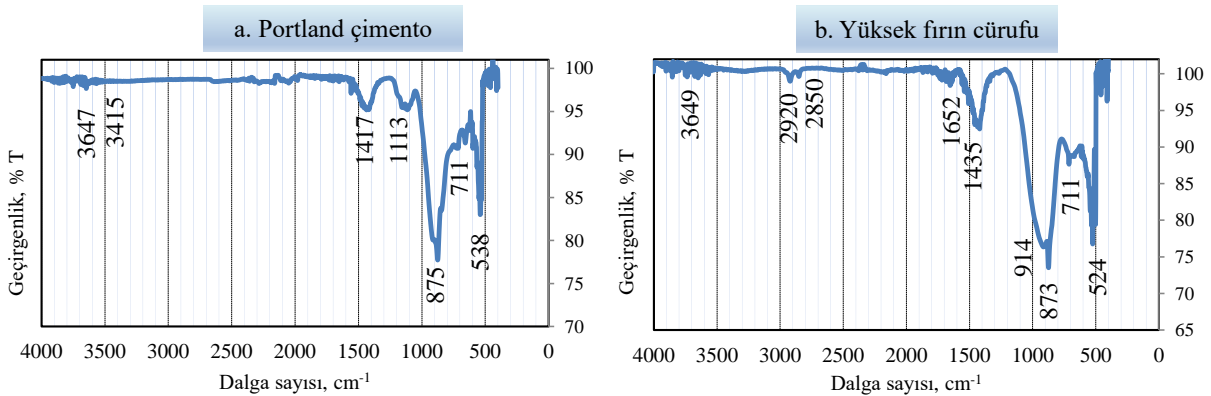
Şekil 1. PÇ ve YFC'nin XRD analizleri.

[1: C_3S -Alit ($3CaOSiO_3$), 2: C_2S -Belit ($2CaOSiO_3$), 3: C_3A -Trikalsiyum alüminat ($3CaO \cdot Al_2O_3$), 4: C_4AF -Tetrakalsiyum alüminaferrit ($4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3Fe_2O_3$), 5: Anhidrit ($CaSO_3$), 6: Gehlenite ($Ca_2Al(AlSiO_7)$)]

Portland çimentosunun XRD analizinde ana bileşen olarak alit, belit, trikalsiyum alüminat ve tetrakalsiyum alüminaferrit tespit edilmiş olup, çimentosunun XRD deseninin tipik bir Portland çimentosuna uygun kristallenmiş yapısında olduğu görülmektedir (Şekil 1a) [43], [44]. YFC'nin XRD analizinde en belirgin piklerin gehlenit ve anhidrit olduğu izlenmekte olup Tablo 1'deki kimyasal bileşime uygun oksit ve bileşiklere rastlanmıştır. Aynı zamanda YFC'nin camsı fazının 2θ 'nın 20-38 derece arasında maksimum duruma geldiği ve SiO_2 , CaO ve Al_2O_3 den oluşan yoğun bir amorf yapı şeklinde kendini gösterdiği izlenmektedir (Şekil 1b) [42], [45], [46]. Camsı faz miktarı YFC'nin hidrolik özelliklerini belirleyici en önemli unsurlardan birisi olup, camsı faz miktarıyla dayanım arasında, kabaca da olsa doğrusal bir ilişkinin olabileceği belirtilmektedir [42].

D. MOLEKÜLER ANALİZLER

Moleküler analizler (FT-IR), tanecikteki molekül gruplarını tanımlamak için kullanılabilir. Gerek çimento ve gerekse mineral katkılarla yapılan çalışmalarda infrared spektrumu temelde 4 geniş band bölgesinde değerlendirilmektedir. Bu değerlendirmeye göre Si-Al, S, C ve OH bağındaki hareketlerine karşı gelen pikler oluşmakta ve bu dalga boylarındaki farklar bölgesel olarak değerlendirilebilmektedir [47]. Yapılan analizlerle elde edilen PÇ ve YFC'nin moleküler yapıları Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. PÇ ve YFC'nin FT-IR analizleri.

FT-IR spektroskopisinde $500-1600\text{ cm}^{-1}$ aralığında katı kafeslerini oluşturan atomların titreşimleri, $1600-3000\text{ cm}^{-1}$ aralığında ise moleküler titreşimler izlenmektedir.

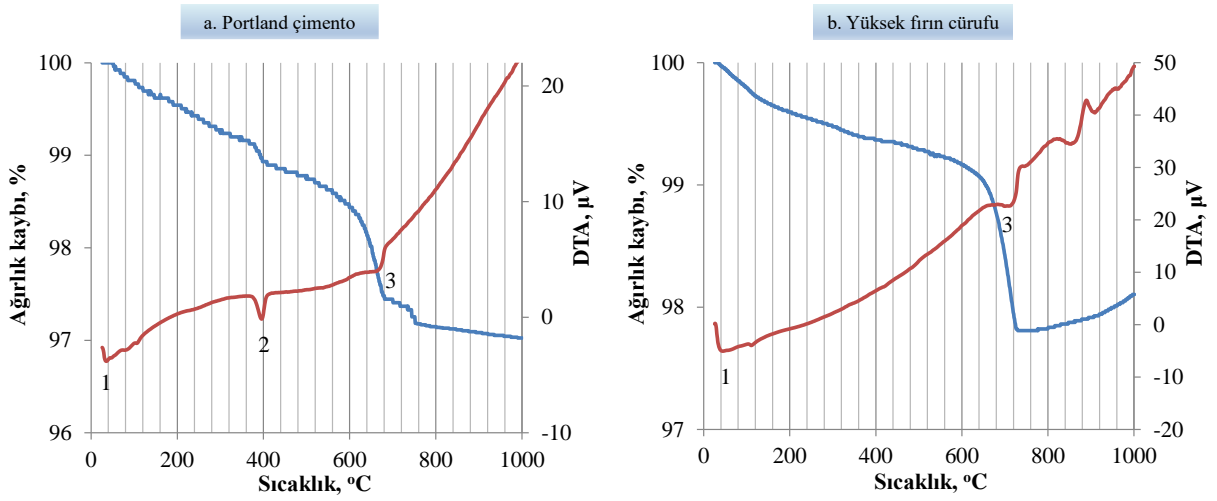
Portland çimentonun FT-IR analizine göre 538, 711, 875, 1113, 1417, 3415 ve 3647 cm^{-1} dalga

sayılarında titreşim piklerine sahip olduğu izlenmektedir (Şekil 2-a). Buna göre, Si-O ile birlikte bulunan Al-O bağları 538 cm^{-1} , Si-O bağları 875 cm^{-1} dalga sayısında titreşim piki şeklinde görülmektedir. Portland çimentoda alçıyı belirten S-O (Kükürt-Oksijen) bağları 711 ve 1113 cm^{-1} , C-O bağları ise 1417 cm^{-1} dalga sayılarında izlenmektedir. Su moleküllerinin yer aldığı $3400-3600\text{ cm}^{-1}$ dalga sayıları aralığındaki belirgin bir pik vermediği, yapısındaki su iyonları ve moleküllerine ait titreşim pikleri ise 3400 ve 1645 cm^{-1} dalga sayılarında izlenmektedir (Şekil 2-a) [48],[49].

YFC'nin FT-IR analizine göre 542 , 711 , 873 , 914 ve 1435 cm^{-1} dalga sayılarında titreşim pikleri görülmektedir (Şekil 2-b). Buna göre Si-O-Si bağları 524 cm^{-1} , Si-O ile birlikte bulunan Al-O bağları 711 cm^{-1} ve Si-O bağları 914 cm^{-1} dalga sayılarında titreşim piki şeklinde izlenmektedir. 2920 cm^{-1} ve 2850 cm^{-1} 'de görülen zayıf 2 pik, yüksek fırın cürufunun kalsitindeki karbon harmoniklerine bağlanır. 1435 cm^{-1} dalga sayısında titreşim pikleri CO_3^{2-} molekülünün C-O asimetrik gerilme titreşimine atfedilen bu pikin, atmosfere maruz kalan cürufun karbonatlaşmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. 1037 cm^{-1} 'deki absorpsiyon zirveleri, Si-O gerilme titreşim bantlarının varlığını gösterirken, Si-O-Si bükülme titreşim bantları 693 cm^{-1} 'de gözlemlenmiştir. 873 cm^{-1} 'deki absorpsiyon bantları, cürufta bulunan AlO_4 gruplarının asimetrik gerilme titreşimine karşılık gelmektedir (Şekil 2-b) [50], [51]. Su moleküllerinin yer aldığı $3400-3600\text{ cm}^{-1}$ dalga sayıları aralığında YFC'nin yine PÇ gibi belirgin bir pik vermediği izlenmektedir.

E. TERMAL ANALİZLER

Fark esaslı termal analiz (DTA) ile termal gravimetri analizleri eş zamanlı olarak tek bir numune üzerine uygulanmış ve elde edilen veriler Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. PÇ ve YFC'nin DTA-TGA Analizleri.

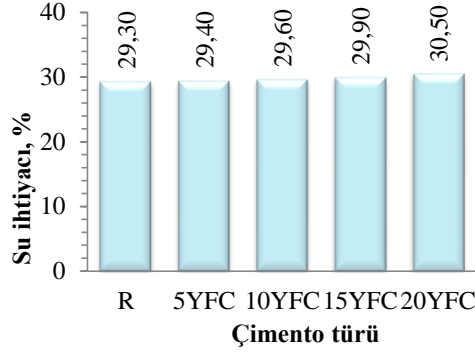
[1: Alçıtaşı ve bünyesindeki nem, 2: Portlandit, 3: Karbonat fazları]

Fark esaslı termal analiz (DTA), zeolitler, karbonatlar, kil mineralleri, sülfatlar gibi minerallerin tanımlanmasında kullanılmakta olup, bu yöntemle çimentoyu oluşturan ana bileşiklerin hidratasyon esnasında ısının etkisiyle gerçekleşen dönüşümleri de belirlenebilmektedir. DTA'da reaktif olmayan referans madde ve reaktif numuneyle arasındaki ısı farkı ($^{\circ}\text{C}$) zamanın fonksiyonu olarak belirlenmekte ve tepkimenin sıcaklığı, kinetiği ve termodinamiğiyle ilgili önemli bilgiler sağlanabilmektedir. Termal gravimetri (TG) ise, sıcaklığın bir fonksiyonu olarak gaz adsorpsiyonu veya ayrılmasıyla yoğun faz oluşumu veya ağırlık kaybını belirlemede kullanılmaktadır [52]. Portland çimentonun DTA-TGA analizlerine göre çimento üretiminde priz düzenleyici olarak kullanılan alçıtaşından ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ve bünyesindeki nemden kaynaklanan ağırlık kaybı %0,3, küçük miktarda bulunan portlanditin ağırlık kaybı %0,2 ve depolama sırasında çimentonun atmosferik hava ile reaksiyonu sonucunda oluşan amorf yapıda kalsit kaynaklı (CaCO_3) karbonat fazlarının ağırlık kaybı ise %1 olarak belirlenmiştir (Şekil 3-a). Yüksek fırın cürufunun analizine göre ise bünyesindeki nemden kaynaklı ağırlık kaybı %0,2 ve

depolama sırasında atmosferik hava ile reaksiyonu sonucunda oluşan karbonat fazlarının ağırlık kaybı ise %1,2 olarak belirlenmiştir [53]. Toplam ağırlık kayıpları ise PÇ'de %2,9, YFC de ise %1,9 olarak belirlenmiştir (Şekil 3-b).

F. SU İHTİYACI

TS EN 196-3'e göre tespit edilen çimento hamurlarının su ihtiyacı değerleri Şekil 4'te verilmiştir [40].

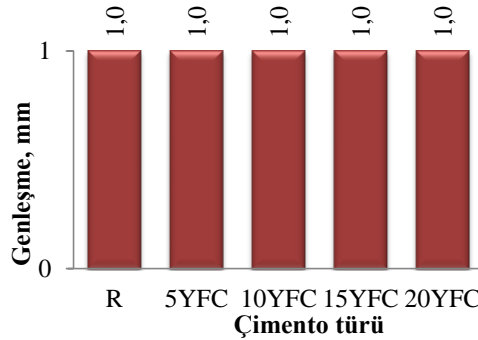


Şekil 4. Çimen hamurlarının su ihtiyaçları.

Su ihtiyacını belirlemek için yapılan deney verilerine 5YFC, 10YFC, 15YFC, 20YFC kodlu çimento hamurlarında referans çimento hamuruna göre su ihtiyaçları sırasıyla %0,3, %1,0, %2,0 ve %4,1 oranında artmıştır (Şekil 4). Deneylerden elde edilen verilere göre YFC ikamesi ile üretilen çimento hamurlarının su ihtiyaçları, YFC ikamesine bağlı olarak nispeten bir artış gösterse de bu durumun önemli bir etki yaratmadığı düşünülmektedir.

G. GENLEŞME

PÇ ve YFC ikameli çimento hamurlarının Le Chatelier deneyi ile TS EN 196-3'e göre belirlenen genleşme değerleri Şekil 5'te verilmiştir [40].

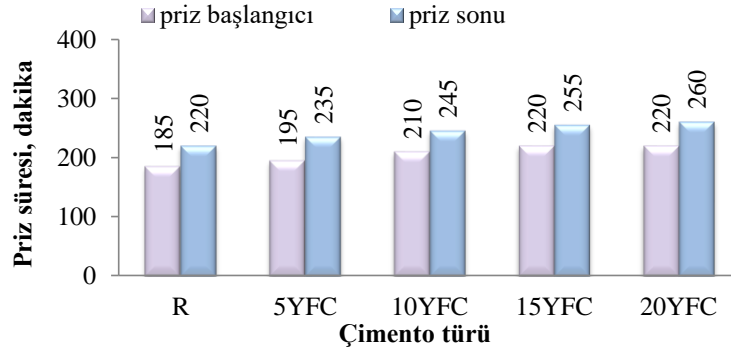


Şekil 5. Çimen hamurlarının genleşme değerleri.

Çimentonun kimyasal yapısındaki MgO ve CaO fazla miktarda bulunduğu zaman genleşmeye yol açmakta ve bu genleşmeler de betonda çeşitli düzeylerde hasarlar oluşturabilmektedir. Elde edilen verilere göre tüm çimento hamurlarında genleşme değerleri 1 mm olarak belirlenmiştir (Şekil 5). Bu değerlerin, TS EN 197-1'deki 10 mm olarak belirtilen sınır değerinden düşük olduğu için genleşme açısından herhangi bir soruna neden olmayacağı ifade edilebilir [41].

H. PRİZ SÜRELERİ

TS EN 196-3'e göre belirlenen çimento hamurlarının priz başlama ve priz sonu süreleri Şekil 6'da verilmiştir [40].

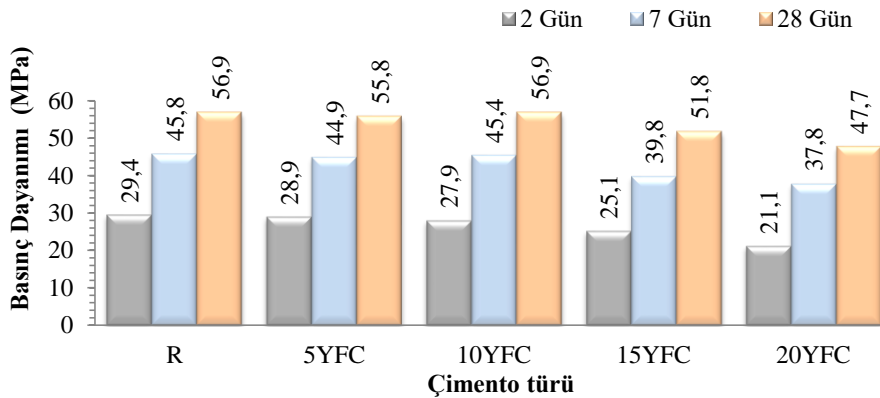


Şekil 6. Çimen hamurlarının priz süreleri.

Şekil 6'da görülen priz başlama süreleri dikkate alındığında en düşük sürenin 185 dakika ile referans, en yüksek sürenin ise 260 dakika ile 20YFC kodlu çimento hamurunda olduğu tespit edilmiştir. PÇ ile hazırlanan çimento hamurlarına göre, priz başlama sürelerinin 5YFC, 10YFC, 15YFC ve 20YFC kodlu çimento hamurlarında sırasıyla %5,4, %13,5, %18,9 ve %18,9 oranında arttığı belirlenmiştir. Priz sonu sürelerinde de yine en düşük sürenin 220 dakikayla referans çimento hamurunda, en yüksek sürenin ise 260 dakika ile 20YFC kodlu çimento hamurunda olduğu izlenmektedir. PÇ ile hazırlanan çimento hamurlarına göre, 5YFC, 10YFC, 15YFC ve 20YFC kodlu çimento hamurlarında sırasıyla %6,8, %11,4, %15,9 ve %18,2 oranında gerçekleşmiştir (Şekil 3). Bu süreler incelendiğinde tüm çimento hamurlarında priz başlama sürelerinin 42,5 MPa dayanım sınıfında olan 60 dakikanın ve 32,5 MPa dayanım sınıfında olan 75 dakikanın üzerinde sağlandığı görülmektedir [41]. Bu durumda tespit edilen Priz sürelerinin standartta belirtilen değerler içerisinde olması, işlenebilirlik açısından herhangi bir sorunla karşılaşmayacağı, dayanımın istenen zaman aralığında sağlanacağı, kalıp sökme sürelerinin ve işlemlerinin sorunsuz olarak gerçekleşebileceği ve betonun dış iklim şartlarından olumsuz etkilenmeyeceği ifade edilebilir.

I. BASINÇ DAYANIMLARI

PÇ ve YFC ikameli çimento harçlarının 2, 7 ve 28. hidrasyon günlerindeki basınç dayanımları Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. Çimento harçlarının basınç dayanımları.

Yapılan deney sonuçlarına göre 2. günde en düşük basınç dayanımının 21,1 MPa ile 20YFC kodlu harç örneğinde, en yüksek basınç dayanımının ise 29,4 MPa ile referans harç örneğinde olduğu görülmektedir. Referans harç örneğine göre, basınç dayanımlarının 2. gününde 5YFC, 10YFC, 15YFC ve 20YFC kodlu harç örneklerinde sırasıyla %1,9, %5,3, %14,8 ve %28,3 oranlarında bir dayanım düşüklüğü göstermektedir. 7. günde en düşük basınç dayanımının 37,8 MPa ile 20YFC kodlu harç örneğinde, en yüksek basınç dayanımının ise 45,8 MPa ile referans harç örneğinde olduğu görülmektedir. Referans harç örneklerine göre, basınç dayanımlarının 7. gününde 5YFC, 10YFC, 15YFC ve 20YFC kodlu harç örneklerinde sırasıyla %2,0, %0,9, %13,2 ve %17,6 oranlarında bir dayanım düşüklüğü meydana gelmiştir. 28. günde en düşük basınç dayanımının 47,7 MPa ile 20YFC kodlu harç örneğinde, en yüksek basınç dayanımının ise 56,9 MPa ile referans harç örneğinde olduğu görülmektedir. Referans harç örneklerine göre, basınç dayanımlarının 28. gününde 5YFC, 10YFC, 15YFC ve 20YFC kodlu harç örneklerinde sırasıyla %1,9, %0,0, %9,0 ve %16,1 oranlarında bir dayanım düşüklüğü meydana gelmiştir (Şekil 4).

Genel olarak sonuçlar ele alındığında 28. günde YFC ikameli harç örneklerinin basınç dayanım değerlerindeki gelişim hızlarının, 2. ve 7. gündeki harç örneklerine kıyasla nispeten tüm ikame edilen oranlarda arttığı izlenmektedir. Erken yaşlardaki basınç dayanımının azalması, puzolanik reaksiyonun bir sonucu olarak hidrasyon reaksiyon hızının azalması ve daha az C-S-H açığa çıkması olarak düşünülmektedir. Bunun yanı sıra YFC ikameli harçlarının tümünde TS EN 197-1 de belirtilen 2 günlük norm basınç değeri olan 20 MPa'nın üzerinde ve 28 günlük norm basınç değeri olan 42,5 MPa'nın üzerinde elde edilerek 42,5 R dayanım sınıfını sağladığı görülmektedir [41].

IV. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan analiz ve deneyler sonucundaki bulgular aşağıdaki gibi sıralanabilir. Buna göre;

- YFC'nin fiziksel ve kimyasal açıdan olumlu özellik gösterdiği,
- YFC'nin XRD analiz verilerine göre SiO₂, CaO ve Al₂O₃ oluşan yoğun bir amorf yapıya sahip olduğu ve bu durumun dayanım açısından olumlu olduğu,
- YFC'nin FT-IR sonuçlarının literatürle uyumlu olarak elde edildiğini,
- Termal analiz verilerine göre toplam ağırlık kayıplarının PC'de %2,9, YFC de ise %1,9 olarak elde edildiği,
- YFC ikamesine bağlı olarak su ihtiyaçlarında nispeten bir artış görülse de bunun önemli bir etki yaratmadığı,
- Genleşme değerlerinin tüm çimento hamurlarında TS EN 197-1'de belirtilen 10 mm olan maksimum değerden küçük olduğu ve genleşme açısından herhangi bir sorun oluşturmayacağı,
- Tüm çimento hamurlarının TS EN 196-1'de belirtilen priz başlama sürelerinin 42,5 MPa dayanım sınıfında olan çimentolar için 60 dakikanın ve 32,5 MPa dayanım sınıfında olanlar için belirtilen 75 dakikanın üzerinde sağlandığı,
- YFC ikameli harçlarının tümünde TS EN 197-1 de belirtilen 2 günlük basınç değeri olan 20 MPa'nın üzerinde ve 28 günlük basınç değeri olan 42,5 MPa'nın üzerinde elde edilerek 42,5 R dayanım sınıfını sağladığı görülmektedir. Ayrıca YFC ikameli harç örneklerindeki dayanımların, referans harca göre daha yavaş ancak artarak geliştiği tespit edilmiştir.

Bu bağlamda, Türkiye'de endüstriyel bir atık olarak dikkat çeken YFC'nin çimentoya ikame edilmesiyle hem atıkların değerlendirilmesi söz konusu olacak hem de daha az klinker üretimi gerçekleşeceği için ekonomik ve ekolojik fayda sağlanabileceği söylenebilir. Bunun yanı sıra yapılan bu çalışmada YFC ikameli çimentolar, kimyasal ve fiziksel özellikleri ile standart çimento deneyleri açısından değerlendirmiştir. Daha kapsamlı verilerin elde edilmesi ve hidrasyon reaksiyonlarının daha iyi anlaşılmasının sağlanması için YFC ikameli çimento hamurlarının, DTA-TG, FT-IR, XRD, SEM gibi modern tekniklerle ayrıntılı olarak incelenmesinin faydalı olabileceği düşünülmektedir.

TEŞEKKÜR: Yazarlar, standart çimento deneylerinin yapılmasında destek sağlayan Bolu Çimento Fabrikasının yöneticileri ve laboratuvar çalışanlarına teşekkür ederler.

V. KAYNAKLAR

- [1] A. R. Kushnir, M. J. Heap, L. Griffiths, F. B. Wadsworth, A. Langella, P. Baud and J. E. Utley, "The fire resistance of high-strength concrete containing natural zeolites," *Cement and Concrete Composites*, vol. 116, no. 103897, 2021.
- [2] Y. Koçak ve M. Savaş, "Zeolit İkameli Betonlara Sodyum Klorürün Etkisi," *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 7, s. 3, ss. 2094-2106, 2019.
- [3] H. Gerengi, Y. Koçak, M. Kurtay ve H. Durgun, "Diatomit ve Zeolit İkameli Beton İçerisindeki Donatı Korozyonunun Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (EIS) Yöntemi ile İncelenmesi," *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 4, s. 2, ss. 661-671, 2016.
- [4] A. Joshaghani, "The effect of trass and fly ash in minimizing alkali-carbonate reaction in concrete," *Construction and Building Materials*, vol. 150, pp. 583-590, 2017.
- [5] A. G. N. D. Darsanasiri, F. Matalkah, S. Ramli, K. Al-Jalode, A. Balachandra and P. Soroushian, "Ternary alkali aluminosilicate cement based on rice husk ash, slag and coal fly ash," *Journal of Building Engineering*, vol. 19, pp. 36-41, 2018.
- [6] K. Fang, D. Wang, J. Zhao and M. Zhang, "Utilization of ladle furnace slag as cement partial replacement: Influences on the hydration and hardening properties of cement," *Construction and Building Materials*, vol. 299, no. 124265, 2021.
- [7] D. Zhang, Y. Ge, S. Dai Pang and P. Liu, "The effect of fly ash content on flexural performance and fiber failure mechanism of lightweight deflection-hardening cementitious composites," *Construction and Building Materials*, vol. 302, no. 124349, 2021.
- [8] M. Khan, M. Cao, A. Hussain and S.H. Chu, "Effect of silica-fume content on performance of CaCO₃ whisker and basalt fiber at matrix interface in cement-based composites," *Construction and Building Materials*, vol. 300, no. 124046, 2021.
- [9] A. Subaşı and M. Emiroğlu, "Effect of metakaolin substitution on physical, mechanical and hydration process of White Portland cement," *Construction and Building Materials*, vol. 95, pp. 257-268, 2015.
- [10] Z. Zhang, S. Liu, F. Yang, Y. Weng and S. Qian, "Sustainable high strength, high ductility engineered cementitious composites (ECC) with substitution of cement by rice husk ash," *Journal of Cleaner Production*, vol. 317, no. 128379, 2021.
- [11] A. Erfanimanesh and M.K. Sharbatdar, "Mechanical and microstructural characteristics of geopolymer paste, mortar, and concrete containing local zeolite and slag activated by sodium carbonate," *Journal of Building Engineering*, vol. 32, no. 101781, 2020.
- [12] Y. Li, "Effect of post-fire curing and silica fume on permeability of ultra-high performance concrete," *Construction and Building Materials*, vol. 290, no. 123175, 2021.
- [13] L. Hu, Z. He and S. Zhang, "Sustainable use of rice husk ash in cement-based materials: Environmental evaluation and performance improvement," *Journal of Cleaner Production*, vol. 264, no. 121744, 2020.

- [14] O. Keleştemur and B. Demirel, "Effect of metakaolin on the corrosion resistance of structural lightweight concrete," *Construction and Building Materials*, vol. 81, pp. 172-178, 2015.
- [15] P.R. de Matos, R. Junckes, E. Graeff and L.R. Prudencio Jr, "Effectiveness of fly ash in reducing the hydration heat release of mass concrete," *Journal of Building Engineering*, vol. 28, no. 101063, 2020.
- [16] C. Karakurt and İ.B. Topçu, "Effect of blended cements produced with natural zeolite and industrial by-products on alkali-silica reaction and sulfate resistance of concrete," *Construction and Building Materials*, vol. 25, no. 4, pp. 1789-1795, 2011.
- [17] A. Hasanbeigi, L. Price and E. Lin, "Emerging energy-efficiency and CO2 emission-reduction technologies for cement and concrete production: A technical review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, no. 8, pp. 6220-6238, 2012.
- [18] E. Worrell, N. Martin and L. Price, "Potentials for energy efficiency improvement in the US cement industry," *Energy*, vol. 25, no. 12, pp.1189-1214, 2000.
- [19] K. Fang, D. Wang, J. Zhao and M. Zhang "Utilization of ladle furnace slag as cement partial replacement: Influences on the hydration and hardening properties of cement," *Construction and Building Materials*, vol. 299, no. 124265, 2021.
- [20] P. Mohsen Zadeh, S.F. Saghravani and G. Asadollahfardi, "Mechanical and durability properties of concrete containing zeolite mixed with meta kaolin and micro-nano bubbles of water," *Structural Concrete*, vol. 20, no. 2, pp.786-797 2019.
- [21] M. Najimi, J. Sobhani, B. Ahmadi and M. Shekarchi, "An experimental study on durability properties of concrete containing zeolite as a highly reactive natural pozzolan," *Construction and building materials*, vol. 35, pp.1023-1033 2012.
- [22] Ş. Erdoğan ve Ş. Kurbetci, "Betonun Performansına Sağladıkları Etkinlik Açısından Kimyasal ve Mineral Katkı Maddeleri," *Türkiye Mühendislik Haberleri*, c. 426, s. 4, ss. 115-120, 2003.
- [23] F. F. Uysal ve S. Bahar, "Cüruf Çeşitleri ve Kullanım Alanları," *Trakya Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 19, s. 1, ss.37-52, 2018.
- [24] M. Tokyay ve K. Erdoğan, "Cüruflar ve cürüflü çimentolar," TÇMB/AR-GE/Y97.2, Ankara, 1997.
- [25] H. Yalçın ve M. Gürü, "Çimento ve Beton," Ankara, Türkiye: Palme Yayıncılık, 2006.
- [26] K. Abdelli, M. Tahlaïti, R. Belarbi and M. N. Oudjit, "Influence of the pozzolanic reactivity of the Blast Furnace Slag (BFS) and metakaolin on mortars," *Energy Procedia*, vol. 139, pp. 224-229, 2017.
- [27] M. S. Amin, S. M. A. El-Gamal, S. A. Abo-El-Enein, F. I. El-Hosiny and M. Ramadan, "Physico-chemical characteristics of blended cement pastes containing electric arc furnace slag with and without silica fume," *HBRC journal*, vol. 11, no. 3, pp. 321-327, 2015.
- [28] M. M. López, Y. Pineda and O. Gutiérrez, "Evaluation of durability and mechanical properties of the cement mortar added with slag blast furnace," *Procedia Materials Science*, vol. 9, pp. 367-376, 2015.
- [29] J. Zhu, Q. Zhong, G. Chen and D. Li, "Effect of particlesize of blast furnace slag on properties of portland cement," *Procedia Engineering*, vol. 27, pp. 231-236, 2012.

- [30] M. Emiroğlu, Y. Koçak ve S. Subaşı, “Yüksek Fırın Cürufunun Betonun Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Etkisi,” In *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, vol. 1, pp. 113-117, 2011.
- [31] S. Samad and A. Shah, “Role of binary cement including Supplementary Cementitious Material (SCM), in production of environmentally sustainable concrete: A critical review,” *International journal of Sustainable built environment*, vol. 6, no. 2, pp. 663-674, 2017.
- [32] D. N. Richardson, “Strength and Durability Characteristics of a 70% Ground Granulated Blast Furnace Slag (GGBFS) Concrete Mix,” Organizational Results Research Report, Missouri Department of Transportation (MoDOT), 2006,
- [33] M. Á. Sanjuán, E. Estévez, C. Argiz and D. del Barrio, “Effect of curing time on granulated blast-furnace slag cement mortars carbonation,” *Cement and Concrete Composites*, vol. 90, pp. 257-265, 2018.
- [34] C. E. Ekinci, “Elazığ Ferrokrom Fabrikası Cürufunun Çimentoda Puzolanik Katkı Maddesi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması,” *Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu*, Ankara İMO, pp. 243-253, 1993.
- [35] A. C. de Oliveira Dieguez, S.L.N. Oliveira, G.S. Araújo and A. G. de Sousa Galdino, “Comparison of Kambara reactor slag with blast furnace slag for Portland cement industry applications,” *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 8, no. 3, pp. 2786-2795, 2019.
- [36] M.M. Sadawy and M.T. Nooman, “Influence of nano-blast furnace slag on microstructure, mechanical and corrosion characteristics of concrete,” *Materials Chemistry and Physics*, vol. 251, no. 123092, 2020.
- [37] A. Hosan and F.U.A. Shaikh, “Compressive strength development and durability properties of high volume slag and slag-fly ash blended concretes containing nano-CaCO₃,” *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 10, pp. 1310-1322, 2021.
- [38] X.Y. Wang and H.S. Lee, “Effect of global warming on the proportional design of low CO₂ slag-blended concrete,” *Construction and Building Materials*, vol. 225, pp. 1140-1151, 2019.
- [39] *Çimento deney metotları - Bölüm 1: Dayanım tayini*, Türk Standartlar Enstitüsü, TS EN 196-1, 2016.
- [40] *Çimento deney yöntemleri - Bölüm 3: Priz süreleri ve genleşme tayini*, Türk Standartlar Enstitüsü, TS EN 196-3, 2017.
- [41] *Çimento- Bölüm 1: Genel Çimentolar Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri*, Türk Standartlar Enstitüsü, TS EN 197-1, 2012.
- [42] M., Tokyay ve K. Erdoğan, “Cüruflar ve cürüflü çimentolar, Araştırmaların Gözden Geçirilmesi ve Durum Değerlendirmesi Raporu,” TÇMB/AR-GE/Y 97.2, ANKARA, 2011.
- [43] Y. C. Choi and B. Park, “Enhanced autogenous healing of ground granulated blast furnace slag blended cements and mortars,” *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 8, no. 4, pp. 3443-3452, 2019.
- [44] X. Huang, M. Jiang, X. Zhao and C. Tang, “Mechanical properties and hydration mechanisms of high-strength fluorogypsum-blast furnace slag-based hydraulic cementitious binder,” *Construction and Building Materials*, vol. 127, pp. 137-143, 2016.

- [45] H. N. Yoon, J. Seo, S. Kim, H. K. Lee and S. Park, "Hydration of calcium sulfoaluminate cement blended with blast-furnace slag," *Construction and Building Materials*, vol. 268, no. 121214, 2021.
- [46] M. Yanık, "Farklı incelikte öğütülmüş obsidyen katkılı çimentoların puzolanik özelliklerinin tayini," Yüksek lisans tezi, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Rize, Türkiye, 2019.
- [47] F. Puertas, A. Fernandez-Jimenez and M.T. Blanco-Varela, "Pore solution in alkali-activated slag cement pastes. relation to the composition and structure of calcium silicate hydrate," *Cement And Concrete Research*, vol. 34, no.1, pp. 139-148, 2004.
- [48] C. E. M. Gomes and O. P. Ferreira, "Analyses of microstructural properties of va/veova copolymer modified cement pastes," *Polimeros*, vol. 15, no. 3, pp. 193–198, 2005.
- [49] M. J. Varas, M. A. De Buergo and R. Fort, "Natural cement as the precursor of portland cement: Methodology for its identification," *Cement and Concrete Research*, vol. 35, no. 11, pp. 2055–2065, 2005.
- [50] F. I. Adeniyi and M.B. Ogundiran, "Synthesis of geopolymer binders and mortars from Ijero-Ekiti calcined clay, blast furnace slag and river sand," *Earthline Journal of Chemical Sciences*, vol. 4, no. 1, pp. 15-34, 2020.
- [51] A. R. Sakulich, S. Miller and M.W. Barsoum, "Chemical and microstructural characterization of 20-month-old alkali-activated slag cements," *Journal of the American Ceramic Society*, vol. 93, pp. 1741–1748, 2010.
- [52] M.Ç. Karakaya, *Kil minerallerinin özellikleri ve tanımlama yöntemleri*, Ankara, Türkiye: Bizim Büro Basımevi, 2006.
- [53] R. Gabrovšek, T. Vuk and V. Kaučič, "Evaluation of the hydration of Portland cement containing various carbonates by means of thermal analysis," *Acta Chimica Slovenica*, vol. 53, pp. 159-165, 2006.



Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

(3-(4-chlorophenyl)-4,5-dihydroisoxazole-4,5-diyl)dimethanol Compound: Antibacterial Activity, Antifungal Activity and Calculated Structural Parameters

 Meryem PİR ^{a,*},  Fatma BUDAK ^b

^a Chemistry and Chemical Processing Technology, Kocaeli Vocational School, Kocaeli University, Kocaeli, TURKEY

^b Department of Microbiology, Faculty of Medicine, Kocaeli University, Kocaeli, TURKEY

* Corresponding author's e-mail address: meryem.pir@kocaeli.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.944684

ABSTRACT

We intended to quantify the antibacterial and antifungal activity results of 4,5-dihydroisoxazole dimethanol compound (1a) against several bacteria and fungi and also calculate some structural parameters (theoretical descriptors) of compound (1a) with this work. Microdilution broth procedures were studied using microdilution wells for the minimal inhibitory concentrations (MICs) test. Compound (1a) exhibited fair activities against all the bacteria and fungi. Compound (1a) has been a good result (MIC = 50 µg/ml) against particularly *P. aeruginosa*. The structure of compound (1a) was drawn, and geometrical optimization was done using the Ab initio (RHF/3-21G) level.

Keywords: Antimicrobial activity, Dihydroisoxazole dimethanol compound, MIC

(3-(4-klorofenil)-4,5-dihidroizoksazol-4,5-diil)dimetanol Bileşiği: Antibakteriyel Aktivite, Antifungal Aktivite ve Hesaplanmış Yapısal Parametreler

Öz

Bu çalışma ile, 4,5-dihidroizoksazol dimetanol bileşiğinin (1a) çeşitli bakteri ve mantara karşı antibakteriyel ve antifungal aktivite sonuçlarını ölçmeyi ve ayrıca (1a) bileşiğinin bazı yapısal parametrelerini (teorik tanımlayıcıları) hesaplamayı amaçladık. Mikrodilüsyon kuyucukları kullanılarak minimal inhibisyon konsantrasyonları (MİK) testi için mikrodilüsyon broth prosedürleri çalışılmıştır. Bileşik (1a), tüm bakteri ve mantara karşı etkili aktiviteler sergilemiştir. Bileşik (1a), özellikle *P. aeruginosa*'ya karşı iyi bir sonuç (MİK = 50 µg/ml) vermiştir. Bileşik (1a)'nın yapısı çizilmiştir ve geometrik optimizasyonu Ab initio (RHF/3-21G) seviyesi kullanılarak yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Antimikrobiyal aktivite, Dihidroizoksazol dimetanol bileşiği, MİK

I. INTRODUCTION

Infections caused by pathogenic microorganisms pose a concern in many areas. Compared to other causes, infectious diseases cause the death of many people worldwide in human history. In recent years, scientific research has focused on exploring new antibacterial, antifungal, and antiviral (pharmacological active) agents. Antibiotics, due to the drug resistance to microbes resulting from inappropriate, unnecessary, and unconscious use of them, have lost their effects at present [1-6].

Highly resistant bacteria (methicillin and vancomycin-resistant *S. aureus* (MRSA/VRSA) and vancomycin-resistant *E. faecalis* (VRE)) in intensive care units increase medical costs and risking the patient's life, leading to various complications from 1988 to the present [7-10]. Nowadays, the difficulty is encountered in treating multidrug-resistant *P. aeruginosa* infections produced in patients hospitalized in intensive care for a long time. So that, *P. aeruginosa* bacteria show the strongest resistance problems associated with nosocomial infections and multi-resistant strains [11,12]. *S. mutans* bacteria, which causes dental caries, periodontal diseases, and periapical diseases in people who do not do well with oral care, also contribute to mixed infections when the clinical dimension progresses, and we may have difficulties in treatment [13].

Hence, new drugs and particularly new drug classes are needed to struggle with this clinical resistance combined with new approaches and chemicals [14]. Therefore, as a result of multidisciplinary studies with chemistry trying to overcome resistances.

The synthesis and antimicrobial activity results of some 4,5-dihydroisoxazole derivatives have been reported in the literature [15-17]. There is not any report about discussing 4,5-dihydroisoxazole-4,5-diyldimethanol compounds antimicrobial activity backward. Therefore, compound (1a) is an essential new molecule because of contains two –OH bonds bound in a close position of a heterocyclic system containing C=N, N-O bonds. We reacted with 4,5-dihydroisoxazole-4,5-diyldimethanol compound and substituted phenylboronic acid to synthesize important antimicrobial substituted dioxaborepino compounds (MIC = 25-100 µg/ml) in our previous study [18]. Developing remarkable boron agents shows different modes of activity against various biological goals [19-27]. These biological targets include significant effects such as dermatologic anti-inflammatory application, antimalarial agents, potential inhibitors of SARS-CoV-2 main protease, antifungal activity, antimicrobial activity, anticancer, antibacterial, antiviral and antiparasitic activities. So that, compound (1a) is a new drug agent active substance that can be used as an intermediate form for new biologically active molecule synthesis.

In that research, we intended to identify *in vitro* antibacterial and antifungal activity of compound (1a) and calculate the important physicochemical parameters by theoretical calculations.

II. MATERIALS AND METHODS

A. EXPERIMENTAL

The synthesis, spectroscopic and analytical data of 4,5-dihydroisoxazole dimethanol compound (1a) (Figure 1) is in the literature [18], [28].

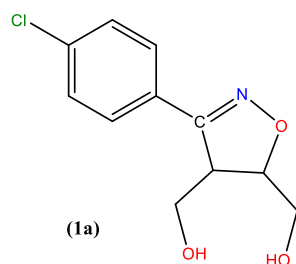


Figure 1. Structure of compound (1a)

B. ANTIMICROBIAL ACTIVITY

The antimicrobial activity of the compound (1a) has been evaluated against three Gram-positive bacteria (*Staphylococcus aureus* (ATCC 25983), *Enterococcus faecalis* (ATCC 29212) and *Streptococcus mutans* (ATCC 25175)), two Gram-negative bacteria (*Pseudomonas aeruginosa* (ATCC 27853) and *Escherichia coli* (ATCC 25922)) and one fungi (*Candida albicans* (ATCC 90028)) by their minimal inhibitory concentration (MIC) (Table 1) via broth microdilution susceptibility tests [18], [29-31]. Microdilution broth procedures were studied using multiwell microdilution plates (sterile, disposable 96 U-shaped wells). The compound (1a) was weighed and dissolved in sterile (pure) ethanol (Sigma) to prepare a stock solution (2000 µg/ml). In the studied concentrations, ethanol did not effect the microorganisms.

For the antibacterial activity studies (*S. aureus*, *E. faecalis*, *P. aeruginosa*, *E. coli*, and *S. mutans*), the dilution of compound (1a) solution was done in the wells of microdilution plates by Mueller-Hinton Broth (Oxoid) [29]. All the inoculated plates were incubated at 35 °C for 16–20 h. For the antibacterial activity study of *S. mutans*, Mueller-Hinton Broth (Oxoid) with 2-5% lyophilized horse blood was used (Figure 2) [30]. All the inoculated plates were incubated at 35 °C for 36–48 h with 5–10 % CO₂. The concentration range was 1600-0.04 µg/ml. For the antifungal activity studies (*C. albicans*), the dilution of compound (1a) solution was done in the wells of microdilution plates with RPMI medium with L-glutamine buffered, pH = 7, with MOPS (Sigma) [31]. The MIC plates were incubated at 37 °C for 48 h. The concentration range was the same as above (1600-0.04 µg/ml). Reference compounds were obtained from the manufacturers for the tests.

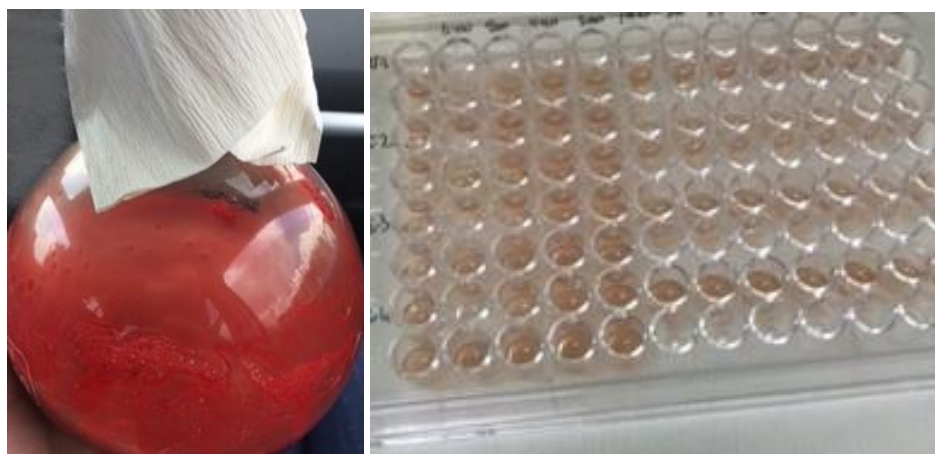


Figure 2. Horse blood in baloonjoje for the antibacterial activity study of *S. mutans* (left); microdilution plates for *S. mutans* (right)

C. STRUCTURAL AND THEORETICAL PARAMETERS

We also have studied structural descriptors against antibacterial and antifungal activities of compound (1a). The geometrical optimization of compound (1a) has been carried out by Ab initio (RHF/3-21G)

parameterization in the Hyperchem package (Figure 3) for calculations [32]. Some structural parameters (Van der Waals Surface Area-Approx (SAA), Van der Waals Molecular Volume (MV), Molar Refractivity (MR), Polarizability (polar), Magnitude of Dipolar Moment (μ), Axes of Dipolar Moments (μ ; Dx, Dy, Dz), the Calculated log of Octanol-Water Partition Coefficient (clogP), RMS Gradient, Hydration Energy (HE), Energy of Binding (E_b), Electronic Energy (EE), Nuclear Energy (NE) and Mass) of the optimized compound (1a) were calculated by (RHF/3-21G) level (Table 2).

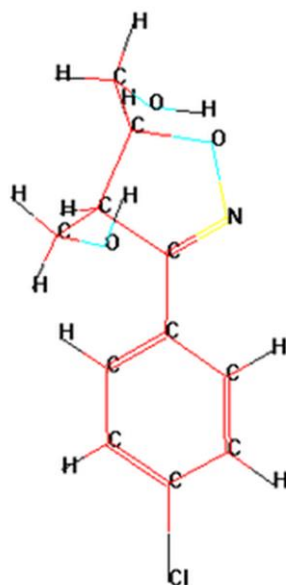


Figure 3. Minimum energy conformation of compound (1a) (RHF/3-21G level)

Computer aid is supported to discipline the experimental notice. Drug discovery studies are driven by innovation and knowledge, employing a combination of experimental and computational methods in these days [33].

III. RESULTS AND DISCUSSION

The conclusions of biological activities are given in Table 1 and shown graphically in Figure 4. Compound (1a) showed activity against all Gram-negative bacteria, Gram-positive bacteria, and fungi. Compound (1a) displayed antimicrobial activity with MIC = 50-200 $\mu\text{g/ml}$ against *S. aureus*, *E. faecalis*, *P. aeruginosa*, *E. coli*, *S. mutans* and *C. albicans*.

Table 1. Antimicrobial activity results (MIC) of compound (1a)

Compound and References	MIC in $\mu\text{g/ml}$ (pMIC)					
	<i>S. aureus</i> ATCC 25983	<i>E. faecalis</i> ATCC 29212	<i>P. aeruginosa</i> ATCC 27853	<i>E. coli</i> ATCC 25922	<i>S. mutans</i> ATCC 25175	<i>C. albicans</i> ATCC 90028
1a	100 (0.383)	100 (0.383)	50 (0.684)	100 (0.383)	100 (0.383)	200 (0.082)
Ampicillin	0.78	0.78	–	6.25	≤ 0.25	–
Ciprofloxacin	0.25	0.25	0.25	0.04	–	–
Fluconazole	–	–	–	–	–	0.25

Compound (1a) has been found to be the most active against bacteria at MIC values of 50-100 $\mu\text{g/ml}$ among the tested microorganisms. (1a) exhibited antifungal activity with MIC value 200 $\mu\text{g/ml}$ against *C. albicans*.

The results showed that (1a) had been good activity (MIC = 50 $\mu\text{g/ml}$) against *P. aeruginosa*, which is causing a nosocomial infection and often resistant to antibiotic therapy among the tested microorganisms. This situation gives us hope for future treatment options.

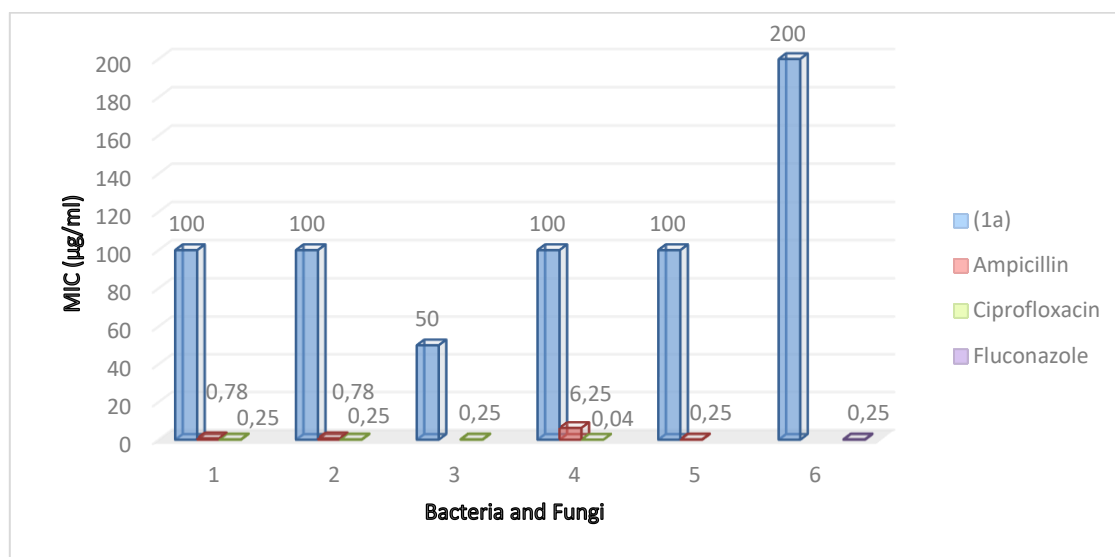


Figure 4. Graphical representation of MIC ($\mu\text{g/ml}$) values of (1a) and references (Ampicillin, Ciprofloxacin, Fluconazole) (1 = *Staphylococcus aureus*, 2 = *Enterococcus faecalis*, 3 = *Pseudomonas aeruginosa*, 4 = *Escherichia coli*, 5 = *Streptococcus mutans*, 6 = *Candida albicans*)

The antimicrobial activities, presented as MIC (Table 1), were transformed to $p\text{MIC}$ ($\mu\text{mol/ml}$). The obtained MIC values (Table 1) and calculated various theoretical descriptors (Table 2) showed the relationship between the structure and the activity.

Table 2. Calculated structural parameters of compound (1a)

SAA (\AA^2)	229.32
MV (\AA^3)	200.95
MR (\AA^3)	63.98
Polar (\AA^3)	23.61
μ (D)	5.217
μ (D _x)	-3.268
μ (D _y)	3.432
μ (D _z)	-2.182
clogP	1.07
HE (kcal/mol)	-10.91
E _b (kcal/mol)	-725328.3
EE (kcal/mol)	-1478293.5
NE (kcal/mol)	752965.1
RMS	0.0907
Mass (amu)	241.67

In addition to computational results, future QSAR studies with substituted forms of compound (1a) will also give us important info concerning the organic-structural typicals of the dihydroisoxazole dimethanol compounds. QSAR has confidence in the fundamental hypothesis that compounds with close featured physicochemical properties or structures will have match activities [34]. The relationship between the molecular structure of the compounds and their biological activity is analyzed quantitatively with mathematical methods and calculated physicochemical parameters [35].

IV. CONCLUSION

Here, we report the antimicrobial activity tests of compound (1a). In the literature, there has not been evaluated the antimicrobial activity and structural studies of this compound. So, those results are very important for new studies. It is necessary to find new pharmacologically active compounds to control microbial pathogens that have become resistant to antibiotics. In this study, the sensitivities of new alternative chemical that fight pathogenic microorganisms has been investigated.

In recent years, the synthesis of new chemical compounds and their biological activity tests have a significance. Dihydroisoxazole dimethanol compound is a new type of molecule for antimicrobial agent design. Moreover, compound (1a) has -OH groups which are essential for polymerization reactions. Therefore, such dihydroisoxazole dimethanol derivatives as antimicrobial agents can be evolved and utilized to propose more potential newer substituents and therapeutics in the future.

ACKNOWLEDGMENTS: The authors declare that there is no conflict of interest. This study is based on the Project No:2019/009HD supported by Kocaeli University, BAP.

V. REFERENCES

- [1] M. Serpi, Z. Özdemir, Y. Salman, "Investigation of the antibacterial effects of some plant extracts on *Propionibacterium acnes*," *KSU Journal of Agriculture and Nature*, vol. 15, no. 1, pp. 7-12, 2012.
- [2] E. S. Bireller, A. B. Dinç, E. Şahin, A. Ergen, B. Çakmakoğlu, "Inverstigation of rational use of antibiotics on parents," *Experimed*, vol. 6, no. 12, pp. 33-44, 2016.
- [3] D. L. Kiska, P. H. Gilligan, *Pseudomonas. Manual of Clinical Microbiology*, 7th ed., Washington, DC, USA: ASM Press., 1999, pp. 517-525.
- [4] A. U. Akbal, A. Y. Çoban, B. Durupınar, "New antibacterials," *Türk Mikrobiyoloji Cemiyeti Dergisi*, vol. 48, no. 2, pp. 87-99, 2018.
- [5] K. Lewis, "New approaches to antimicrobial discovery," *Biochemical Pharmacology*, vol. 134, pp. 87-98, 2017.
- [6] H. Krauss, A. Weber, M. Appel, *Zoonoses. Infectious Diseases Transmissible from Animals to Humans*, 3rd ed., vol. 194, Washington DC, USA: ASM Press, 2003, p. 456.
- [7] A. Waness, "Revisiting methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* infections," *Journal of Global Infectious Diseases*, vol. 2, no. 1, pp. 49-56, 2010.
- [8] A. E. Villaruz, J. B. Wardenburg, B. A. Khan, A. R. Whitney, D. E. Sturdevant, D. J. Gardner, F. R. DeLeo, M. Otto, "A point mutation in the agr locus rather than expression of the panton-valentine Leukocidin caused previously reported phenotypes in *Staphylococcus aureus* pneumonia and gene regulation," *The Journal of Infectious Diseases*, vol. 200, no. 5, pp. 724-734, 2009.

- [9] M. C. Enright, D. A. Robinson, G. Randle, E. J. Feil, H. Grundmann, B. G. Spratt, "The evolutionary history of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA)," *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 99, no. 11, pp. 7687-7692, 2002.
- [10] G. Cornaglia, G. M. Rossolini, "Forthcoming therapeutic perspectives for infections due to multidrug-resistant Gram-positive pathogens," *Clinical Microbiology and Infection*, vol. 15, pp. 218-223, 2009.
- [11] U. Kayış, "Antimicrobial Resistance Mechanisms," *ASD.*, vol. 5, no. 1, pp. 1-12, 2019.
- [12] A. Martinez, S. J. Kolvek, C. L. T. Yip, J. Hopke, K. A. Brown, I. A. Macneil, M. S. Osburne, "Genetically modified bacterial strains and novel bacterial artificial chromosome shuttle vectors for constructing environmental libraries and detecting heterologous natural products in multiple expression hosts," *Applied and Environmental Microbiology*, vol. 70, no. 4, pp. 2452-2463, 2004.
- [13] A. Jabbour, M. Srebnik, B. Zaks, V. Dembitsky, D. Steinberg, "Evaluation of oxazaborolidine activity on *Streptococcus mutans* biofilm formation," *International Journal of Antimicrobial Agents*, vol. 26, pp. 491-496, 2005.
- [14] E. J. C. Goldstein, D. M. Citron, K. L. Tyrrell, C. V. Merriam, "Comparative *In Vitro* Activities of GSK2251052, a Novel Boron-Containing Leucyl-tRNA Synthetase Inhibitor, against 916 Anaerobic Organisms," *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, vol. 57, no. 5, pp. 2401-2404, 2013.
- [15] D. Song, F. Bi, N. Zhang, Y. Qin, X. Liu, Y. Teng, S. Ma, "Design, synthesis of novel 4,5-dihydroisoxazole-containing benzamide derivatives as highly potent FtsZ inhibitors capable of killing a variety of MDR *Staphylococcus aureus*," *Bioorganic & Medicinal Chemistry*, vol. 28, no. 115729, pp. 1-16, 2020.
- [16] A. D. B. Gabriela, A. P. Aguiar, C. E. Martins, R. N. J. Maria, "Synthesis of 3-furanyl-4,5-dihydroisoxazole derivatives via cycloaddition and their antibacterial evaluation," *Letters in Drug Design Discovery*, vol. 16, no. 3, pp. 364-369, 2019.
- [17] J. Sowdari, S. Thata, Y. Gudi, P. Venkatapuram, P. Adiviredd, "Synthesis of amide-linked benzazolyl isoxazoles adopting green methods and evaluation as antimicrobials," *Journal of Heterocyclic Chemistry*, vol. 57, pp. 1882-1892, 2020.
- [18] M. Pir, H. Agirbas, F. Budak, O. Sahin, "Synthesis, characterization, antimicrobial activity and QSAR studies of some new 6-substituted phenyl 3-(4-chlorophenyl)-3a,4,8,8a-tetrahydro-[1,3,2]dioxaborepino[5,6-d]isoxazoles," *Heteroatom Chemistry*, vol. 28, no. 2, e21363, 2017.
- [19] N. S. Hosmane, *Boron science. New technologies and applications*, 1st ed., US: CRC Press, 2012, pp. 45-50.
- [20] B. T. Cho, "Recent advances in the synthetic applications of the oxazaborolidine-mediated asymmetric reduction," *Tetrahedron*, vol. 62, no. 33, pp. 7621-7643, 2006.
- [21] Y. K. Zhang, J. J. Plattner, T. Akama, S. J. Baker, V. S. Hernandez, V. Sanders, Y. Freund, R. Kimura, W. Bu, K. M. Hold, X. S. Lu, "Design and synthesis of boron-containing PDE4 inhibitors using soft-drug strategy for potential dermatologic anti-inflammatory application," *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*, vol. 20, no. 7, pp. 2270-2274, 2010.
- [22] R. L. Papke, G. Zheng, N. A. Horenstein, L. P. Dwoskin, P. A. Crooks, "The characterization of a novel rigid nicotine analog with $\alpha 7$ -selective nAChR agonist activity and modulation of agonist

properties by boron inclusion,” *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*, vol. 15, no. 17, pp. 3874-3880, 2005.

[23] K. Barral, S. Priet, C. D. Michelis, J. Sire, J. Neyts, J. Balzarini, B. Canard, K. Alvarez, “Synthesis and antiviral activity of boranophosphonate isosteres of AZT and d4T monophosphates,” *European Journal of Medicinal Chemistry*, vol. 45, no. 2, pp. 849-856, 2010.

[24] R. Trivedi, E. R. Reddy, C. K. Kumar, B. Sridhar, K. P. Kumar, M S. Rao, “Efficient synthesis, structural characterization and antimicrobial activity of chiral aryl boronate esters of 1,2-O-isopropylidene- α -D-xylofuranose,” *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*, vol. 21, pp. 3890-3893, 2011.

[25] Y. K. Zhang, J. J. Plattner, Y. R. Freund, E. E. Easom, Y. Zhou, J. Gut, P. J. Rosenthal, D. Waterson, F. J. Gamo, I. A. Barturen, M. Ge, Z. Li, L. Li, Y. Jian, H. Cui, H. Wang, J. Yang, “Synthesis and structure-activity relationships of novel benzoxaboroles as a new class of antimalarial agents,” *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*, vol. 21, pp. 644-651, 2011.

[26] S. Song, P. Gao, L. Sun, D. Kang, J. Kongsted, V. Poongavanam, P. Zhan, X. Liu, “Recent developments in the medicinal chemistry of single boron atom-containing compounds,” *Acta Pharmaceutica Sinica B*, 2021;10.1016/j.apsb.2021.01.010.

[27] I. R. V. Valdez, M. N. Rosalez, J. M. Q. Santiago, D. F. G. Eunice, A. S. U. Marvin, “Docking simulations exhibit Bortezomib and other boron-containing peptidomimetics as potential inhibitors of SARS-CoV-2 Main Protease,” *Current Chemical Biology*, vol. 14, pp. 279-288, 2020.

[28] Y. S. Kara, “Nitril oksit ve amidoksim kullanılarak yeni hetero halkalı bileşiklerin sentezi,” Doktora tezi, Kimya Bölümü, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, 2009.

[29] CLSI. Methods for dilution antimicrobial susceptibility tests for bacteria that grow aerobically: Approved Standard, M-7, A-7, Wayne: PA, USA, Clinical Laboratory Standards Institute, 2006.

[30] CLSI. Performance standards for antimicrobial susceptibility testing. Fifteenth Informational Supplement, CLSI-M110-S15, CLSI, Wayne: PA, USA, Clinical Laboratory Standards Institute, 2005.

[31] CLSI. Reference method for broth dilution antifungal susceptibility testing of yeast: Approved Standard, M27 A2, 2nd ed. CLSI, Wayne: PA, USA, Clinical Laboratory Standards Institute, 2002.

[32] HyperChem for Windows, Computer Program, 7.2 version, Georgia, (USA): Hypercube, Inc., Gainesville, FL, 2002.

[33] H. M. Patel, M. N. Noolvi, P. Sharma, V. Jaiswal, S. Bansal, S. Lohan, S. S. Kumar, V. Abbot, S. Dhiman, V. Bhardwaj, “Quantitative structure-activity relationship (QSAR) studies as strategic approach in drug discovery,” *Medicinal Chemistry Research*, vol. 23, pp. 4991-5007, 2014.

[34] C. Huang, M. J. Embrechts, N. Sukumar, C. M. Breneman, “Data fusion and auto-fusion for quantitative structure-activity relationship (QSAR). Artificial neural networks-ICANN,” *17th International Conference*, 2007, pp. 9-13.

[35] S. Özden, R. Ertan, E. Akı-Şener, İ. Yalçın, D. Nebioğlu, E. Büyükbingöl, H. Göker, İ. Yıldız, T. G. Altuntaş-Dinlenç, M. Tunçbilek, G. Ayhan-Kılıçgil, S. Ölgen, S. Süzen, Ö. Temiz-Arpaç, C. Kuş, O. Bozdağ-Dündar, B. Tekiner-Gülbaş, Z. Ateş-Alagöz, *Farmasötik Kimya Pratikleri 1-2*, 1. baskı, Ankara, Türkiye: Ankara Üniversitesi Basımevi, 2004, böl. 4, ss. 63-95.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

İkinci Mertebe Limit Yükün Hesabı İçin Bir Yük Artımı Yöntemi

 Nursel KÜTÜK^{a,*}

^a İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Gaziantep Üniversitesi, Gaziantep, TÜRKİYE

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

DOI: 10.29130/dubited.943806

ÖZ

Bu çalışmada, düzlem çerçeve sistemlerde ikinci mertebe limit yükün hesabı için geliştirilen bir yük artımı yöntemi verilmiştir. Yöntem sistemin özelliklerinden bağımsız olup, varsayımlar kısmındaki koşulları sağlayan bütün düzlem çerçeve sistemlere uygulanabilmektedir. Yöntemin daha önce yapılmış olan çalışmalardaki yöntemlerden farkı plastik kesit oluşumlarını izleyen analizlerin, özel bir yazılıma gerek kalmaksızın doğrusal hesap yapabilen yazılımlar kullanılarak yapılabilmesi, oluşan plastik kesitlerdeki akma koşullarının da plastik dönmeye ait eğilme momenti tesir çizgisi yardımı ile ayrı olarak denge denklemlerini de içerecek şekilde yazılabilesidir. Yöntemin geliştirilmesinde, malzemenin elastoplastik davranışı ve geometri değişimlerinin denge denklemlerine etkisi dikkate alınmıştır. İkinci mertebe limit yükün hesabında eğilme momenti ile birlikte normal kuvvetin akma koşuluna etkisi gözönüne alınmıştır. Önerilen yöntem ile sistem denklem takımının stabilitesi bozuluncaya kadar işlemlere devam edilerek toplam yük parametresine karşılık gelen sistemin yani ikinci mertebe limit yüke ait moment diyagramı elde edilerek işlem sonlandırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: *Yük Artımı Yöntemi, Limit Yük, İkinci Mertebe Yükleme*

A Load Increment Method for the Calculation of Second Order Limit Load

ABSTRACT

In this study, a new load increment method has been given for the calculation of second order limit load of plane frames, assuming the plastic hinge concept. The load increment method is applicable to all plane frames under the certain assumptions. The main differences between the method developed here and the previous studies is that the given method doesn't need any special software and the yield conditions can be written separately and also they include the equilibrium equations indirectly. In the development of the method, the elastoplastic behavior of the material and the effect of geometry changes on the equilibrium equations were taken into calculation. In the calculation of the second order limit load, the effect of the normal force on the yield condition together with the bending moment is taken into account. With the proposed method, the process was continued until the stability of the system equation set was broken, and the moment diagram of the system corresponding to the total load parameter, namely the second order limit load, was obtained and the process was ended.

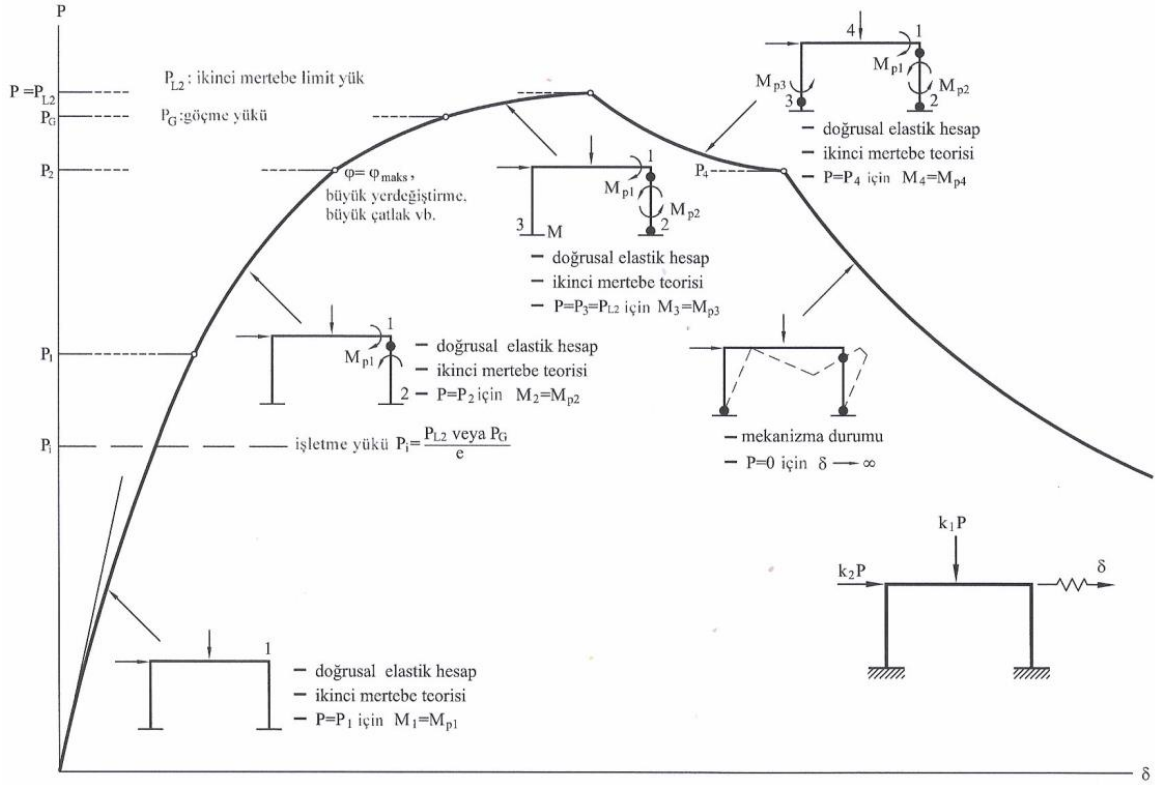
Keywords: *Load Increment Method, Limit Load, Second Order Loading*

I. GİRİŞ

Malzeme davranışının ideal elastoplastik olarak kabul edildiği sünek malzemeden yapılmış yapı sistemlerinde plastik mafsallara hipotezi geçerlidir. Bu teoriye göre doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin plastik mafsallara adı verilen belirli kesitlerde toplandığı sistemin bu kesitler dışındaki bölgelerinde ise doğrusal elastik davranış olduğu kabul edilmektedir. Yumuşak çelikten yapılmış yapı sistemleri sünek kabul edilmekle birlikte, betonarme sistemlerin sünek davranış göstermesi için belirli koşulların gerçekleşmesi gerekmektedir. Bunlardan en önemlileri, betonun sargılanması ve betonarme kesitlerde beton basınç bölgesi derinliğinin(a) kesit yüksekliğine(h) oranının 0.25'ten küçük olması gerekmektedir. Bilindiği gibi basınç donatısı sünekliği artırırken kesitteki normal kuvvetin büyüklüğü sünekliği azaltmaktadır.

İdeal elastoplastik malzemeden yapılmış sünek yapı sistemleri limit yüke ulaşıncaya kadar göçmeden yükleri taşıyabilmektedir. Limit yükün hesabında genellikle iki yoldan yararlanılmaktadır. Birinci yolda, mekanizma durumu bilinen veya tahmin edilen sistemlerde üst sınır teoremine göre ve virtüel iş prensibi ile limit yük doğrudan hesaplanabilmektedir. Ancak bu yöntemlerin olumsuz tarafı büyük yapı sistemlerinde çok sayıda olası mekanizma durumlarının bulunması ve plastik mafsalların hangi sırada oluştuğu bilinmediğinden plastik mafsallara dönemlerinin ve yer değiştirmelerin hesabının zor olmasıdır. Limit yük hesabında en etkin yöntem yük artımı yöntemidir. Bu yöntemde, işletme yükleri verilen bir güvenlik katsayısı ile çarpılarak hesap yüklerine geçilmekte, daha sonra yükler artırılarak plastik mafsallara oluşumları izlenmektedir. Yöntemin olumlu tarafı hem plastik mafsallara oluşumlarının izlenebilmesi, hem de her adımda plastik mafsallara dönemlerinin ve yer değiştirmelerin kolaylıkla hesaplanabilmesidir. Yük artımı yöntemlerinde yüklerin bir yük parametresi ile orantılı olarak değiştiği kabul edilmektedir. Bazı durumlarda düşey yüklerin değişme olasılığı az olduğundan düşey yükler sabit tutularak artan yatay yükler için de hesap yapılabilmektedir. Limit yük hesabı birinci mertebe teorisine göre yapılabildiği gibi ikinci mertebe etkilerin önemli olduğu narin yapı sistemlerinde bu etkileri göz önüne alarak da hesap yapılabilmektedir. Birinci mertebe teorisine göre yani doğrusal teoriye göre sistemin taşıyabileceği yüke limit yük, yer değiştirmelerin denge denklemlerine etkilerinin de dikkate alındığı ikinci mertebe teorisine göre bulunan limit yüke de ikinci mertebe limit yük denilmektedir. Limit yükün yük artımı yöntemi ile hesabında normal kuvvetin akma koşullarına etkisi de kolaylıkla göz önüne alınabilmektedir. Bu durumda akma koşulları eğilme momenti ile birlikte normal kuvvete de bağlıdır ve bu tip kesitler için çıkarılan karşılıklı etki diyagramları kullanılmaktadır. Aslında doğrusal olmayan söz konusu akma koşulları doğrulardan oluşacak şekilde idealleştirilerek hesaplarda kullanılabilir. Bu durumda her yük artımı adımında oluşan plastik mafsallara, normal kuvvetin de etkisini belirtmek üzere plastik kesit adı verilmektedir.

İkinci mertebe limit yükün belirlenmesinde yer değiştirmelerin denge denklemlerine etkisi ve iki yük artımı arasında sistem davranışının normal kuvvetlerin değişmesi nedeni ile doğrusal olmaması nedenleri ile limit yükün hesabı daha karmaşık olmaktadır. İkinci mertebe limit yükün hesabı ile ilgili tipik P- δ diyagramı da Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. İkinci mertebe teorisine göre limit yük – yer değiştirme diyagramı [1].

Diyagramdaki karakteristik özellik iki mafsallı oluşumu arasındaki davranışın, normal kuvvetin değişimi nedeniyle doğrusal olmaması ve eğrinin bir tepe noktasından geçmesidir. İkinci mertebe limit yükün hesabında $P-\delta$ eğrisi, sistem mekanizma durumuna gelmesiyle taşıma gücüne erişerek bir maksimumdan geçebileceği gibi, oluşan belirli sayıda plastik mafsallar nedeniyle rijitliği azalan sisteme ait denklem takımının determinantının negatif olması ile de limit yüke ulaşabilir. Yapı sistemlerinde normal kuvvetler denge denklemlerine bağlı olduğundan ve hesap yüklerine ait normal kuvvetler de başlangıçta tahmin edilebildiğinden, normal kuvvetlerin sabit alınması durumunda limit yüke karşı gelen normal kuvvetler ve hesap yüküne karşı gelen normal kuvvetler eşit olacaktır. Normal kuvvetlerin sabit alınması ile iki mafsallı oluşumu arasındaki hesap adımı, hesabın ikinci mertebe teorisine göre yapılması ve normal kuvvetin sabit alınması ile doğrusallaştırılabilmektedir. Ayrıca, düşey yüklerin sabit tutularak artan yatay yükler için hesap yapıldığında, normal kuvvetin bir kattaki toplamı değişmediğinden davranış yine doğrusal olmaktadır.

Özer [2] düzlem çelik yapı sistemlerinin ikinci mertebe limit yüklerinin hesabı için bir yöntem önermiştir. Yöntemde sabit düşey yükler ve orantılı olarak artan yatay yükler için hesap yapılmakta ve iki mafsallı oluşumu arasında normal kuvvetin değişmediği kabulü ile doğrusal hesap yapılabilmektedir. Yöntemde, normal kuvvetin akma koşuluna etkisi de dikkate alınmakta ve hesaplarda uzama şekil değiştirmelerinin etkisi de dikkate alınmaktadır. Yöntemde denge denklemleri düğüm noktalarının yer değiştirmelerine bağlı olarak matris yer değiştirme yöntemi ile yazılmakta, oluşan her plastik mafsallı oluşumundan sonra mafsallı denge denklemlerine ve akma koşuluna etkisini temsil eden bir denklem mevcut denklem sistemine ilave edilmektedir. Böylece plastik kesit dönmeleri de mevcut bilinmeyenlere ilave edilmekte ve her adımda düğüm noktalarının yer değiştirmeleri ile birlikte plastik kesit dönmeleri de elde edilmektedir. Her adımda yeni bir bilinmeyen ve denklem ilavesi nedeniyle denklem takımının boyutu büyümekte ancak tüm denklem takımının indirgenmesine gerek kalmadan sadece yeni ilave edilen denklemin elenmesi ile çözüme ulaşılmaktadır. Her adımda kontrol edilen denklem sisteminin determinantının negatife geçmesi durumunda ikinci mertebe limit yüke ulaşıldığı anlaşılmaktadır [2].

İrtem [3] ise Özer [2] tarafından geliştirilen yük artımı yöntemini çelik uzay yapı sistemlerine uyarlamış ve uzay çelik yapı sistemlerinde ikinci mertbe limit yükün bulunması için bir yük artımı yöntemi önermiştir. Yöntemde iki doğrultudaki eğilme momentleri ile birlikte normal kuvvetin de akma koşullarına etkisi göz önüne alınmaktadır. Üç adet kesit zoruna bağlı karşılıklı etki yüzeyleri düzlemlerden oluşacak şekilde doğrusallaştırılmaktadır.

Girgin [4] ise İrtem [3] tarafından önerilen yük artımı yöntemini uzay betonarme yapı sistemlerinin ikinci mertbe limit yüklerini bulmak üzere geliştirmiştir. Yöntemin esasları Özer ve İrtem [2, 3] tarafından verilen yöntemlere benzerdir.

Bu çalışmada önerilen yöntemde ise denge denklemlerinin elde edilmesinde farklılık olmakla birlikte yük artımı yönteminin genel esasları yukarıda verilen çalışmalardaki yöntemlerle benzerdir. Bu çalışmada denge denklemleri matris deplasman yöntemi ile doğrudan yazılması yerine kuvvet yöntemindeki süperpozisyon denklemlerine benzer şekilde elde edilmektedir. Mafsalsız sistemlerde dış yüklerden ve herhangi bir hesap adımında önceden oluşan plastik mafsal dönmelerinin birim değerlerinden oluşan ve denge denklemlerini sağlayan iç kuvvet durumları sistemin söz konusu yüklemeler için analizi sonucu kolaylıkla elde edilebilmektedir. Denge denklemlerinin ayrıca yazılması yerine sistem hesabının kullanıldığı yöntem, doğrusal yapı analizi yapabilen herhangi bir yazılımdan yararlanmaya açık olduğundan oldukça pratiktir. Denge denklemleri yerine sistem hesabı sonucu elde edilen iç kuvvetlerden yararlanılan yöntemde akma koşulları da bu iç kuvvetlere bağlı olarak süperpozisyon ile kolaylıkla yazılabilmektedir. Her adımda akma koşullarını içeren denklem sayısı artmakta ancak yeni çözüm önceki adımda indirgenen denklem sisteminden yararlanılarak kolayca elde edilmektedir. Akma koşullarını içeren denklemler, sistem analizlerinden elde edilen iç kuvvetlere bağlı olarak ve ayrı ayrı yazılabildiğinden, yük artımı yönteminin otomatik olarak yapılması API (Application Program Interface) kodlu bir yazılım da kullanılarak daha etkin hale getirilebilir. Yöntemde her adımda akma koşullarını içeren ve plastik mafsal dönmelerine bağlı olarak yazılan denklemlerin determinantının negatife geçmesi ile ikinci mertbe limit yüke ulaşıldığı anlaşılmaktadır. Daha önce yapılan çalışmalardaki denge denklemlerinin elenmesi ile bu çalışmadaki akma koşullarını içeren denklem takımı aynen elde edilebilmektedir. Bu da yöntemin doğruluğunu kanıtlamaktadır. Yöntem, İrtem ve Girgin [3, 4] tarafından uzay sistemler için önerilen yöntemlere de direkt olarak uygulanabilir.

II. YÖNTEM

A. VARSAYIMLAR

Bu bölümde, yapı sistemlerinde ikinci mertbe limit yükün hesabı amacıyla geliştirilen bir yük artımı yönteminin esasları ve uygulanması açıklanacaktır. Yöntem aşağıda sıralanan varsayımlara dayanmaktadır.

- a- Yapı sistemi düzlem çubuk sistemdir.
- b- Malzeme ideal elastoplastik davranış göstermektedir.
- c- Sistemin doğru eksenli, sabit enkesitli çubuklardan oluştuğu ve normal kuvvetin çubuk boyunca değişmediği kabul edilmiştir. Sistemde eğri eksenli ve değişken kesitli çubukların bulunması durumunda, söz konusu çubuklar doğru eksenli küçük parçalardan oluşacak şekilde idealleştirilebilir.
- d- Lineer olmayan eğilme ve uzama şekildeğiştirmelerinin plastikleşen kesit adı verilen belirli kesitlerde toplandığı, bunun dışındaki bölgelerde sistemin lineer-elastik davrandığı (plastik mafsal teorisi) kabul edilmiştir.
- e- Plastik mafsallar sadece çubuk uçlarında veya tekil yüklerin olduğu noktalarda oluşmaktadır.
- f- İkinci mertbe limit yükün hesabında düşey yüklerin sabit kalarak yatay yüklerin bir yük parametresi ile arttığı kabul edilmiştir.
- g- İkinci mertbe teorisinde; geometri değişimlerinin denge denklemlerine etkisi gözönüne alınmakta, geometrik uygunluk koşullarına etkisi terkedilmektedir.

- h- Akma koşullarında eğilme momentinin etkisi ile birlikte normal kuvvetin etkisi de hesapta dikkate alınmıştır. Ayrıca akma eğrisi doğru parçalarından oluşacak şekilde idealleştirilmiştir.
- i- Sistemin şekildeğiştirmesi sırasında yüklerin doğrultularının değişmediği kabul edilmiştir.

B. YÖNTEMİN ESASLARI

Üzerinde belirli sayıda plastik mafsalsız yapı sisteminde herhangi bir kesitteki eğilme momenti kuvvet yöntemindeki süperpozisyon ifadesine benzeyen bir ifade ile

$$M = M_{\Phi=0} + \sum (M_{\Phi_i=0} * \Phi_i) \quad (1)$$

şeklinde elde edilebilir. Burada,

$M_{\Phi=0}$: Bütün mafsalsız dönmeleri sıfır iken dış yüklerden meydana gelen moment diyagramını

$M_{\Phi_i=0}$: Dış yükler sıfır iken, plastik mafsalsız dönmelerinin birim değerinden meydana gelen moment diyagramını

Φ_i : Bilinmeyen plastik mafsalsız dönmelerini göstermektedir.

Dış yüklerden ve oluşan plastik mafsalsız dönmelerinin birim değerlerinden meydana gelen kesit zorları herhangi bir yapı analizi programı ile kolayca elde edilebilir. Plastik mafsallarda birim dönme yüklemesi yapmak yerine, mafsalsızın bulunduğu çubukta mafsalsızın birim dönmelerinden meydana gelen ankastrelik uç kuvvetlerinin yüklenmesi daha pratik olmaktadır. SAP2000 programında çubuk ankastrelik uç kuvvetleri dışarıdan girilemediğinden, söz konusu uç kuvvetler ters işaretli düğüm noktası yükü olarak girilmiş, kesit zorları diyagramları elde edildikten sonra, plastik mafsalsızın bulunduğu çubuğun uç momentlerinde düzeltme yapılmıştır. Böylelikle sistemin geometrisi, mekanik özellikleri ve yükleri programa bir kez tanıtıldıktan sonra plastik mafsalsız dönmelerinden meydana gelen düğüm noktası yükleri farklı yükleme durumları olarak tanımlanmıştır. Böylece sistemin sadece yüklemeleri değişmekte, farklı yükleme durumları tanıtılması ile çözüm tek seferde elde edilmektedir. İkinci mertebeli teorisinin uygulandığı durumlarda sabit düşey yükler ve artan yatay yükler kattaki normal kuvvetlerin toplamı değişmediğinden, normal kuvvetlerde doğrusallaştırılabilmektedir. Normal kuvvetler büyük ölçüde denge denklemlerine bağlı olduğundan hesap yüküne karşı gelen normal kuvvetler için hesap yapıldığında sonuç çok fazla değişmemektedir. Bu durumda, söz konusu normal kuvvetler ikinci mertebeli etkilerin önemli olduğu çubuklara P-Delta kuvveti olarak girilerek ikinci mertebeli teorisine göre hesap yapılmaktadır. Birim dönmelerden meydana gelen etkiler için normal kuvvete bağlı ikinci mertebeli teoriye ait ankastrelik uç kuvvetlerinin dış yük olarak verilmesi yeterli olmaktadır [2, 6].

Yöntemin ilk adımında düzlem çerçeve sistemin plastik mafsalsız oluşmadan önceki hali için yük parametresinin birim değerinden meydana gelen moment diyagramı sistemdeki düşey ve yatay yükler için ayrı ayrı olmak üzere iki şekilde elde edilir ($M_{\Delta\rho=1}$). Elde edilen moment diyagramlarına göre plastik mafsalsız oluşabilecek her kesit için aşağıda kolon ve kiriş için verilen ifadelerle göre araştırma yapılarak, en küçük yük parametresi ile ilk plastik kesitin yeri ve oluştuğu yük parametresi bulunur.

Yük parametresinin tayini için kolonlarda,

$$|M_d + M_{y,\Delta\rho=1} * \Delta\rho_1| + a * |N_d + N_{y,\Delta\rho=1} * \Delta\rho_1| = |M_p| \quad (2)$$

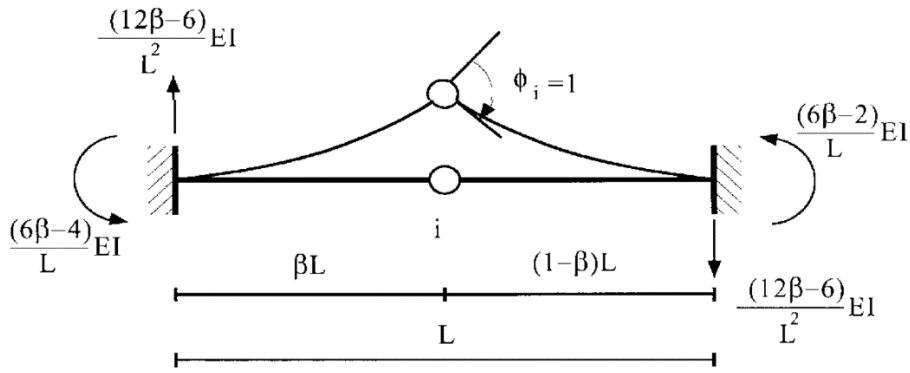
Kirişlerde,

$$|M_d + M_{y,\Delta\rho=1} * \Delta\rho_1| = |M_p| \quad (3)$$

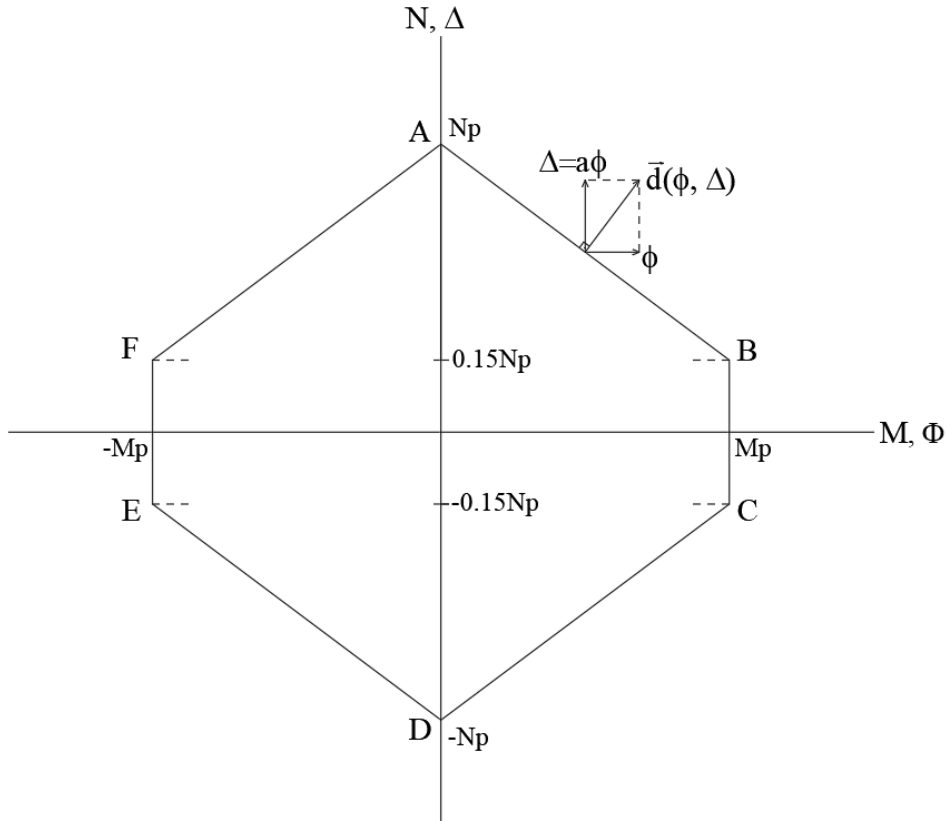
ifadeleri kullanılır.

Bulunan yük parametresi ile sistemin yatay yükleme için yük parametresinin birim değerinden meydana gelen moment diyagramı ($M_{\Delta p=1}$) çarpılarak, sistemin düşey yükleme için yük parametresinin birim değerinden meydana gelen moment diyagramı toplanarak ilk adımdaki eğilme moment diyagramı oluşturulur. Oluşan plastik kesitlerdeki akma koşulları plastik dönmeye ait eğilme momenti tesir çizgisi yardımı ile ayırık olarak denge denklemlerini de içerecek şekilde yazılır [7].

Akma koşullarının yazılması ile bir sonraki yük parametresinin elde edilmesi için plastik mafsallarda SAP2000 programında ankastrelilik uç kuvvetleri ters işaretli halleriyle birlikte tanımlanır. Buna ek olarak kolonlarda SAP2000 programında P- δ kuvvet yüklemesi kullanılarak oluşan normal kuvvetler için yük tanımlaması yapılır. Bu yüklemeler sonucunda çözüm yapılarak plastik mafsallarda birim dönmeye ait eğilme moment diyagramı elde edilir. SAP2000 programında yine ankastrelilik uç momentleri süperpozisyonlarında gözönüne alınmadığından plastik mafsallarda bulunan çubukların uç kuvvetleri doğru olarak elde edilemediği için bu çubuklarda bir uç momentini düzeltmesi yapılır. Birim dönmeye ait meydana gelen ankastrelilik uç kuvvetlerinin ilave edilmesi ile düzeltme gerçekleştirilir.



Şekil 2. Birim mafsallarda dönmeye ait oluşan ankastrelilik uç kuvvetleri [5].



Şekil 3. İdealleştirilmiş akma eğrisi [2].

Akma koşulu için yazılan denklem takımlarındaki a değeri malzeme ve kesit karakteristiklerine bağlı sabit bir katsayı olup Şekil 3'te verilen doğrusallaştırılmış M-N karşılıklı etki diyagramından elde edilir. Birinci plastik mafsalsın olduğu kesite ait akma koşulu kolonlarda,

$$M_{\Phi_1=1} + a * N * \Phi_1 + M_{\Phi=0} = 0 \quad (4)$$

Kirişlerde,

$$M = M_{\Phi_1=1} * \Phi_1 + M_{\Phi=0} = 0 \quad (5)$$

olmalıdır. Birinci plastik mafsalsın dönmesi (Φ_1) ile plastik mafsalsın birim dönmesinden elde edilen eğilme moment diyagramı ($M_{\Phi_1=1}$) çarpılarak, düzlem çerçeve sistemin plastik mafsalsın oluşmadan önceki hali için yatay yüklemeyen dolayı yük parametresinin birim değerinden meydana gelen moment diyagramı ($M_{y,\Delta\rho=1}$) ile aşağıdaki ifadede belirtildiği gibi toplanarak elde edilen eğilme momenti diyagramı çizilir.

$$M_d + M_{y,\Delta\rho=1} + M_{\Phi_1} \quad (6)$$

Yukarıda birinci plastik mafsala veya plastik kesite ait akma koşulu kolonlar ve kirişler için ayrı ayrı genelleştirilirse kolonlarda genel akma koşulu ($i=1, n$),

$$\sum_{j=1}^n (M_{i,\Phi_j=1} + a N_{i,\Phi_j=1}) * \Phi_j + (M_{i,\Phi=0} + a N_{i,\Phi=0}) = 0 \quad (7)$$

Kirişlerde genel akma koşulu ($i=1, n$),

$$\sum_{j=1}^n (M_{i,\Phi_j=1} * \Phi_j) + M_{i,\Phi=0} = 0 \quad (8)$$

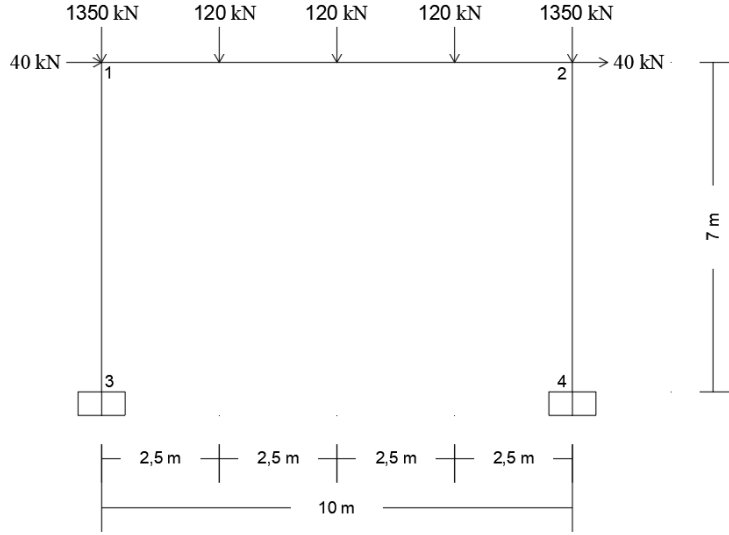
şeklinde verilebilir. Herhangi bir yük artımı adımımda, akma koşullarını sağlayan (Φ) plastik dönmeleri bulunduktan sonra, sistemin herhangi bir k kesitindeki toplam eğilme momenti değeri ise,

$$M_k = M_{d,k} + M_{y,k,\Delta\rho=1} + \sum_{j=1}^n (M_{k,\Phi_j=1} * \Phi_j) \quad (9)$$

süperpozisyon ifadesi ile hesaplanabilir. Herhangi bir yük artımı adımımda bulunan plastik mafsalsın dönmeleri, bir önceki adımdakilerle ters işaretli ise sistemin ikinci merteye limit yüke ulaştığı anlaşılır ve hesaba son verilir.

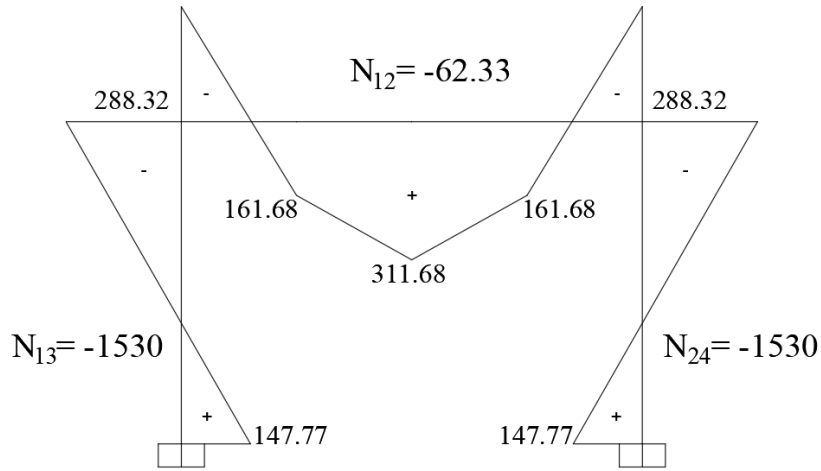
III. YÖNTEMİN UYGULANMASI VE BULGULAR

[2]'de verilen tek katlı çerçevenin ikinci merteye limit yükü, verilen yöntemle elde edilmiştir. Çerçeveye ait geometrik boyutlar, dış yükler, plastik moment değerleri ve kritik kesitler Şekil 4'te gösterilmiştir. Plastik moment değerleri ve eğilme momentleri; $M_p(\text{kolon}) = 775.7 \text{ kNm}$, $M_p(\text{kiriş}) = 526.6 \text{ kNm}$, $EI(\text{kolon}) = 121130 \text{ kNm}^2$, $EI(\text{kiriş}) = 101220 \text{ kNm}^2$ olarak verilmiştir.

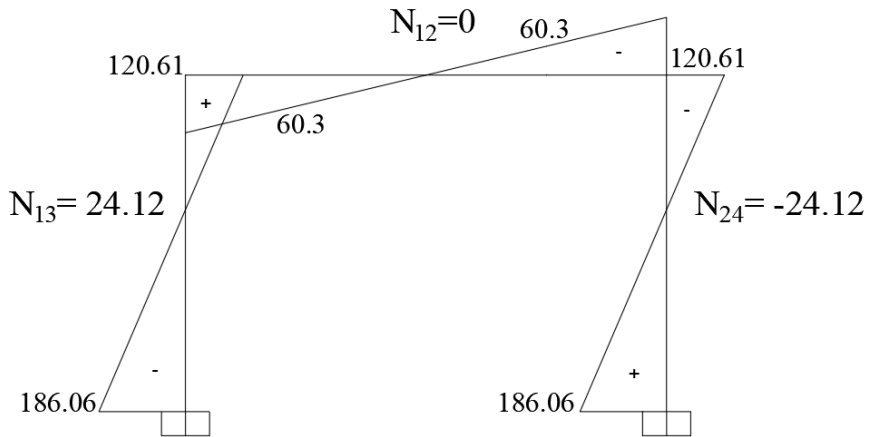


Şekil 4. Tek katlı çerçeve sistem [1].

Sistemin dış yük parametresinin birim değeri için çözüm SAP2000 [8] programı ile düşey yükler için ayrı yatay yükler için ayrı yapılarak kritik kesitlerdeki eğilme momentleri elde edilmiştir. Düşey yüklemeler Şekil 5'te ve yatay yüklemeler Şekil 6'da gösterildiği gibi çözüme ulaşmıştır ($M_{\Delta\rho=1}$).



Şekil 5. Düşey yükler için eğilme momenti diyagramı.



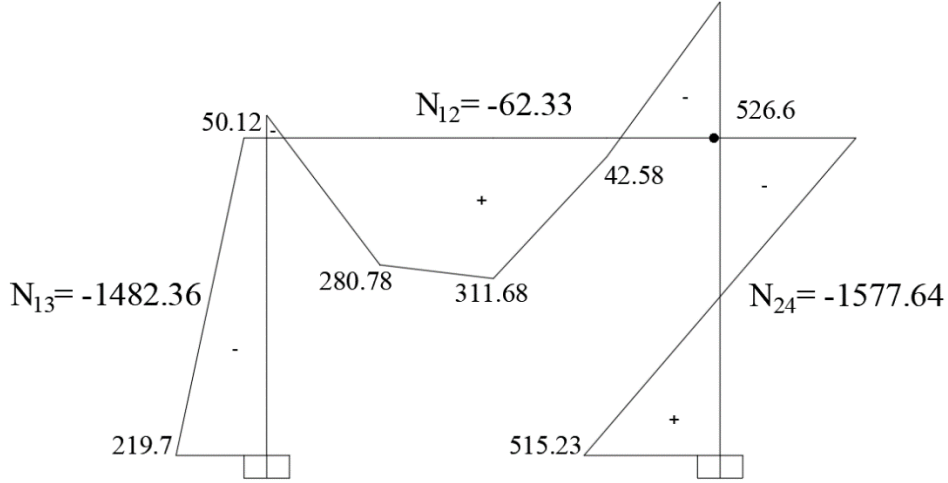
Şekil 6. Yatay yükler için eğilme momenti diyagramı.

Birinci plastik mafsal kirişin sağ ucunda oluşmakta ve yük parametresi,

$$|M_d - M_y \Delta\rho_1| = M_p$$

$$|-288.32 - 120.61\Delta\rho_1| = 526.6$$

$\Delta\rho_1 = 1.975$ olarak elde edilmiştir. Bu adımdaki eğilme momenti diyagramı Şekil 7’de verilmiştir ($M_{\Delta\rho=1.975}$).



Şekil 7. Birinci limit yük parametresinden oluşan moment diyagramı.

Birinci plastik mafsal için kirişte yüklemeler ankastrelik uç kuvvetleri dikkate alınarak SAP2000 programında yöntemde ifade edildiği gibi işaretlere dikkat edilerek Şekil 8’de gösterildiği gibi yapılmıştır. İkinci derece etkilerden dolayı kolonlar için SAP2000 programında yükleme yapılırken Şekil 9’da gösterildiği gibi ayrı bir yük tanımı yapılmıştır. Yapılan bu yüklemeler sonucunda birinci plastik mafsalın birim dönmesinden dolayı oluşan eğilme momenti diyagramı Şekil 10’da görüldüğü gibi elde edilmiştir ($M_{\phi_1=1}$).



Şekil 8. Birinci plastik mafsalın birim dönmesinden oluşan ankastrelik uç kuvvetleri.

Assign Frame Initial P-Delta Forces

P-Delta Force Type

Force

X Projection

Y Projection

Z Projection

Coordinate System for Projected Forces

Direction

Initial Force

Force kN

Options

Add to Existing Forces

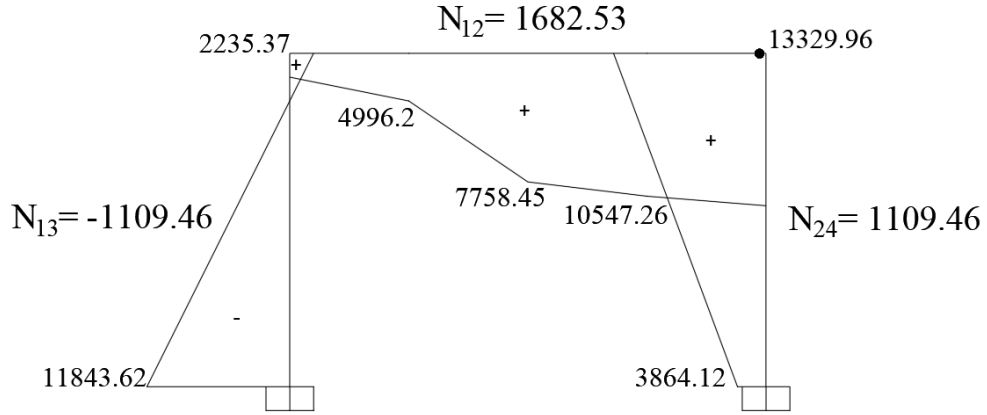
Replace Existing Forces

Delete Existing Forces

Reset Form to Default Values

OK Close Apply

Şekil 9. Kolonlar için yüklemeler (P-Delta).



Şekil 10. Birinci plastik mafsalin birim dönmesinden oluşan moment diyagramı.

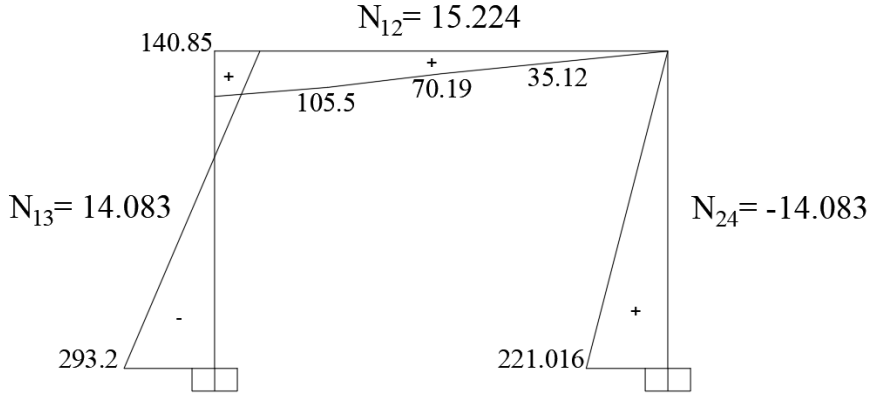
Birinci plastik mafsalin oluştuğu kesit için akma koşulu, Şekil 8'de verilen kirişin sağ ucundaki plastik mafsalin birim dönmesinden meydana gelen momentlere bağlı olarak yazılırsa,

$$|M_{\Phi_1=1}\Phi_1 + M_y| = 0$$

$$13329.96 \Phi_1 - 120.61 = 0$$

$$\Phi_1 = +9.047 * 10^{-3}$$

olarak elde edilmiştir. Bu dönmeye karşılık gelen moment değerleri Şekil 11'de verilmiştir ($M_{\Delta\rho=1} + M_{\Phi_1=+9.047*10^{-3}}$).



Şekil 11. Birinci plastik mafsaldan kaynaklı moment diyagramı.

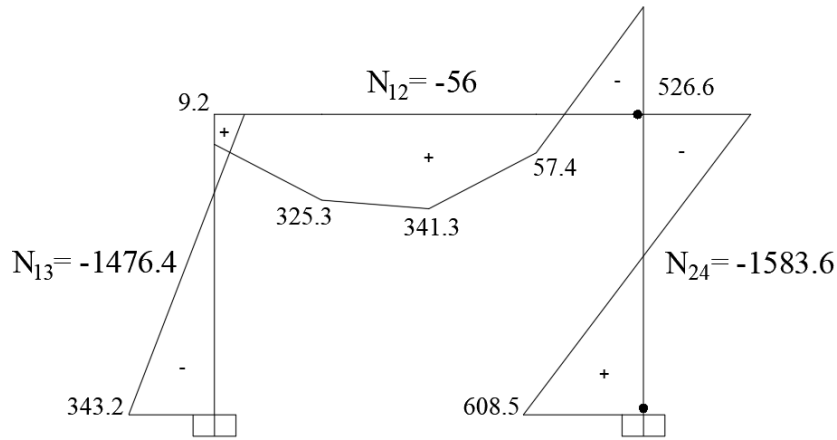
İkinci plastik mafsaldan kaynaklı yük parametresi araştırma ile,

$$|M_{\Delta\rho=1.975} + (M_{\Delta\rho=1} + M_{\Phi_1=+9.047*10^{-3}})\Delta\rho_2| + a|N_{\Delta\rho=1.975} + (N_{\Delta\rho=1} + N_{\Phi_1=+9.047*10^{-3}})\Delta\rho_2| = M_p$$

$$|515.23 + 221.016 \Delta\rho_2| + 0.192| - 1577.64 - 14.083 \Delta\rho_2| = 912.6$$

$$\Delta\rho_2 = 0.422$$

olarak elde edilmiştir. Sistemde sağ kolonun alt ucunda Şekil 12’de görüldüğü gibi ikinci plastik mafsaldan oluşmuştur ($M_{\Delta\rho=1.975} + 0.422[M_{\Delta\rho=1} + M_{\Phi_1=+9.047*10^{-3}}]$).



Şekil 12. İkinci limit yük parametresinden kaynaklı moment diyagramı.

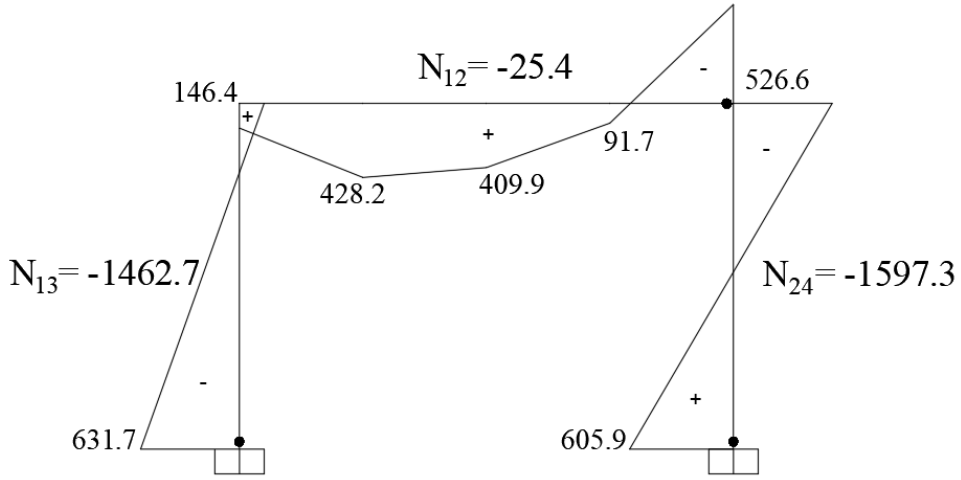
Birinci plastik mafsaldan yapılan hesap adımları yine ikinci plastik mafsaldan içinde tekrarlanarak hesaba devam edilmiştir. Daha sonra üçüncü plastik mafsaldan kaynaklı yük parametresi araştırma ile,

$$|M_{\Delta\rho=1.975} + (M_{\Delta\rho=1} + M_{\Phi_1=+11.1*10^{-3}} + M_{\Phi_2=-7.56*10^{-3}})\Delta\rho_2| + a|N_{\Delta\rho=1.975} + (N_{\Delta\rho=1} + N_{\Phi_1=+11.1*10^{-3}} + N_{\Phi_2=-7.56*10^{-3}})\Delta\rho_2| = M_p$$

$$| - 343.2 - 484.5 \Delta\rho_3| + 0.192| - 1476.4 + 23.272 \Delta\rho_3| = 912.6$$

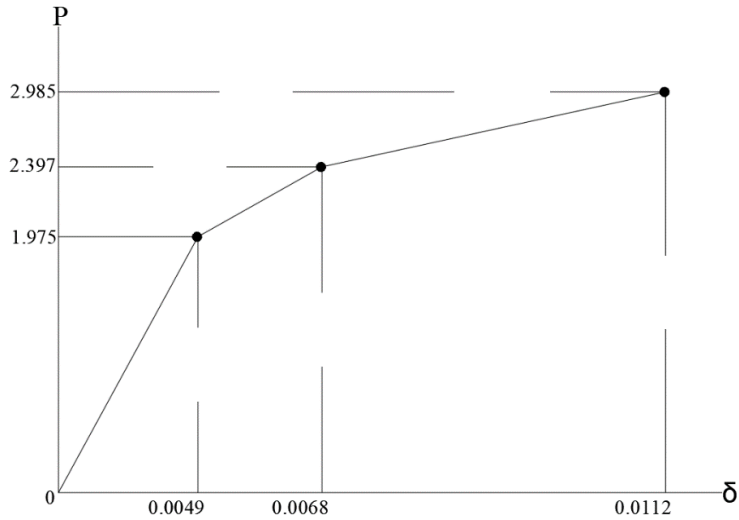
$$\Delta\rho_3 = 0.588$$

olarak elde edilmiştir. Sistemde sol kolonun alt ucunda Şekil 13’te görüldüğü gibi üçüncü plastik mafsaldan oluşmuştur ($M_{\Delta\rho=2.397} + 0.588[M_{\Delta\rho=1} + M_{\Phi_1=+11.1*10^{-3}} + M_{\Phi_2=-7.56*10^{-3}}]$).



Şekil 13. Üçüncü limit yük parametresinden oluşan moment diyagramı.

Yöntemdeki hesap adımları tekrarlanarak üçüncü plastik mafsallın oluştuğu kesit için akma koşulu plastik mafsallın birim dönmesinden meydana gelen momentlere bağlı olarak yazıldığında dönmeler $\Phi_1 = -0.3$; $\Phi_2 = +0.23$; $\Phi_3 = -0.27$ şeklinde elde edilmiştir. Düzlem çerçeve sistem, son adımdaki dönmelerin diğer adımlardaki dönmelerden farklı yani ters işaretlisi çıkmasından da anlaşılacağı üzere ikinci mertbe limit yüke ulaştığı gözlemlenmiştir. Sistemin limit yük parametresi, $P_L = 2.985$ olarak elde edilmiştir. Sistemin limit yüküne karşılık gelen yatay yer değiştirmesi Şekil 14'te gösterilmiştir.



Şekil 14. Limit yük - yer değiştirme diyagramı.

Literatürden alınan bu örnek için elde edilen değerler Tablo 1'de gösterildiği gibi karşılaştırılmıştır [2]. Önerilen yöntem ile elde edilen limit yük parametresi ve dönme değerleri sonuçları doğrularak, bu yeni yöntemin ikinci mertbe limit yükün hesabında kullanılabileceği gösterilmiştir.

Tablo 1. Limit yük parametresi ve dönme değerleri.

Adım No	Bu Çalışmada Limit Yük Parametresi	Özer [2] Limit Yük Parametresi	Bu Çalışmada Dönme Değerleri	Özer [2] Dönme Değerleri
1	1.975	1.975	+9.047*10 ⁻³	+9.0411*10 ⁻³
2	0.422	0.422	+11.1*10 ⁻³ -7.56*10 ⁻³	+11.1069*10 ⁻³ -7.5563*10 ⁻³
3	0.588	0.588	-300*10 ⁻³ +230*10 ⁻³ -270*10 ⁻³	-306.855*10 ⁻³ +235.707*10 ⁻³ -278.113*10 ⁻³

IV. SONUC

Bu çalışmada, düzlem çerçeve sistemlerin ikinci mertebeli limit yüklerinin hesabı için yeni bir yük artımı yöntemi önerilmiştir. Önerilen yöntemde, [2]'de verilen yöntemden farklı olarak, denge denklemleri düğüm noktası yer değiştirmeleri ve plastik mafsallı dönmeleri cinsinden direkt olarak yazılmamış, kuvvet yöntemindeki süperpozisyon denklemine benzer bir ifade ile mafsalsız sistemde dış yüklerden ve birim plastik mafsallı dönmeleri cinsinden, sistemin dış yükler ve plastik mafsalların birim dönmeleri için analizinden elde edilmiştir. Akma koşulları da analizlerden elde edilen kesit zorlarına bağlı olarak direkt ve denge denklemlerini de içerecek şekilde elde edilmiştir. Böylece ikinci mertebeli limit yükün hesabı özel bir yazılıma gerek olmadan yapılabilmektedir. Yöntemin bazı avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- 1- Akma koşulları sistemin çok sayıda yük vektörü için analizinden elde edildiğinden işlem hızı yüksektir.
- 2- SAP2000 gibi ticari yazılımların çoğunda API (Application Programming Interface) desteği olduğundan ardışık olarak yapılacak analiz ve akma koşullarının yazılarak çözülmesi işlemleri kolay ve hızlı bir şekilde yapılabilmektedir.
- 3- Akma koşullarının ve normal kuvvetin denge denklemlerine etkilerinin doğrusallaştırılması nedeni ile yöntem ikinci mertebeli limit yük hesabına uygun bir şekilde uygulanabilmektedir.
- 4- Yöntem akma koşullarının ve normal kuvvetin denge denklemlerine etkisinin doğrusallaştırılabildiği üç boyutlu çerçevelerin ikinci mertebeli limit yüklerinin hesabına da uygulanabilir.
- 5- Bilindiği gibi, yüksek modların hesaba etkisinin fazla olduğu sistemlerde kullanılmak üzere çok modlu yük artımı yöntemleri geliştirilmiştir. Yöntem, verilen varsayımlar altında düzlem veya üç boyutlu sistemler için çok modlu yük artımı yöntemlerine de uygulanacak şekilde geliştirilebilir.
- 6- Sistemdeki mafsallar dışında kalan düğüm noktalarının yer değiştirmeleri de, her adımda plastik dönmeler belli olduğundan, kesit zorlarında olduğu gibi, süperpozisyonla kolaylıkla elde edilebilir.
- 7- Önerilen yöntem ile API yazılımı kullanarak verilen yük artımı yönteminin otomatik hale getirilmesi mümkündür.

TEŞEKKÜR: Bu çalışmada katkılarından dolayı Prof. Dr. Engin Orakdoğen'e teşekkürlerimi sunarım.

V. KAYNAKLAR

- [1] E. Özer ve E. Orakdoğen, İleri Yapı Statiği Ders Notları, *Ders Notları*, İstanbul, 2009.

- [2] E. Özer, “İkinci mertebe limit yükün hesabı için bir yük artımı yöntemi,” Profesörlük tezi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 1985.
- [3] E. İrtem, “Uzay Çubuk Sistemlerde İkinci Mertebe Limit Yükün Hesabı İçin Bir Yük Artımı Yöntemi,” Doktora tezi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 1991.
- [4] K. Girgin, (1996). “Betonarme Yapı Sistemlerinde İkinci Mertebe Limit Yükün ve Göçme Güvenliliğinin Belirlenmesi İçin Bir Yük Artımı Yöntemi,” Doktora tezi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 1996.
- [5] E. Orakdöğen, “A Matrix Displacement Formulation For Minimum Weight Design of Frames,” *Structural Engineering and Mechanics*, vol. 14, no. 4, pp. 473-489, 2002.
- [6] E. Özer, “Determination of Second Order Limit Load By A Method of Load Increments,” *Bulletin of Technical University of Istanbul*, vol. 40, no. 4, pp. 815-836, 1987.
- [7] G. Türkmen, “Tesir Çizgilerinin ve Tesir Yüzeylerinin Mevcut Bir Yapı Analizi Programıyla Doğrudan Elde Edilmesi,” Yüksek lisans tezi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2011.
- [8] SAP2000 Integrated Software for Structural Analysis and Design, Computers and Structures Inc, Bilgisayar Programı, V20, California: CSI, 2020.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Çok Katmanlı Algılayıcı ile Ağ Trafik Sınıflandırma Analizi

 Kurban KOTAN ^a,  Bayram KOTAN ^a,  Serdar KIRIŞOĞLU ^b

^a Elekt.-Elektro. ve Bil. Mühendisliği ABD, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

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

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

DOI: 10.29130/dubited.980594

ÖZ

Çevrimiçi ağ trafiği sınıflandırması, uzun vadeli ilginin odak noktası olmaya devam ediyor. Ağ trafiğini izleme ve ağ trafiği analizi birçok farklı yoldan yapılabilir. Ağ trafiğini izleme, hizmet kalitesi (QoS) için ham veri girişi sağlar ve bu da ağ analistine ağ kaynaklarını nasıl kullandığını anlama ve ağ performansını belirleme olanağı sağlar. Bu bilgi ile ağ analisti, ağ kaynaklarını kontrol etmek ve yönetmek için QoS politikalarını belirleyebilir. Ağ trafiğinin izlenmesi akademik araştırma için modeller oluşturmak için de kullanılabilir. Bu makalede derin öğrenme algoritması kullanılarak ağ trafiğini doğru şekilde sınıflandıran bir makine öğrenme yaklaşımı sunulmuştur. Aynı zamanda bu çalışmada diğer makine öğrenme algoritmaları ile karşılaştırmalar yapılmıştır. Çok Katmanlı Algılayıcı (MLP), ağın sınıflandırıcısını oluşturmak için kullanılmıştır. Deneysel sonuçları derin öğrenme algoritmasının diğer algoritmalarından daha iyi sonuç verdiğini ve sınıflandırmada %99,0233 Detection Rate (DR) değerine, %78,3941 doğruluğa (ACC) sahip olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Sinirsel Ağ, Makine Öğrenmesi, Yapay Zekâ, Trafik Sınıflandırması, KDD CUP99 veri seti.

Network Traffic Classification Analysis with Multi-Layer Sensor

ABSTRACT

Online network traffic classification remains the focus of long-term interest. Network traffic monitoring and network traffic analysis can be done in many different ways. Monitoring network traffic provides raw data input for quality of service (QoS), which gives the network analyst the ability to understand how it uses network resources and determine network performance. With this information, the network analyst can set QoS policies to control and manage network resources. Network traffic monitoring can also be used to build models for academic research. In this article, a machine learning approach that correctly classifies network traffic using a deep learning algorithm is presented. At the same time, comparisons were made with other machine learning algorithms in this study. Multi-Layer Perceptron (MLP) was used to construct the classifier of the network. Experiment results showed that the deep learning algorithm gave better results than other algorithms and had a Detection Rate (DR) value of 99.0233% and an accuracy of 78.3941% (ACC) in classification.

Keywords: Neural Network, Machine learning, Artificial Intelligence, Traffic Classification, KDD CUP99 dataset

I. GİRİŞ

İnternet, giderek daha büyük miktarda veri ve dijital medya iletişimi içeren ve her gün dünya çapındaki tüm işletmeler için muazzam gelirler sağlayan, büyüyen ve her yerde bulunan ağlara dönüşmektedir. Veri iletimi basit protokollerle yönetilir; İletim Kontrol Protokolü (TCP) ve Kullanıcı Datagram Protokolü (UDP); bunlar işlevselliği olmayan trafik üzerinde izleme, inceleme ve akıllı kontrol olmadan işlem görür [1]. İşletmeler ve hükümetler ağ trafiğini sınıflandırmak ve izlemek, kaynaklarını yönetmek, yatırımlarını ve çıkarlarını korumak ister. Bundan dolayı olası anormallikleri tespit etmek için uygulamalara ihtiyaç duyarlar. Genel olarak, İnternet trafiği, çeşitli ağları, ana bilgisayarları, uygulamaları ve birbirleriyle etkileşime giren farklı istemcileri içeren karmaşık bir sistemin ürünüdür.

Ağ trafiği sınıflandırması (izleme) günümüzde akademik çalışmalarda büyük ilgi görmektedir [2-6]. Trafik akışlarının üretim uygulamalarına göre sınıflandırılması, QoS kontrolü, izinsiz giriş tespiti ve yasal müdahale gibi güvenlik ve ağ yönetiminde çok önemli bir yere sahiptir [7]. Günümüzde milyarlarca cihaz İnternet kaynaklarını kullanmaktadır [8]. Her cihaz, diğer cihazlara bağlantı için talepler gönderir ve internet üzerinden veri alışverişi yapar. Sonuç olarak, büyük miktarda ağ trafiği üretirler, bu nedenle sadece QoS için veya kaynakların kullanılabilirliğini sağlamak için değil, aynı zamanda bilgilerin verimli bir şekilde işlenmesi için de sınıflandırma gereklidir.

Veri örneklerinin elle etiketlenmesi çoğunlukla yorucu, zaman kaybı ve maliyetlidir. Bu karmaşıklık, her gün çok çeşitli ağ uygulamaları üretilmesiyle sürekli artmaktadır. Bu nedenle öğrenebilecek ve uygulayabilecek bir sisteme ihtiyacımız vardır. Bu bağlamda, makine öğrenimini uygulamak daha yararlı olacaktır [9].

Ağ izleme, port tabanlı trafik sınıflandırma yöntemleri, yüke dayalı sınıflandırma yöntemleri (Derin paket incelemesi) ve akış özelliklerine göre sınıflandırma yöntemleri (Makine öğrenimi ve istatistiksel özellik) ile başarılıdır [10]. Trafik sınıflandırmasına olan ilgi arttıkça, birçok sınıflandırma yöntemi bu alana uygulanmıştır [11, 12]. Port tabanlı yöntem, ağ trafiği sınıflandırması için en iyi tekniklerden biri olarak bilinmektedir [13]. Bu yöntem ilk önce İnternet Atanmış Numaralar Kurumu'na (IANA) kayıtlı olan ağ bağlantı noktalarını kullanır. Bununla birlikte, bu yöntem kayıtsız port numarası kullanan ve dinamik bağlantı noktası numaralandırması kullanan Noktadan Noktaya (P2P) uygulamaları yüzünden ağ trafiğini doğru şekilde sınıflandıramamaktadır [2]. Yüke dayalı yöntemler daha iyi sınıflandırma sonuçları verir. Ancak, bu yöntem şifreli yük yani şifreli veriyi barındıran paketler yüzünden ağ trafiğini sınıflandırmamaktadır. Birçok ağ uygulaması verileri korumak için şifreleme kullanmaktadır [14, 15]. Ağ trafiğini izlemek için makine öğrenmesi kullanılarak birçok ağ sınıflandırma yöntemi önerilmiştir. Bu çalışmada Ağ trafiği Derin Öğrenme algoritması ile sınıflandırılmış ve bu alanda çok kullanılan diğer algoritmalar ile performans karşılaştırmaları yapılmıştır. Derin Öğrenme, trafik sınıflandırmasında çok kesin sonuçlar vermektedir [13]. Bu yöntem, bilinmeyen trafik sınıflarını sınıflandırmak için eğitim ve test veri kümelerini kullanır.

Bir ağdaki tüm paketlerin trafiğini aynı anda izlemek kolay değildir [16]. Üst üste gelen protokoller veya protokol katmanlaması, özelliklerin hızlı izlenmesini ve çıkarılmasını zorlaştırır. Bu çalışma, bu gibi zorlukların üstesinden gelmek için, derin öğrenme algoritmasını kullanmak en iyi çözümlerden biri olduğunu ortaya koymuştur.

Bu çalışmanın temel amacı, derin öğrenme algoritmasını ağ trafiği sınıflamasına uygulamak ve sonuçları değerlendirmektir. Bu hedefe ulaşmak için aşağıdaki hedefler göz önünde bulundurulmalıdır:

- Derin öğrenme kullanarak ağ trafiğini sınıflandırmak için mevcut yöntemleri incelemek.
- Tanımlanan taksonomiye belirlemek ve avantajı ve dezavantajları sağlamak.
- Tanımlanan metodun performansını değerlendirmek ve diğer metotlarla karşılaştırmak.

II. METOT

A. SINIFLANDIRMA

Ağ İzleme aşağıdaki yöntemlerle sağlanabilir [10, 17]:

- Porta dayalı trafik sınıflandırması
- Yüke dayalı sınıflandırma (Derin paket incelemesi)
- Akış özelliklerine dayalı (Makine öğrenimi ve istatistiksel özellik)

Tablo 1 ağ sınıflarını göstermektedir.

Tablo 1. Ağ Sınıfları [18]

Ağ Sınıfları	Örnek Uygulamalar
BULK	ftp, ftp_data
DATABASE	postgres,sqlnet oracle, ingres
INTERACTIVE	ssh, klogin, rlogin, telnet
MAIL	imap, pop3, smtp
SERVICES	X11, dns, ident, Idap, ntp
WWW	http
P2P	BitTorrent
ATTACK	DoS, Probe
GAMES	Half-Life
MULTIMEDIA	Windows Media Player, Real Time

A. 1. Porta Dayalı Sınıflandırma

Bu, trafik sınıflandırmasını gerçekleştirmenin en eski yoludur. Bunun varsayımı, uygulama sunucularının istemcilerin iletişimi başlatması için iyi bilinen bağlantı noktaları kullanmasıdır. Bu tür portlar, IANA'nın kayıtlı portlar listesine kaydedilmiştir [19]:

80: HTTP
22: SSH
20, 21: FTP
25: SMTP
53: DNS
143: IMAP
161, 162: SNMP

Sunucu, uygulamayı anlamak için TCP/UDP paket başlığını okuması yeterlidir. Mesela TCP akışları için, SYN (senkronize) paketi yeterlidir.

Porta dayalı sınıflandırma uygulaması çok basit ve hızlıdır. Yükü denetlemeye gerek yoktur, paket başlıklarını kontrol etmek yeterli olacaktır. Genellikle güvenlik duvarlarında ve erişim kontrol listelerinde kullanılır. Bununla birlikte, çoğu uygulamanın IANA'ya kayıtlı port numaraları yoktur. İyi bilinen port noktalarına sahip olsalar bile, başka port numaraları kullanabilirler, örneğin port numarası 80'in arkasına saklanabilirler. Bazı durumlarda port numarası rastgele / dinamik olarak tahsis edilir ve porta dayalı sınıflandırma yöntemleri NAT (Ağ Adresi Çeviricisi) ve IP (İnternet Protokolü) tünellerinde başarısız olur.

TCP Segmenti ve UDP Datagram Başlık Formatı [20] Şekil 1'de gösterilmiştir.

TCP Segment Header Format								
Bit #	0	7	8	15	16	23	24	31
0	Source Port				Destination Port			
32	Sequence Number							
64	Acknowledgment Number							
96	Data Offset	Res	Flags			Window Size		
128	Header and Data Checksum				Urgent Pointer			
160...	Options							

UDP Datagram Header Format								
Bit #	0	7	8	15	16	23	24	31
0	Source Port				Destination Port			
32	Length				Header and Data Checksum			

Şekil 1. TCP Segmenti ve UDP Datagramı Başlık Formatı [20]

A. 2. Yüke Dayalı Sınıflandırma

Bu, paketlerin TCP veya UDP yüklerini (data) denetleyen yöntemlerdir ve aşağıdaki özellikleri arar:

- Bilinen protokol davranışları (protokol kod çözme)
- Uygulama özel verileri (desen eşleme)

Ayrıca yükün içeriğini incelediklerinde Derin Paket Denetimi (DPI) yöntemleri olarak da adlandırılırlar [21]. Yüke dayalı sınıflandırma, port tabanlı sınıflamanın yapamadığı birçok protokolü tanımlayabilir ve daha yüksek doğruluk (ACC) oranına sahiptir. Yüke dayalı sınıflandırmada işlem için ilk sekiz paket yeterli olacaktır. Trafik kısa sürede sınıflandırdığı için gerçek zamanlı uygulama da mümkündür. Bu yöntem yükü denetlediğinden şifreli iletişimi sınıflandırmaz. Bu yöntem CPU (Merkezi İşlem Birimi) üzerinde yüksek işlem yükleri oluşturur [22]. Protokol kodu çözme, tüm protokoller hakkında derinlemesine bilgi gerektirdiğinden çok karmaşık bir işlemdir. Sadece çok kullanılan protokol türleri için kullanılır ve bu kod çözümleri güncel tutmak zordur. Yüke Dayalı yöntemler, sınıflandırmada kesin sonuçlar verir. Bununla birlikte, şifreli veri ağı uygulamaları adı verilen birçok ağ uygulaması, verileri korumak için şifreleme kullanır, bu sebepten yüke dayalı yöntemler şifreli ağ paketlerini sınıflandırmada başarısız olmaktadır [2].

A. 3. Akış Özelliğine Dayalı Sınıflandırma

Akış özelliğine dayalı sınıflandırma yöntemleri, yüke dayalı ve porta dayalı sınıflandırma yöntemlerin sorunlarını aşabilir. Protokol/uygulama türünü değerlendirmek için her akışın özelliklerinin istatistiksel özelliklerini kullanır. Bu yöntemler aynı zamanda istatistiksel yöntemler veya makine öğrenme yöntemleri olarak da bilinir. Genel olarak, iki makine öğrenme yöntemi vardır.

A. 3.1. Denetimli Sınıflandırma

Denetimli yöntemlerde, makine “etiketli” veriler kullanılarak eğitilir. Denetimli bir öğrenme algoritması, etiketli eğitim verilerinden yararlanır ve beklenmeyen sonuçların tahmin edilmesine yardımcı olur.

A. 3.2. Denetimsiz Sınıflandırma

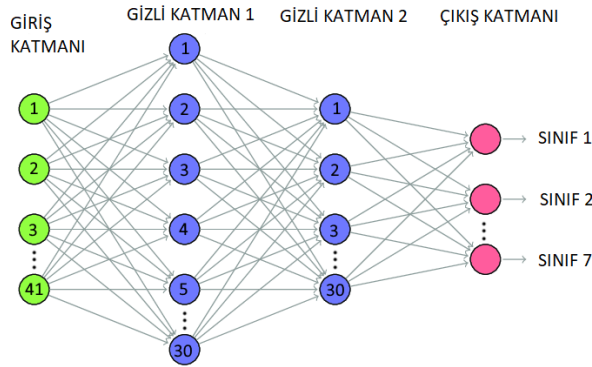
Kümeleme gibi denetlenmeyen yöntemler doğal olarak farklı sınıfları veya hatta yeni uygulamaları ortaya çıkarabilir. Kümelerin etiketlenmesi gerekir, örneğin doğrudan insan tarafından etiketlenebilirler [23].

B. ÖNERİLEN MLP MODELİ

B. 1. KDD CUP 99 Veri Seti:

Askeri bir ağ ortamında simüle edilen ve çok çeşitli müdahaleleri içeren bu veri kümesinde denetlenecek standart veri kümesi vardır. 1999'dan beri, anomali tespit yöntemleri için çığınca kullanılmaktadır. Bu veri seti, DARPA'98 değerlendirme programında yakalanan verilere dayanılarak oluşturulmuştur. DARPA'98 7 haftalık ağ trafiğinden elde edilmiş olup yaklaşık 5 milyon bağlantı kaydı içerir. Her bağlantı yaklaşık 100 bayttır. Veri kümesi ham ikili TCP dökümü verisidir ve yaklaşık 4GB'dir. KDD Cup99 Beşinci Uluslararası Bilgi Keşfi ve Veri Madenciliği Konferansında Üçüncü Uluslararası Bilgi Keşfi ve Veri Madenciliği Araçları Yarışması düzenlenmiş ve ağ saldırı detektörü için bir veri seti kullanılmıştır. Bu veri seti KDD Cup99'dur. Ağ izinsiz giriş dedektörü izinsiz girişleri (veya saldırıları) öngören ve kötü bağlantıları etiketleyerek normal bağlantıları öngörüp normal olarak etiketledikleri şekilde yapılmıştır. Askeri bir ağ ortamında simüle edilen ve çok çeşitli izinsiz girişleri içeren bu veri setinde denetlenecek standart veri kümeleri vardır. 1999'dan beri, anomalilerin tespit yöntemleri için çığınca kullanıldı. Bu veri seti DARPA'98 değerlendirme programında elde edilen verilere dayanarak oluşturulmuştur. DARPA'98 7 haftalık ağ trafiğinden elde edildi. Ve yaklaşık 5 milyon bağlantı kaydı içeriyor. Her bağlantı yaklaşık 100 bayttır. Veri kümesi ham ikili tcp döküm verisidir ve yaklaşık 4 GB'dir. KDD eğitim veri seti yaklaşık 5 milyon bağlantı vektörü içerir. Normal etiketli veya saldırı etiketli her vektör 41 özellik içerir [24].

KDD CUP99 verisinde bulunan 41 tane özellikten dolayı MLP topolojisi 41 düğümlü giriş katmanı, 30'ar düğümlü 2 gizli katman ve sınıf sayısı (7) kadar düğüm barındıran çıkış katmanından oluşur ve Şekil 2'de gösterilmiştir.

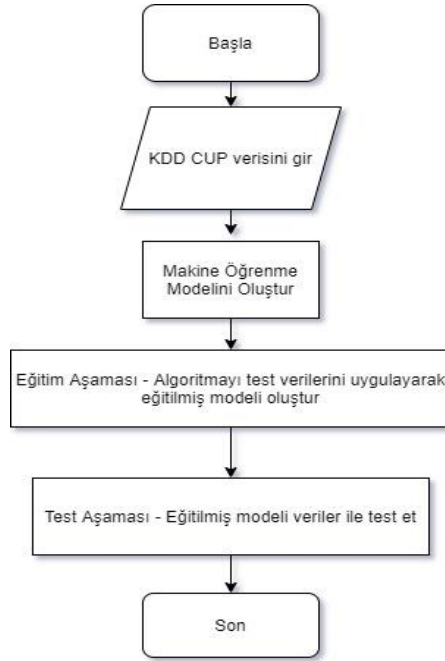


Şekil 2. Önerilen MLP Modeli

MLP modeli seri bir model, aktivasyon fonksiyonu softmax, her iki gizli katmanının aktivasyon fonksiyonu relu, loss fonksiyonu categorical_crossentropy, optimizer'ı adam, metrics'i accuracy, epochs 10 ve batch size'ı 5 seçilmiştir.

III. AKIŞ ŞEMASI

Algoritmaların akış şeması Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Akış Aşaması

C. 1. Ölçütler

İki sınıflı karışıklık matrisi Tablo 2'deki gibidir.

Tablo 2. İki Sınıflı Karışıklık Matrisi

		TAHMİN VERİLERİ	
		Anomaly	Normal
GERÇEK VERİLER	Anomaly	TP	FP
	Normal	FN	TN

C. 1.1. Sensitivity-Detection Rate (DR) – True Positive Rate (TPR)

Duyarlılık, doğru sınıflandırılmış toplam pozitif örnek sayısının toplam pozitif örnek sayısına bölünme oranıdır. Yüksek DR sınıfın doğru tanındığını gösterir [25].

$$DR = TPR = \frac{TP}{P} = \frac{TP}{TP + FN} \quad (1)$$

C. 1.2. Accuracy

Doğruluk, doğru sınıflandırılmış pozitif ve negatif örneklerin toplam sayısının toplam örnek sayısına bölünmesidir [25].

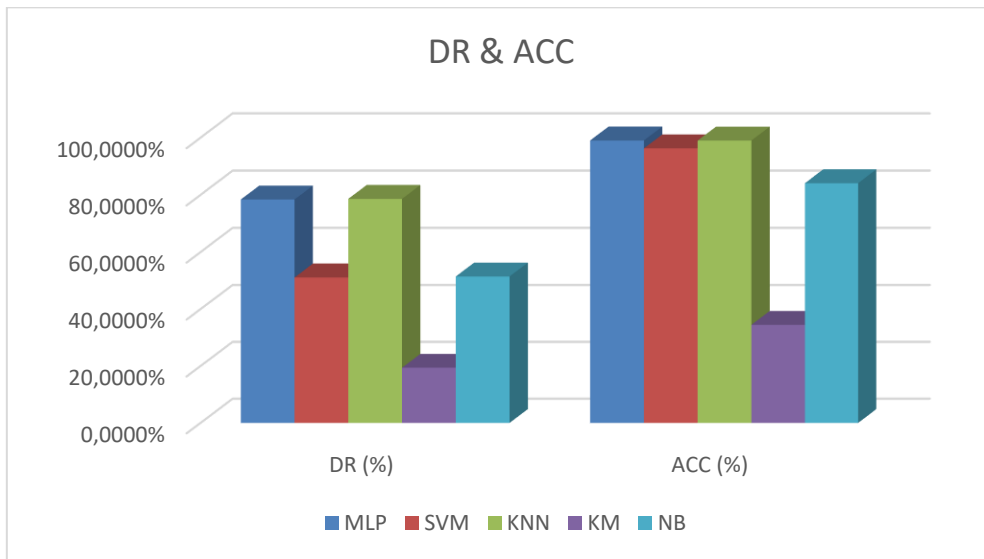
$$ACC = \frac{TP + TN}{Total} \quad (2)$$

D. 1. Deney

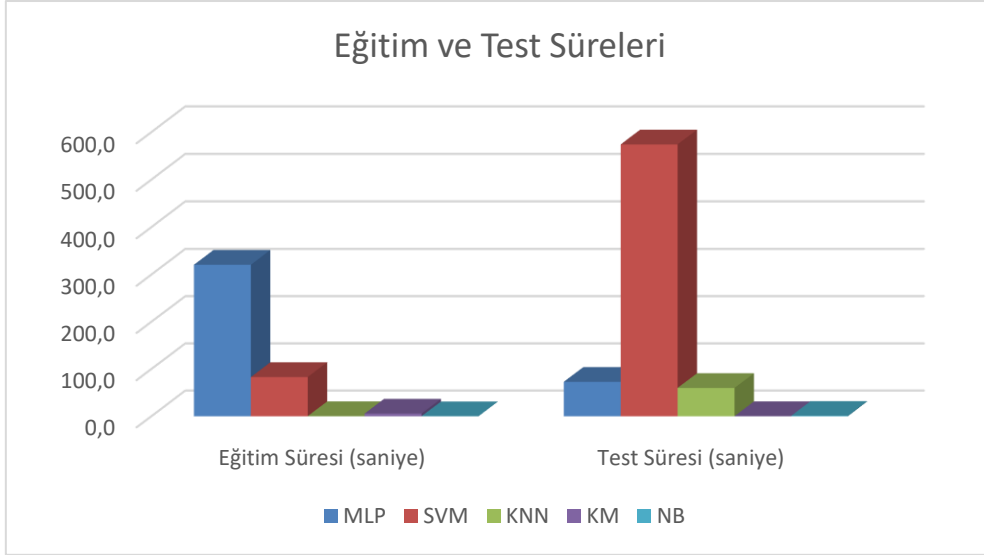
Bu bölümde, MLP, SVM, KNN, KM ve NB algoritmalarını kullanarak ağ trafiğini KDDCUP99 verileri üzerinden sınıflandırmak için deneyler yapılacaktır.

Tablo 3. Deney Sonuçları

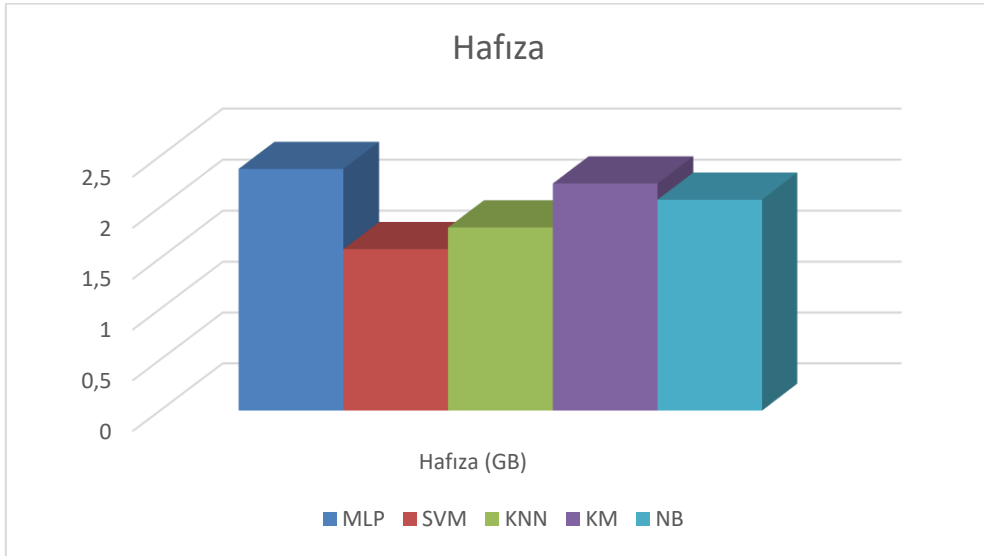
DENEYLER					
	MLP	SVM	KNN	KM	NB
DR (%)	78,3941	51,1479	78,6201	19,4189	51,4787
ACC (%)	99,0233	96,2793	98,9976	36,4961	84,0907
ÇAPRAZ DOĞRULAMANIN ORTALAMASI (%)	98,9200	96,0248	98,1968	4,8519	75,5658
EĞİTİMİ SÜRESİ (SANİYE)	320,818215	83,159853	0,404694	5,799661	0,224237
TEST SÜRESİ (SANİYE)	73,024681	574,283786	60,123494	0,361247	1,064350
HAFIZA(GB)	2,374596	1,588810	1,801605	2,231792	2,073017



Şekil 4. DR & ACC Karşılaştırmaları



Şekil 5. Eğitim ve Test Sürelerinin Karşılaştırmaları



Şekil 6. Bellek Tüketim Karşılaştırmaları

IV. SONUÇ

Ağ izleme, temel bağlanabilirlikten uygulama çıkışına kadar her türlü ağ işlemine yöneliktir. Bu çalışmanın amacı, ağ paketlerini sınıflandırmaya yardımcı olan MLP kullanan bir Ağ İzleme Sistemi önermektir.

Deney sonuçları önerilen MLP modelinin diğer algoritmalarından daha iyi sonuç verdiğini ve sınıflandırmada %99,0233 DR değerine, %78,3941 doğruluğa (ACC) sahip olduğunu göstermiştir. Diğer tüm algoritmalara kıyasla en iyi DR oranını ve KNN algoritmasından sonra en iyi ACC değerini verir.

Yalnız MLP eğitim süresi olarak en yüksek değere sahip ve test süresi olarak ikinci en büyük değere sahiptir. Hafıza olarak da en yüksek hafıza isteyen algoritmadır.

V. KAYNAKLAR

- [1] V. Cerf and R. Kahn, "A Protocol for Packet Network Intercommunication," in *IEEE Transactions on Communications*, vol. 22, no. 5, pp. 637-648, 1974, doi: 10.1109/TCOM.1974.1092259.
- [2] T. Karagiannis, A. Broido, M. Faloutsos, and K. Claffy, "Transport layer identification of P2P traffic," in *Proceedings of the 4th ACM SIGCOMM conference on Internet measurement*, 2004, pp. 121-134.
- [3] Y. Wu, G. Min, K. Li, and B. Javadi, "Performance analysis of communication networks in multi-cluster systems under bursty traffic with communication locality," in *GLOBECOM 2009-2009 IEEE Global Telecommunications Conference*, 2009, pp. 1-6.
- [4] H. Kim, K. C. Claffy, M. Fomenkov, D. Barman, M. Faloutsos, and K. Lee, "Internet traffic classification demystified: myths, caveats, and the best practices," in *Proceedings of the 2008 ACM CoNEXT conference*, 2008, pp. 1-12.
- [5] Y.-s. Lim, H.-c. Kim, J. Jeong, C.-k. Kim, T. T. Kwon, and Y. Choi, "Internet traffic classification demystified: on the sources of the discriminative power," in *Proceedings of the 6th International Conference*, 2010, pp. 1-12.
- [6] T. T. Nguyen, G. Armitage, and tutorials, "A survey of techniques for internet traffic classification using machine learning," vol. 10, no. 4, pp. 56-76, 2008.
- [7] Y. Xiang, W. Zhou, and M. Guo, "Flexible deterministic packet marking: An IP traceback system to find the real source of attacks," vol. 20, no. 4, pp. 567-580, 2009.
- [8] J. Johnson, "Worldwide digital population as of January 2021," 2021.
- [9] J. Korteling, G. van de Boer-Visschedijk, R. A. M. Blankendaal, R. C. Boonekamp, and A. R.. Eikelboom, "Human-versus artificial intelligence," *Front. Artif. Intell.*, vol. 4, 2021.
- [10] S. Ioffe and C. Szegedy, "Batch normalization: Accelerating deep network training by reducing internal covariate shift," in *International conference on machine learning*, 2015, pp. 448-456: PMLR.
- [11] T. Auld, A. W. Moore, and S. F. Gull, "Bayesian neural networks for internet traffic classification," *IEEE Transactions on Neural Networks*, vol. 18, no. 1, pp. 223-239, 2007.
- [12] M. Crotti, F. Gringoli, P. Pelosato, and L. Salgarelli, "A statistical approach to IP-level classification of network traffic," in *2006 IEEE International Conference on Communications*, 2006, vol. 1, pp. 170-176.
- [13] N. Namdev, S. Agrawal, and S. Silkari, "Recent advancement in machine learning based internet traffic classification," *Procedia Computer Science*, vol. 60, pp. 784-791, 2015.
- [14] P. Haffner, S. Sen, O. Spatscheck, and D. Wang, "ACAS: automated construction of application signatures," in *Proceedings of the 2005 ACM SIGCOMM workshop on Mining network data*, 2005, pp. 197-202.
- [15] S. Sen, O. Spatscheck, and D. Wang, "Accurate, scalable in-network identification of p2p traffic using application signatures," in *Proceedings of the 13th international conference on World Wide Web*, 2004, pp. 512-521.



- [16] A. Moore, J. Hall, C. Kreibich, E. Harris, and I. Pratt, "Architecture of a network monitor," in *Passive & Active Measurement Workshop*, 2003, vol. 2003.
- [17] W. Li and A. W. Moore, "A machine learning approach for efficient traffic classification," in *2007 15th International symposium on modeling, analysis, and simulation of computer and telecommunication systems*, 2007, pp. 310-317.
- [18] P. Schneider, "Tcp/ip traffic classification based on port numbers," 1997.
- [19] M. Degermark, B. Nordgren, and S. Pink, *RFC2507: IP header compression*, RFC Editor, 1999.
- [20] T. Porter, "The perils of deep packet inspection," 2005.
- [21] M. Finsterbusch, C. Richter, E. Rocha, J.-A. Muller, K. J. I. C. S. Hanssger, and Tutorials, "A survey of payload-based traffic classification approaches," vol. 16, no. 2, pp. 1135-1156, 2013.
- [22] G. Hinton and T. J. Sejnowski, *Unsupervised learning: foundations of neural computation*, MIT Press, 1999.
- [23] M. Tavallaei, E. Bagheri, W. Lu, and A. A. Ghorbani, "A detailed analysis of the KDD CUP 99 data set," in *2009 IEEE symposium on computational intelligence for security and defense applications*, 2009, pp. 1-6: IEEE.
- [24] W. Stallings, *Network security essentials: Applications and standards, 4/e*, Pearson Education India, 2003.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Dağınık Planlı Kent Dışı Genç Üniversite Yerleşkelerinde Büyüme ve Gelişme: Düzce Üniversitesi Konuralp Yerleşkesi Örneği

 Zelihan GÜNEŞ^{a,*},  Duygu GÖKÇE^b

^a Mimarlık Bölümü, Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

^b Mimarlık Bölümü, Sanat, Tasarım ve Mimarlık Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: zelihan55657@ogr.duzce.edu.tr / guneszeliha30@gmail.com

DOI: 10.29130/dubited.755187

ÖZ

Üniversiteler, mekânsal ve fonksiyonel açıdan farklı düzenlemeler göstererek kent içi ve kent dışı yerleşkeler olarak kurulabilirler. Son yıllarda yapılan bütçe planlamaları, çeşitli sosyal, kültürel, politik ve ekonomik nedenlerden dolayı ülkemizde talep edilen bir düzenleme de, kent dışı dağınık tip üniversite yerleşke modelleridir. Bu tip yerleşkeler, ayrıık yapılaşma nedeniyle, uzun yaya ve araç yollarına bağımlı bir şekilde gelişimlerine devam ederler. Dahası, üniversiteler özerk planlama süreci ve yapılaşmaları gereği, çevrede hâkim olan tipolojik ve morfolojik yapılaşmaya uyum arayışında değillerdir. Bu durum bir yandan tasarım esnekliği açısından bir avantaj yaratırken, diğer yandan da, yerleşke planlaması tasarım sürecinin yönetimini önemli hale getirir. Fakat bu yönde yapılan uygulamalarda tasarımı yönlendirici metodolojik çalışmalar kısıtlı kalmaktadır. Bu çalışmanın amacı da morfolojik bir yaklaşım üzerinden, kampüs gelişim süreçlerini incelemek ve ilgili tasarımı yönlendirici öneriler geliştirmektir. Çalışmanın örneklem alanı olarak, daha önce benzer bir çalışmanın yapılmadığı ve mekânsal açıdan kurulduğu 2006 yılından bu yana birçok değişiklik yaşamış kent dışı dağınık tip Düzce Üniversitesi Konuralp Yerleşkesi seçilmiştir. Analizlerde, mekânsal dönüşümlerin kampüs yaşamına etkileri vurgulanmış, ağırlıklı olarak planlamanın insan hareketlerine, mekânsal ilişkilere, yaya ve araç yollarına etkisi üzerinde durulmuştur. En belirgin etkinin, yerleşke girişlerinin yeniden planlanması neticesinde değişen konfigürasyon kurgusu sonucu ciddi değişimler gösteren sosyal kullanım örüntüleri üzerine olduğu tespit edilmiştir. Değişen ulaşım ağı ile birlikte yapı ve açık alan kullanımları da değişiklik göstermiştir. Çalışma, özellikle genç üniversite yerleşkelerinin planlama ve gelişim süreçlerinde literatürde sıklıkla bahsedilen avantaj ve dezavantajlarını da doğrular niteliktedir. Kampüs değişim sürecinin incelenmesi neticesinde verilen önerilerin de gelecek yıllarda yapılacak kampüs gelişimi süreçlerinde, başta Düzce Üniversitesi olmak üzere, dağınık planlı gelişmekte olan üniversite kampüsleri için yönlendirici olacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Kent dışı üniversite, Dağınık yerleşke, Kampüs, Mekânsal konfigürasyon, Düzce

The Growth and Development of Dispersed Suburban Young University Campuses: The Case of Duzce University Konuralp Campus

ABSTRACT

Universities can be established as urban and suburban settlements displaying very different spatial and functional arrangements. Due to the budget planning scenarios in the recent years and various social, cultural, political, and other economic reasons, the dispersed suburban university campuses are on demand in Turkey. These types of settlements continue their development relying on long pedestrian and vehicle roads due to their separately constructed buildings. Besides, due to their autonomous planning process, the universities do not seek to adapt to typological and morphological character of the surrounding built environment. While this creates an advantage in

terms of the freedom of design, it also makes the management of campus planning and design process critical. However, such methodological studies remain often limited to guide the campus development processes. This study, thus, aims to examine the campus development and design process through the morphological approach and to develop suggestions that guide the relevant design. As a case study, Duzce University Konuralp suburban dispersed settlement that has experienced many changes since its establishment in 2006 and where no similar work has been done before, was chosen. In the analyses, the effects of spatial transformations on campus life were scrutinized, and thus, the focus was mainly on the effects of planning and design on human movements, spatial relations, pedestrian, and vehicle roads. It was determined that the most obvious impact was the change social usage patterns because of the re-planned/located campus entrances. With the changing transportation network, the use of buildings and open spaces also accordingly changed. The results also confirmed the advantages and disadvantages that are frequently mentioned in the literature, especially in the planning and development processes of such young university campuses. It is believed that the suggestions given in this study, can also provide guidance during the campus development process, initially for Duzce University and then similar dispersed suburban young university settlements.

Keywords: Suburban university, Dispersed settlements, Campus, Spatial configuration, Duzce

I. GİRİŞ

Günümüz Türkiye’inde bazı sosyal, idari ve coğrafi nedenlerle üniversite sistemi çeşitlilik arz etmekte, kendi içinde dinamik bir yapıya sahip yeni bir üniversitenin kurulması uzun bir süreç ve aşamalı bir planlamayı beraberinde getirmektedir. Bu bağlamda, farklı fiziksel potansiyele sahip olan kent içi ve kent dışı yerleşkeler belirgin bir ayrım göstermektedir. 1990’lı yılların sonuna kadar üniversiteler kent merkezinde kurulup gelişmeye devam ederken, 2000’li yıllarda apartman tipi denilebilecek küçük üniversiteler şehir merkezlerinde konumlanmıştır; büyüme hedefli kurulan üniversite tipleri ise daha çok şehrin yakın dış çeperlerine yerleştirilmiştir [1]. Günümüzde ise kent nüfuslarının ve öğrenci sayılarının artması, rasyonel kullanım, maliyetin azalması, büyüme ve gelişmeye imkân vermesi, esnek ve disiplinler arası eğitim sağlama, yönetimde bütünlük sağlama gibi sebeplerden ötürü kent dışı dağınık tip yerleşkeler artmaktadır [2].

Kent dışı yerleşkelerin yapım süreci bakımından ilk kurulduğu aşamada planlama ve koordinasyonları kolaydır, fakat ilerleyen süreçlerde kuruluş biçimleri ve gelişim süreçlerinin beraberinde getirdiği, planlama yönetimi ile ilgili sorunlar ortaya çıkabilmektedir [3]. Öncelikli olarak yapı ilişkilerinin kurulmasında aksaklıklar ortaya çıkmakta, kampüse yeni eklenecek birimlerin bütünü bir parçası olma çabası sorgulanabilmektedir. Çok büyük araziler üzerinde kurulduklarından yapılar arasında, kullanılmayan tanımsız boşluklar ve âtil mekânlar oluşabilmekte, yapı grupları arasındaki bağlantıyı sağlayan yollar ise yürünebilirlik/ulaşılabilirlik açısından engel olacak seviyelerde uzun olabilmektedir. Kamusal alanları merkeze alan yapılar olsa da kontrollü büyümenin sağlanabilmesi için ortak alanlar arası ilişkilerinde planlamaya dahil edilerek zamanla eklenen yapıların da ortak alanlardan beslenmesi sağlanarak bir yapılaşma zincirinin bir parçası olmaları sağlanmalıdır.

Bu sebeple kent dışı yerleşkeler kuruluş yılları itibari ile devamlı bir planlamaya ihtiyaç duyarlar. Dahası, kentlerin büyümesi ile bu tip üniversite yerleşkelerinin kent ile olan ilişkileri artmakta beraberinde öğrenci ve idari/akademik personel sayılarında da artışa sebep olmaktadır. Artan nüfusları nedeniyle de yeni ihtiyaçlara belirli kısıtlarla cevap vermek durumunda kaldıklarından ani yapılanma kararlarının kontrolü oldukça önemlidir. Bu çerçevede sorunun ekonomik, sosyo-ekonomik, mekânsal, sosyal ve sosyo-kültürel boyutlarını inceleyen çalışmalar yapılmıştır [2]. Bu kapsamda Türkiye’de 20 farklı şehirde yapılan 1994-2018 yılları arasında kent içi ve kent dışı üniversite yerleşkelerini konu alan çalışmaları inceleyen Onsekiz (2018)’in elde ettiği verilere göre çalışmaların büyük çoğunluğunun ekonomik boyutu (%37.1) ele aldığı ve mekânsal boyutun (%11.3) ise en az tartışılan boyut olduğu görülmüştür. Üniversitelerin kurulduğu kentlerde ciddi mekânsal değişimler yarattığı ve kuvvetli mekânsal ilişkiler oluşturduğu göz önüne alındığında konuya gerekli önemin verilmediği ve çalışmaların oldukça az olduğu belirlenmiştir [4].

Yerleşkeler ile ilgili mekânsal çalışmaların azlığı ve ülkemizde dağınık tip yerleşke modelinin artışı sebebiyle, bu makalede kent dışı dağınık tip üniversite yerleşkelerinin mekânsal boyutunun incelenmesi hedeflenmiştir. Ek olarak, üniversite yerleşkeleri ile ilgili yapılan çalışmaların, daha çok kampüs mevcut durumunun tespiti için ya da mevcut durumun iyileştirilmesi üzerine öneriler geliştirmek amacıyla yapıldığı görülmüştür. Bu çalışmaların örneklem alanını ise genellikle yerleşik büyük üniversite kampüsleri oluşturmuştur, yeni açılan ya da açılacak üniversiteler için örnek teşkil etmeleri hedeflenmiştir [5]. Yeni açılan üniversite yerleşkelerini konu edinen çalışmaların ise kampüsün yer seçimi ve inşaatıyla birlikte çevre kent dokusunu nasıl etkilediği üzerine odaklandığı görülmüştür (Ör: [5], [6], [7], [8]). Bu çalışmada ise, morfolojik bir bakış açısıyla, kampüs yerleşkelerinde mekânsal kurgunun değişim süreci değerlendirilecektir. Alanda daha önce benzer bir çalışmanın yapılmadığı göz önüne alınarak ve yeni kurulan bir üniversite olması sebebiyle, ilgili literatüre de bu konuyla ilgili katkı sağlayacak, kent dışı dağınık planlı Düzce Üniversitesi Konuralp Yerleşkesi alan çalışması olarak seçilmiştir. Morfolojik süreç incelemesi üzerinden, kampüsün dönüşüm sürecinin incelenerek, bu süreçte mevcut yapılar arasındaki ilişkilerin, yapı kullanım durumlarının, sosyal alan dağılımlarının, yaya ve araç yolları örüntülerinin nasıl değiştiği ve geliştiği analiz edilmiştir. Sonuçta ise, plan yönetimi ile ilgili öneriler getirilmiştir.

II. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

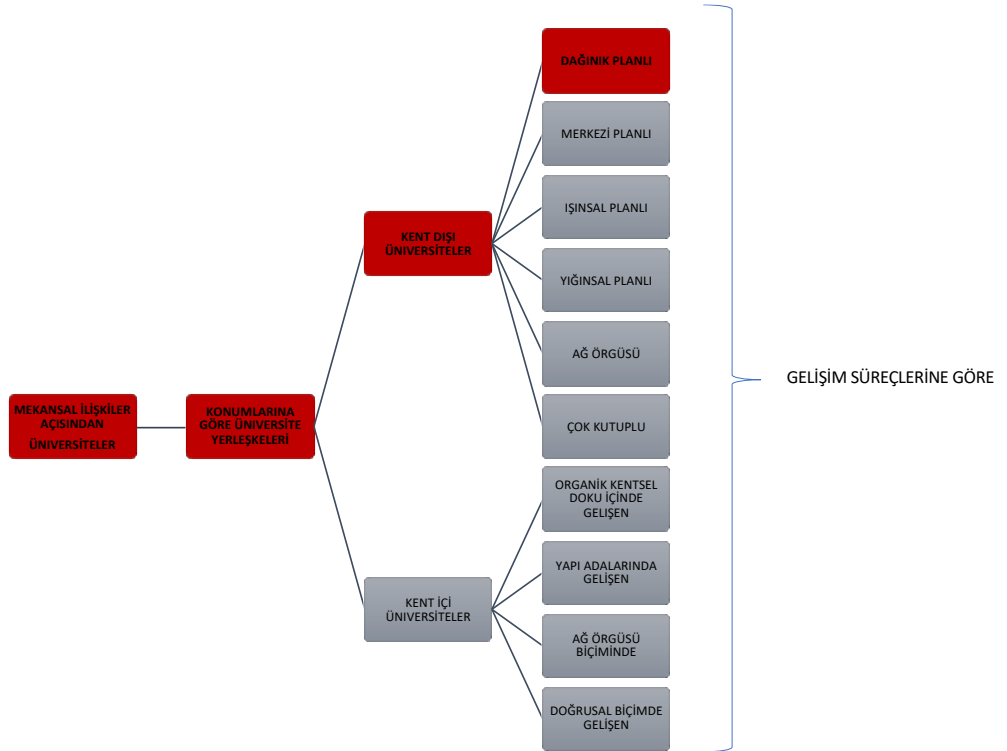
A. ÜNİVERSİTE YERLEŞKE PLANLAMA TARİHİNE GENEL BAKIŞ

Türkiye’de yükseköğretim kurumlarının geçmişi 12.yy’da Anadolu’da görülen medreselere dayanırken, Batı tipi üniversite modelleri 1700 ve 1800’lü yıllarda görülmüştür [9]. Üniversite yerleşkelerinin planlama tarihinde, 1900’lü yıllarda, erken Cumhuriyet döneminde ise, ilk olarak 1933 yılında İstanbul Üniversitesi kurulmuştur. 1946 yılında Ankara Üniversitesi kurularak akabinde Türkiye’nin neredeyse her şehrine en az bir üniversite kurulmasını teşvik eden politikalarla üniversite yerleşke sayıları artırılmıştır [2]. Artan sayılarla birlikte, kampüs planlarının oluşturulması, kullanımı, geliştirilmesi, fonksiyonellikleri vb. üzerinden günümüzde multidisipliner olarak pek çok alanda tartışma alanı olarak yerini bulmuştur.

Üniversite planlamaları ile ilgili sorunlar ülkemiz dışında erken fark edilmiş ve 1933 yılında CIAM’ın (Congres Internationaux d’Architecture Moderne-Uluslararası Modern Mimarlık Kongresi) Atina’da yapılan toplantısında, üniversite yerleşkelerinin nasıl olması gerektiği hakkında planlama önerileri sunulmuştur [1]. Üniversitelerin bağımsız yerleşke modelleri olarak kurulması gerektiği ilk olarak ABD’de ortaya atılmış, aynı akım 1950’lerden sonra tün dünyaya yayılmıştır [9]. Ülkemizde de ilk üniversite gelişim politikaları 1950’li yıllarda başlamıştır. Bu politikalar ise üniversite yerleşkelerini ülke geneline yayarak, bir kalkınma stratejisi olarak bölgeye gelir yaratan, kültürel ve sosyal hareketlilik sağlayan kurumlar olarak kabul edilmesi üzerine geliştirilmiştir [10]. Bu politikaların faydalı bir şekilde uygulanabilmesi için yerleşkelerin sadece eğitim binalarından oluşmaması, sosyal, spor ve rekreasyon alanlarını da bünyesinde barındırması ve tıpkı kalkınma projelerindeki ciddiyetle oluşturulup takip edilmesi gerekmektedir. Bu politikaları takiben, Ege Üniversitesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi ve Atatürk Üniversitesi, 1950’li yıllarda Ankara ve İstanbul dışında kurulan ilk üniversite yerleşkeleri olarak ciddi bir planlama ile oluşturulmuştur [5]. 1960’lı yıllarda kurulmuş olan tek üniversite Hacettepe Üniversitesi iken, 1970 yıllardan itibaren kurulan üniversite sayılarında hızlı bir artış görülmüş, 2000’li yıllara kadar 50’ye yakın devlet üniversitesi kurulmuştur [11]. Üniversite sayılarının hızla arttığı bu dönemde, 1975 yılında, UNESCO tarafından üniversite yer seçimi kararları demografi, sosyal denge, maliyet, diğer temel örgütlenmelerle ilişkiler, teknik koşullar, yerel kaynaklar; coğrafî, biyolojik ve mekânsal karakterler olarak belirlenmiş, özellikle 1975 sonrası kurulan üniversite yerleşkelerinde uygulama imkânı bulmuştur. Türkiye’de gerçekleştirilen yerleşke planlamaları ile birlikte, zamanla birçok yerleşke tipi oluşmuştur. Bu üniversiteler kuruldukları ilk yıllardan itibaren sosyal, siyasi, ekonomik, fiziksel vb. birçok nedenle gelişim sürecine girerek dönüşmüşlerdir. Yatırımlarla, toplumsal ve teknolojik gelişmelerle de sürekli bir değişim ve dönüşüm süreci içindedirler [9].

B. KENT DIŞI ÜNİVERSİTE YERLEŞKE MODELLERİNE GEÇİŞ

Üniversite yerleşkeleri ilk kuruldukları yıllarda kent içinde kentle birlikte yaşayan, ondan etkilenen ve kuvvetli etkileŐimler yaŐarken, 2000'li yıllarda kente yakın ama ondan izole bir yerleşke modeline geŐiŐ göstermiştir. Bu yaklaŐımda 2002 yılında ortaya atılan her Şehir için bir üniversite kurulması politikası da etkili olmuş [12], 2000 yılından günümüze 70'i aŐkın devlet üniversitesi kurulmuştur [11]. Yeni aÇılan fakülteler ile birlikte öğrenci sayılarındaki artış ve kent içindeki yer ve mekân yetersizliği ile birlikte, bazı yerleşkelerin kent dıŐına taşınması veya yine aynı sebeplerle yeni kurulacak yerleşkelerin kent dışında planlanması teşvik edilmiştir. Bunun sonucu olarak da günümüz Türkiye'sinde yerleşkeler kent dışı ve kent işi yerleşkeler olmak üzere iki temel sınıflandırmaya tabi tutulur olmuştur. Şekil 1'de görüldüğü üzere dönüŐümle birlikte ortaya çıkan farklı yerleşim tipolojileri ile birlikte yine kent dışı ve kent işi üniversiteler de kendi alt gruplarında farklılaşma gösterebilir. Fakat bu ŐalıŐmanın konusunu üstte de belirtildiği üzere kent dışı dağınık planlı yerleşke modelleri oluşturmaktadır.



Şekil 1. Üniversite yerleşkeleri sınıflandırılması (Erkman (1990) ve Linde (1971)'den yararlanılarak hazırlanmıştır)

Kente yakın ama izole olma eğilimini takiben, yeni kurulan üniversite yerleşkelerinde daha çk kent dışı modeller benimsenmektedir. Kampüs üniversiteleri olarak da tanımlanan [13], kent dışı üniversite yerleŐkelerine bakıldığında, bu tip üniversitelere yönelimde temel birkaç etken vardır. Öncelikle, üniversite yerleşkeleri barındırdıkları yapı grupları ve aÇık alanlar itibari ile ciddi alanlar kaplamakta olup, bu büyüklük bazı prestij ve siyasi ilgilere de neden olmaktadır. Bu da en baŐından kurulacak bir yerleŐkeyi kent dıŐına iten önemli etkenlerden biri olmuştur. Ek olarak, kent dışı yerleşkeler daha işe dönük ve buldukları kentten daha soyut kurumlar olmuŐlardır [1]. Barınma, spor, rekreasyon, sağlık, eğlence ve eğitim gibi birçok farklı işlevi bir arada gerŐekleŐtirdikleri için kendi kendilerine yeten kurumlar olmaları onları kent dıŐına itmifitir [2]. Fakat kentten ayrı ve kendi kendine yeten kurumlarken, planlamaları ve gelişimlerini takiben, daha çk eklenilebilecek organizasyonlarla kurulmuş olabilir, hatta kentin tamamen dışında kurulup kentin büyümesiyle kent sınırı yakınlarında veya içinde kalabilmektedirler [14]. Kent dışında kalan modellere ilişkin ulaŐımdan zorluğundan kaynaklı dezavantaj ise, teknolojinin gelişmesi ile birlikte zamanla avantaja dönüŐmüŐtür.

Bu tip yerleşkelerin en önemli avantajı, diğer yerleşke tiplerine göre düşük yapı yoğunluğu ile kurulmaları, sonrasında ise gelişimlerine/gelişim hızlarına veya planlama bütçesi vb. gibi etmenlere bağlı olarak yapı yoğunluklarının aşamalı artış gösterebilmesidir. Diğer bir ifadeyle, az yapı bulundurmaları ve bu yapıların ihtiyaç üzerine mevcut boş arazi üzerinde daha esnek bir şekilde konumlandırılabilmeleri, yapım süreci bakımından ilk kurulduğu aşamada planlama ve koordinasyonu kolaylaştırmaktadır. Fakat ilerleyen süreçlerde yapı ilişkilerinin uyumunun sağlanması bir dezavantaja dönüşebilmektedir. Ayrıca bu yerleşkelerde düşük yoğunluklu geniş araziler üzerinden bir yapılaşma söz konusu olduğundan, yapılar arası mesafeler artabilmekte, yürünebilirlik derecesi de dolayısıyla kampüs genelinde azalabilmektedir. Bu aşamada hatta arazi topografyasından bağımsız ya da ikincil bir etken olarak etkilenecek, ortak tesisleri merkezi odakta toplayıp, zamanla çevreye eklenen yapılar kopuk mekânlar oluşturabilmektedir [1]. Bu sebeple, yapılaşma ve yol ağları arası dengenin iyi planlanması gerektiği savunulmaktadır.

Bu çalışmada da üstte bahsedilen çerçeve içerisinde, üniversite yerleşkelerinde kampüs tasarım sürecinin ve planlamasının önemine değinmek ve gelecek yıllarda yapılacak projelere destek olmak amacı ile kampüs içinde zamanla doğan ihtiyaçlara paralel olarak meydana gelen değişimlerin incelenmesi hedeflenmektedir. Çalışmada özellikle genç üniversite yerleşkelerinin planlama ve gelişim süreçlerinde literatürde bahsedilen avantaj ve dezavantajlarının bir örneklem üzerinden irdelenmesi ve öneriler geliştirilmesi önemli görülmüş olup, çalışmanın yöntemi bir sonraki bölümde açıklanacaktır.

III. YÖNTEM

Üstte açıklanan çalışmanın amaç ve hedefleri doğrultusunda, alan çalışması yaklaşımı hedeflenmiştir. Hem yapıyı çevredeki değişimler hem de kampüs kullanıcılarının kampüsü etkin bir şekilde kısa ve uzun vadede deneyimlerine ilişkin etkileri incelemek ve ileride planlama sürecine yol gösterici olmak amacıyla, 2006 yılında kurulan, genç bir üniversite olarak hem eğitim-öğretim hem akademik ve idari faaliyetler hem de bu faaliyetlere ilişkin fiziksel olanakların sağlanması açısından, her geçen yıl artan öğrenci sayısı ve akademik ve idari personel sayıları ile gelişimine aktif olarak devam eden Düzce Üniversitesi Konuralp yerleşkesi örneklem alanı olarak seçilmiştir.

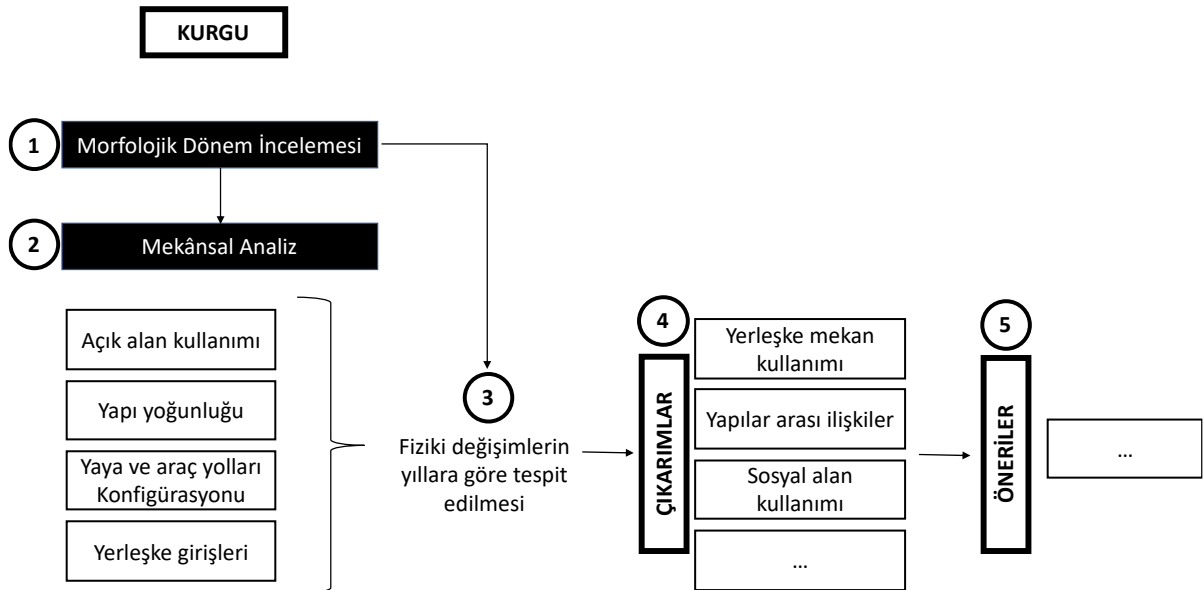


Şekil 2. Çalışma alanı lokasyonu ve ulaşım bilgileri (Google Earth alıntısı üzerinden üretilmiştir).

Konuralp Yerleşkesi Düzce ili, Merkez ilçesi içerisinde, Akçakoca Yolu'nun doğusunda yoldan yaklaşık 1.2 km içeride, merkeze yaklaşık 8 km, Akçakoca'ya yaklaşık 35 km uzaklıkta bulunmaktadır (Şekil 2). Yerleşke planlama alanı topografyasının ancak %0 - %7 arasında eğimli olan %15'lik kısmı (yaklaşık 260000 m²), ulaşım-inşaat ekonomisi açısından yerleşime uygun kabul edilmektedir. Alanın %37'si ise %14'ten fazla eğime sahip ve yerleşim ekonomisi açısından tercih edilemeyecek durumdadır [15]. Arazi eğiminin yapı içi kesintisiz dolaşımın ve çevre topografya ile bağlantısının sağlandığı, arazinin en eğimli yerlerine oturan birimleri, Orman Fakültesi ile Teknoloji Fakültesi yapı gruplarıdır. Kampüsün %60'ı Konuralp Belediye sınırları içerisinde kalırken alanın, kuzey ve doğusu Belediye sınırları dışındadır [16]. Beçiyörükler Köyü içerisinde geçerek kampüsün güneyine, Konuralp Yerleşkesi içerisinde geçilerek alanın batısına ulaşılmaktadır. Ancak bu iki yolda hem uzun, hem de birçok konut alanı içerisinde geçtiği için uygun değildir. 2007 yılında, Standart Profil Fabrikasının kuzeyinden geçen 20 metrelik imar yolunun açılması ile kampüse ve Araştırma Hastanesine ulaşım kısalmıştır. Üniversite ve Araştırma Hastanesi girişleri yoğunluğu ve karışıklığı azaltma hedefi ile ayrı düşünülmüştür. Fakat daha sonra yapılan planlama çalışmaları ile beraber Üniversite ve Araştırma Hastanesi girişi ortak kullanılmaya başlanmıştır [17].

Yerleşkenin kurulduğu yıldan günümüze kadar geçirmiş olduğu süreç üzerinden kampüsün mekânsal konfigürasyonu, yani mekanlar arası ilişkiler incelenmiş, organizasyonundaki fiziksel değişimler yorumlanmıştır. Bu aşamada, ilk olarak seçilen alanla ilgili yapım süreci incelenmiş, gelişim süreci ortaya koyularak kampüs gelişiminde öne çıkan anahtar yıllar belirlenmiştir. İkinci olarak, belirlenen yıllarda yerleşke gelişim planları karşılaştırmalı olarak Google Earth haritaları üzerinden incelenmiştir. İncelemede, yapı yoğunluğundaki artış, yaya ve araç yolları konfigürasyonları, açık alan kullanımları ve yerleşke girişlerine ilişkin değişimler analiz edilmiştir.

Çalışma genel olarak nitel bir gözleme dayanılarak yapılmakta olup, üstte de açıklandığı üzere, kampüs girişlerinde yapılan değişikliklerden ötürü yol ağlarının konfigürasyon incelemesi de yapılmıştır. Bu sebeple, mekânların yerleşke içerisindeki potansiyellerini ve yerleşim planlarının insan hareketlerine olan etkilerini matematiksel olarak gözlemleyebilmek için mekân dizimi & sentaksı analiz yönteminden [18] de kısmi olarak faydalanılmıştır. Mekân konfigürasyon farklı sentaktik parametreler üzerinden incelenebilmekte olup, bu çalışmada yol ağlarının matematiksel gösterimi için faydalı olacak bağlantısallık ve bütünsellik haritalarından faydalanılmıştır. Bağlantısallık kavramı doğrudan mekanlara bağlı olan ikincil mekanların sayısına bağlı yerel (local) bir değerdir [19, p. 12]. Bütünsellik ise bu çalışmada, sistemi oluşturan mekân sayılarında yıllara göre değişim tespit edildiğinden, göreceli asimetric karşılaştırmaya izin veren RRA, optimize edilmiş RA değeri, üzerinden oluşturulmuş haritalar üzerinden yorumlanmıştır. RRA, bir mekânın sistemdeki diğer tüm mekanlardan ne kadar yakın ve ulaşılabilir olduğunu gösteren entegrasyon değeridir.



Şekil 3. Çalışma akış diyagramı

Kullanılan metot ile yaya ve araç yollarının; yapı ilişkilerini, kamusal alanları, insan yoğunluğunu nasıl ve ne ölçüde etkilediği tespit edilmeye çalışılmıştır. Sonuç olarak, tespit edilen fiziki değişimlerin yerleşke mekân kullanımına, yapı ilişkilerine yaya ve araç trafiğine olan etkileri üzerine çıkarımlar yapılmış ve öneriler getirilmiştir. Çalışma akış diyagramı Şekil 3'te gösterilmektedir.

IV. ALAN ÇALIŞMASI

Alan çalışması bölümü, yöntem bölümünde tanımlanan şekliyle, iki alt başlıkta oluşturulmuştur. Öncelikle, Düzce Üniversitesi Konuralp yerleşkesinin gelişim süreci incelenmiştir, sonrasında, gelişim sürecinden referans alarak yıllara göre mekânsal analizleri yapılmıştır.

A. KONURALP YERLEŞKESİ GELİŞİM SÜRECİ

Düzce Üniversite'sinin geçirdiği değişim ve dönüşüm uzun ve kısa vadeli olarak sosyal, ticari ve ekonomik sebeplerle Düzce ili sınırları içerisinde farklı konumlarda gerçekleşmiştir. 1976 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi'ne bağlı olarak Düzce Meslek Yüksekokulu kurulmuştur. 1992 yılında Abant İzzet Baysal Üniversitesi'nin kurulması ile İstanbul Teknik Üniversitesi'nden ayrılarak Abant İzzet Baysal Üniversitesi'ne bağlanmış ve Düzce Meslek Yüksekokulu, (Düzce'de), Akçakoca Turizm İşletmeciliği ve Otelcilik Yüksekokulu ve Akçakoca Meslek Yüksekokulu (Akçakoca'da), Düzce Orman Fakültesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Tıp Fakültesi ve Sağlık Yüksekokulu kurulmuştur. Ardından 1999 yılı büyük depremi yaşanmış ve eğitim mekânlarından bazıları geçici değişikliğe uğramıştır. Teknik Eğitim ve Orman Fakülteleri Düzce Merkez'de bulunan uygun binalarda eğitim vermeye devam etmişlerdir. 2001 yılında Teknik Eğitim ve Orman Fakülteleri, 2003 yılında da Tıp Fakültesi Konuralp yerleşkesine taşınmışlardır. 17 Mart 2006 tarihinde ise Resmi Gazetede yayınlanan yasa ile Abant İzzet Baysal Üniversitesi'nden ayrılarak Düzce Üniversite'si olarak eğitim faaliyetlerine devam etmiştir [15, p. 678]. Bu yasayla, Abant İzzet Baysal Üniversitesi yapısında olan Düzce Tıp Fakültesi, Orman Fakültesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Sağlık Yüksekokulu, Akçakoca Turizm İşletmeciliği ve Otelcilik Yüksekokulu, Düzce Meslek Yüksekokulu, Akçakoca Meslek Yüksekokulu Düzce Üniversitesi'ne bağlanmış olup, ayrıca yeni kurulan Fen-Edebiyat Fakültesi ile Sosyal Bilimler Enstitüsü, Fen Bilimleri Enstitüsü ve Sağlık Bilimleri Enstitüsü Düzce Üniversitesi bünyesinde yerini almışlardır [20]. (2021 yılı Ağustos ayında enstitüler birleştirilmiştir.)

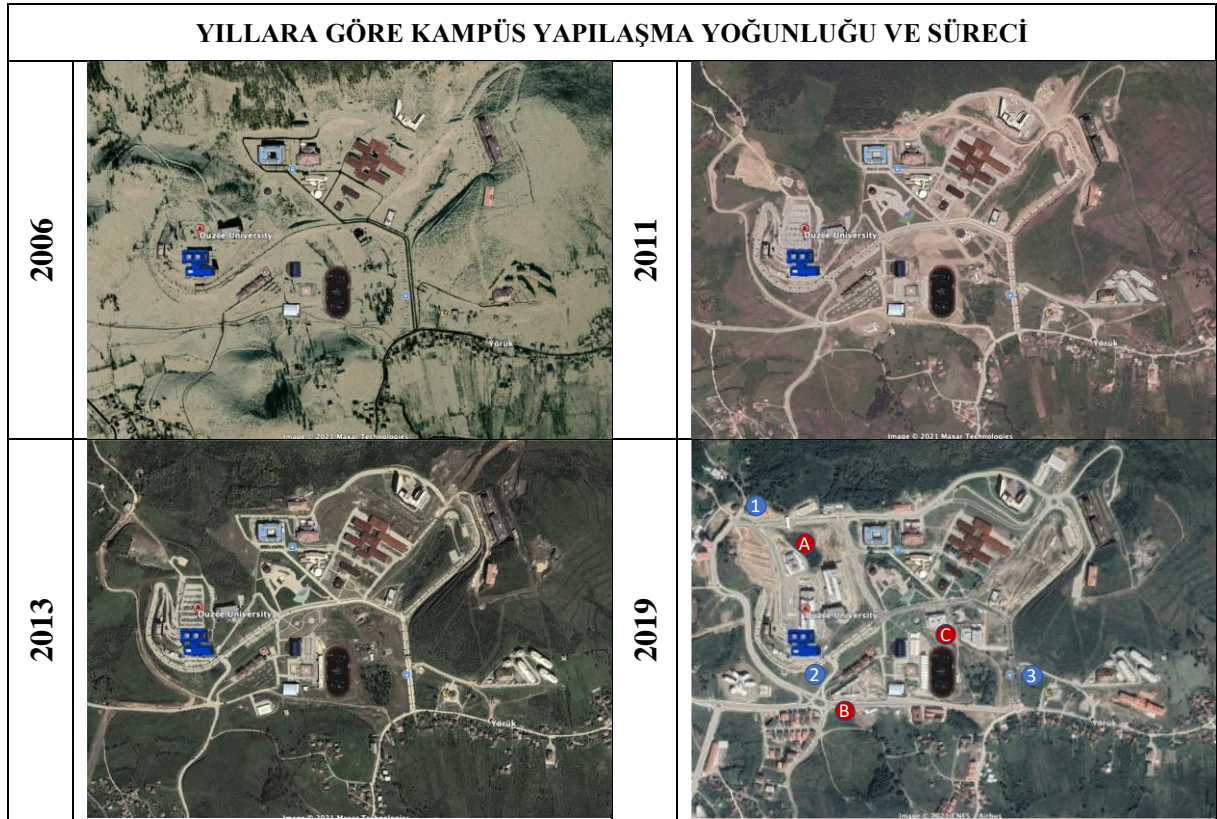
Günümüzde 50 yıllık bir geçmişe sahip olan Düzce Üniversitesi, Konuralp, Şehir-Düzce, Gölyaka, Çilimli, Gümüşova, Cumayeri, Kaynaşlı ve Akçakoca yerleşkeleri ve Konuralp'te Eski Hastane alanı ile birlikte 9 yerleşkeden oluşmaktadır [21, 22]. Çalışmanın örneklem alanını oluşturan Konuralp Yerleşkesi, 2007 Düzce Üniversite'si Konuralp Kampüsü İlave-Revizyon İmar Planı Açıklama Raporu ve günümüz imar planı verilerine göre, Düzce İli, Merkez ilçesi içerisinde, Akçakoca Yolu'nun doğusunda yoldan yaklaşık 1200 metre mesafedeki Düzce Üniversitesi, Yükseköğretim Kurumları Teşkilat Kanunu'na 01.03.2006 tarih ve 5467 sayılı Kanunla eklenen Ek 58.Madde ile kurulmuştur [21, p. 7]. Yüz ölçümü 1.574.296 m²'dir [21, p. 17]. 2006 kuruluş yılı itibari ile Konuralp Yerleşkesi eklenen yeni açık ve kapalı mekânlar ve yapı grupları ile büyümeye devam etmiştir. 2010-14 yılları arası stratejik planlaması Devlet planlama teşkilatına sunulmuş [21, p. 3], 2012 de Rektörlük ve İdari birimler, Mühendislik Fakültesi ve Orta Kafe tamamlanmıştır. Yine 2012'de açık ve kapalı spor tesislerinin, 2013'te Eğitim Fakültesi 1. Blok'un, 2015'te Mehmet Akif Ersoy Kültür Merkezi'nin inşaatına başlanmıştır. 2015 yılı itibariyle, yeni amfi ve merkezi derslikler tamamlanmıştır. 2016-18 yılları arasında da Öğrenci Merkezi, Kütüphane, Tıp Fakültesi Ek Binası ve BESYO binası teklif edilmiştir. 2017'de Yeni Yemekhane binası hizmete girmiş, Tıp Fakültesi Ek binası inşaatı başlamıştır. 2019 yılı itibariyle, yeni kütüphane binasının ve hastane yakasından kampüs giriş kapısının inşaatı başlamıştır. 2019'da yeni kapı hizmete açılmıştır. 2021 yılı itibariyle, Üniversite Camii, BESYO binası ve Kütüphanenin inşaatı devam etmektedir. Günümüzde, bu yerleşkede, Tıp, Orman, Fen-Edebiyat, Teknik Eğitim Fakülteleri, Sağlık Yüksek Okulu, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksek Okulu, Enstitüler, Merkezi Derslikler, Konferans Salonu, Rektörlük ve İdari birimler, Araştırma ve Uygulama Hastanesi, laboratuvarlar, sosyal tesisler, açık ve kapalı spor alanları, lojmanlar, kreş, kapalı yüzme havuzu ve

kütüphane, yemekhane, misafirhane ve yurtlar bulunmakta olup, yeni hizmet binaları yapım çalışmaları sürmektedir [22].

B. YERLEŞKENİN YILLARA GÖRE MEKANSAL DEĞİŞİM SÜRECİ ANALİZİ

2006 kuruluş yılı itibariyle yerleşkede mevcut yapılar, Abant İzzet Baysal Üniversitesi (AİBÜ)'nden devredilmiş olan Teknik Eğitim Fakültesi (1993), Orman Fakültesi (1994) (AİBÜ), Tıp Fakültesi (1996) ve Fen Edebiyat Fakültesi (2006)'dir. Sonrasında, 2008'de Mühendislik Fakültesi, 2009'da Teknoloji Fakültesi, 2011'de Eğitim Fakültesi'nin kurulmasıyla günümüze kadar devam eden yapılaşma sürecine girmiştir. Çalışma alanının bu süreçlerini göstermek üzere, Google Earth üzerinden ulaşılabilen geriye dönük en eski tarihli haritası 2005 yılıdır. Üniversitenin kuruluş yılı olan 2006'yı da içine alan bu dönemden, 2020 yılı başlarında patlak veren COVID-19 pandemisi süreci öncesinde kampüsün fiziki olarak aktif kullanıldığı 2019 yılına kadar ki dönem arasında yerleşkenin geçirmiş olduğu gelişim ve dönüşüm süreci tablolar üzerinden karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Yapılan karşılaştırmalarda kampüs morfolojik dönüşüm süreci yıllara göre yapılaşma yoğunluğundaki ve kampüs içi konfigürasyon kurgusundaki değişimler aşağıda Tablo 1 ve Tablo 2'de karşılaştırılmıştır.

Tablo 1. Yıllara göre Konuralp yerleşkesi yapılaşma yoğunluğu



1: Yeni Giriş Kapısı, 2: Yaya Giriş Kapısı, 3: Mevcut Giriş Kapısı, A: Cami İnşaatı, B: BESYÖ İnşaatı, C: Kütüphane İnşaatı

Tablo 1'deki karşılaştırmadan görüldüğü üzere, en kalıcı elemanların yollar ve yaya aksları olduğu, yeni fakülteler ve sosyal birimler kuruldukça, yeni yapı ve yapı grupları ile kamusal alanların eklendiği, bu süreçte kampüs içi hareket örüntülerinin de değiştiği tespit edilmiştir. Yapı yoğunluğu 2019 yılı itibariyle kullanımına açılan ve açılmayan yapılar dahil olmak üzere en fazla artışı 2019 yılında görmüştür. Kampüs içi konfigürasyonu açısından bakıldığında ise, temelde etkileyen unsur yerleşke kapılarındaki yeniden düzenleme olduğundan, eski giriş ile 2019'da hizmete giren yeni giriş arasında bir karşılaştırma yapılması uygun görülmüştür. Mekân dizimi yöntemiyle 2006-2019 yılı arası değişimi görselleştirmek amacıyla elde edilen haritalar ise Tablo 2'de gösterilmektedir.

Tablo 2. Yerleşkeye ait 2006 - 2019 yılları arası sentaktik analiz verileri

	ESKİ GİRİŞ (2006)	YENİ GİRİŞ (2019)
BAĞLANTISALLIK		
RRA		
BÜTÜNSELLİK		

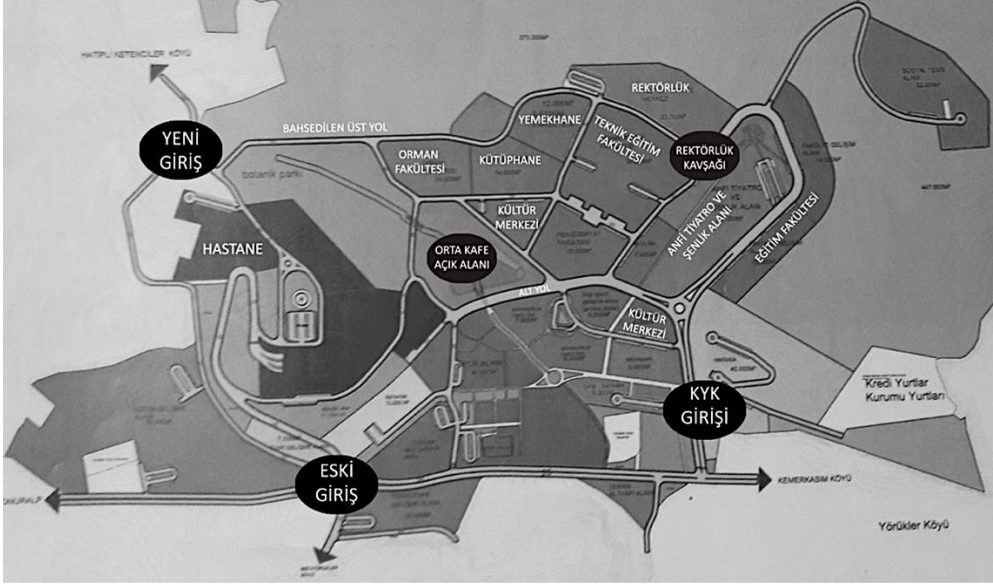
2019 yılında, Düzce Üniversitesi Konuralp Yerleşkesinde yapılan mekân dizim analizi sonuçları bir süreç dahilinde incelendiğinde, eklenen her yapının mekânsal ve konfigürasyonel kurguda değişikliğe sebep olduğu bu değişikliğin kamusal alanlara, yaya ve araç trafiğine etki ettiği görülmüştür. Yenilenen her kurgu ile beraber kullanıcı yoğunluğu da değişmiş ve yapılar arası ilişkiler farklılaşmıştır. Fakat en önemlisi, yeni yerleşke girişi ile beraber mekânlar arası ilişkiler ve kullanıcı yoğunluklarında değişime sebep olabileceğini göstermiştir. 2007 gelişim planlarında hastane ve üniversite kavşağında yoğunluğun yaşanmasını önlemek için üniversiteye ait ayrı bir girişin yapıldığı kayıtlara eklenmiştir [17]. Fakat 2018 yılında yapımına başlanıp 2019 yılında faaliyete geçen yeni giriş kapısı ile beraber Araştırma Hastanesi ve yerleşke giriş yolu birleşmiştir. Bu da 2007 yılında tahmin edilen yoğunluğu beraberinde getirmiştir.

Bu kapsamda yerleşke girişinden itibaren karşılaşılan mekân sorunları 2006 ve 2019 yılı vaziyet planları çerçevesinde irdelenmiş, 2 farklı mekân dizim analizi yapılmış ve elde edilen veriler bir süreç dahilinde değerlendirilmiştir. Tablo 2’de görüldüğü üzere, kapatılan eski giriş sebebi ile hastane güzergahında açılan yeni giriş yolu bağlantısallık değeri yüksek aks özelliğindedir. Her iki analizde de Fen Edebiyat Fakültesi’ne ve Rektörlüğe ulaşan kavşak yüksek bağlantısallık değerine sahiptir. RRA değerlerinde ciddi değişimler gözlenmemektedir. Her iki analizde de yaklaşık değerler tespit edilmiştir. Bütünsellik değerleri karşılaştırıldığında ise Orman Fakültesi ve Kütüphane’ye ulaşan araç yollarında yeni giriş ile birlikte artış gözlenmiştir.

Yerleşkeye ulaşım ağırlıklı olarak toplu taşıma ve özel araçlarla yapılmakta olup, yaya olarak yakın çevredeki konut dokusu ve yurt yerleşkeleri haricinde erişim azdır. Kampüs içi birimler arası ulaşılabilirlik ve yürünebilirlik açısından düşünüldüğünde ise eğimli ve geniş bir arazi üzerinde kurulduğundan yaya dolaşımı ihtiyaca bağlı olarak kısıtlanabilmektedir. Literatürde dağınık tip

yerleşkelerle ilgili bahsedildiği gibi, Konuralp yerleşkesi de bu nedenle yaya ulaşımının uzun yol ağları ile zorlaştığı yerleşke modellerinden biri olmuştur [1, p. 76].

Yaya önceliği temelde, kampüs giriş kapıları ile başlayan yerleşke keşif sürecinin yapı birimleri, kamusal alanlar ve yaya yolları arasındaki devamlılık kurgusuna bağlıdır. Şekil 4'te yerleşkedeki akademik ve idari birimler, rekreasyon ve ortak alanlar, yurtlar ve kampüs girişleri gösterilmektedir. Eski ve yeni giriş kapıları karşılaştırmalı olarak değerlendirilecek olursa yeni giriş kapısı konumu gereği eğimli arazinin üst kottlarına taşınmış, yayalar için az tercih edilir olmuştur. Eski giriş kapısı yaya ulaşımına açık tutulduğundan, yeni girişle birlikte, dahil edilen yeni yol ağı ile yerleşkeye ulaşım mesafesi araçlar için artmıştır.



Şekil 4. Konuralp yerleşkesi yerleşim haritası (Düzce Üniversitesi, Yapı İşleri Daire Başkanlığı verilerinden yararlanılmıştır).

Girişlerde yapılan değişimle birlikte, Tablo 2'deki bütünsellik haritasına tekrar bakıldığında, Orman Fakültesi, yemekhane ve kütüphaneyi tek bir doğrultuda birleştiren üst kottaki yol, yeni giriş ile beraber yüksek değerde çıkmıştır. Yeni giriş kapısı ile birlikte üst kottaki yol yoğunluğu artıp Rektörlük kavşağı daha yoğun bir hale gelmiş ve orta kafeye ulaşan alt yolun da daha yoğun bir hale geldiği fark edilmiştir. Yeni giriş kapısı ile birlikte yatay akstaki iki yolu birbirine bağlayan dikey yol yoğunlukları artmıştır. Ayrıca eski giriş kapısı kullanılırken KYK yurduna bağlanan yol aksının daha yoğun ve kullanılır olduğu da gözlenmiştir.

Yapılan analizlerde orta kafenin bulunduğu açık alan yoğunluğu Rektörlük kavşağına göre daha düşük çıkmıştır. Tasarlanan açık alan ve kullanıcı yoğunluğu arasında bir denge kurulması gerektiği bu aşamada önerilebilir. Bu durum aynı zamanda, literatürde de bahsedildiği gibi, dağınık tip yerleşkelerdeki açık alan kurgusunun yapıların eklenmesini takiben elverişli kalan alanlarda planlanması şeklinde gerçekleştiğini desteklemektedir. Rektörlük ve Eğitim Fakültesi çevresinde kullanılabilir ortak bir kamusal alanın olmayışı kullanıcıları kampüsün batısındaki orta kafe ve 15 Temmuz Meydanı'na yönlendirebilmektedir. Fakat ortak alan kullanımı ve birimler arası ilişkilerin kurulması açısından, kampüs geneli kullanıcı profillerinin ve yoğunluklarının bu profillere göre dağılımının da dikkate alınması gerektiği planlama süreci için savunulabilir.

Yeni giriş kapısı ile birlikte mekânsal olarak ilk duraklar Orman Fakültesi, yemekhane ve kütüphane olmuştur. Bütünsellik haritaları karşılaştırıldığında bu yapıların lineer olarak bağlandığı yol aksının daha yoğun ve yüksek değerde olduğu görülmüştür. Bu da yapılar için girişleri değiştirmiştir. Eskiden genellikle alt yoldan ulaşılan yemekhane, kütüphane ve Orman Fakültesi'ne yeni giriş kapısı ile birlikte

üst yoldan ve farklı bir kottan giriş sağlanmıştır. Yapı giriş yoğunlukları değiştikçe açık alan kullanımları, yapılar arası ilişkiler, yaya yolları yoğunluğunun da değişime uğrayacağı düşünülebilir.

V. TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER

Ülkemizde son yıllarda kabul gören politikalar dolayısı ile her şehre en az bir üniversite kurulmuştur [10, p. 41]. Bu üniversitelerin çoğu tipolojilerinin getirdiği olumsuzlukları yaşamaktadırlar. Yerleşkeler gelişime ve büyümeye açık kurumlar olduğu için planlı bir şekilde büyüme gerçekleşmelidir. Özellikle Konuralp yerleşkesi gibi dağınık tipolojiye sahip yerleşkelerde eklenen her yapı, değişen her yol ve dönüşen kamusal alanlar için kapsamlı bir planlama yapılmalıdır. Bu sorun bu çalışma için bir başlangıç noktası olmuş, Düzce Üniversitesi Konuralp yerleşkesinin planlama sürecinde geçirdiği değişim ve dönüşüm ile beraber değerlendirilerek analiz edilmiştir.

Diğer dağınık tip yerleşkelerde olduğu gibi Konuralp Yerleşkesi de aşamalı bir süreç geçirmiş ve geçirmeye de devam etmektedir. Yerleşke ilk olarak Abant İzzet Baysal Üniversitesi tarafından hazırlanmış bir imar planı üzerinden hayat bulmuş, Düzce Üniversitesi olduktan sonra iki defa revize edilmiştir. İmar planlarının hazırlanmasında sadece birimlerin fonksiyonel ihtiyaçları değil, jeolojik ve jeofizik zemin etütleri ve arazi topografyası da etkili olmuştur. Fiziksel yapılanmayı da etkileyen bu faktörlerin yanı sıra, yapılar yerleşkede ihtiyaçlar doğrultusunda konumlanmaya devam etmiş, uzun yollar, parçalı, ayrışık mekânlar oluşmuştur. Bu mekânlar çeşitli ölçeklerde artık mekân olma riski taşıyabilmektedir. Örneğin, araç yolları ve yaya yolları birbirini destekler nitelikte gelişerek, işlevsiz, yüksek eğimli, uzun araç ve yaya yolları, tanımsız dik merdivenler ve işlevsiz açık alanların oluşumu engellenmelidir. Bu duruma ilişkin, arazi topografyası açısından eğimin fazla olduğu yerlerde özellikle, arazi topografyasının avantaj yerine kullanılabilmesi üzerine yöntem araştırmalarının faydalı olabileceği görülmüştür.

2019 yılında faaliyete giren yeni giriş kapısı da tipolojiye uygun olarak yeni mekânların ve yapıların eklenmesi ile ihtiyaç üzerine yapılmıştır. Mevcut durum ve yeni girişin alanda ne gibi mekânsal değişikliklere neden olduğunu anlamak için 2006 ve 2019 yılları üzerinden yapılan analizlerde, bir yerleşkede kullanılabilirliği en çok etkileyen unsurun da yaya ve araç yollarının fonksiyonelliği olduğu, giriş kapısının değişmesinin mekân kurgusunda, yapı ilişkilerinde, araç ve yaya yolları kullanım yoğunluğunda da değişimlere neden olduğu tespit edilmiştir. Her iki kapının kullanım durumunun da avantaj ve dezavantajları vardır: Yeni giriş ile beraber yemekhane ve kütüphane gibi yerleşkede önemli bir yer kaplayan sosyal alanlara ulaşılabilirlik artmış olsa da orta kafede yoğunluğun hala potansiyelinden düşük olduğu gözlenmektedir. Yine aynı şekilde eski giriş kapısı kullanılırken orta kafe açık alan yoğunluğu fazla iken yerleşke üst yolunun ulaşılabilirliğinin kısıtlı olduğu gözlenmiştir. İki giriş kapısı da yerleşke ulaşılabilirliğini yüksek oranda dengeleyememiştir. Fakat, üniversite yerleşkesinde bu çalışmaya dahil edilemeyen ve halen inşaatı devam eden yapılar ve ek girişler de planlanmaktadır. Eklenen her girişle birlikte detaylı konfigürasyon analizlerinin yapılarak kısa dönemde olsa ön planlama ile kampüs planlamasında yol ağları ve yapılarla ilişkisine karar verilmesi önerilebilir.

Yapılması öngörülen tüm fiziksel değişim ve dönüşümler bir süreç halinde ele alınıp buna göre çalışmalar yapılmalıdır. Yerleşke yaya ve araç yolları, yol mesafeleri, açık alanlar ve giriş kapısı tıpkı diğer mekânsal öğeler gibi kuruluş tarihi itibarıyla kurgulanmalı buna göre planlama yapılmalıdır. Bu aşamada gelecekte uygulanmak üzere tipo-morfolojik bir yaklaşımla planlama sürecinin değerlendirildiği çalışmaların yapılması önem kazanmaktadır. Tipo-morfoloji temelde fiziksel dönüşümü (tipolojik ve morfolojik) - bina ölçeğinden şehir ölçeğine değin, referans alan yapılı çevreyi oluşturan bileşenler ve bileşenlerin birbiriyle olan ilişkilerini belirli bir zaman aralığında dönüşümsel bir süreçte inceler. Amerika'da temelleri atılan serbest planlı özgürlükçü kampüs modelinden, Avrupa tipi, yerleşke sınırları net belirlenmiş kampüs alanlarına doğru bir eğilimin takip edilebildiği gibi, bir evrimleşme sürecinin de uzun yıllarda gerçekleştiği bilinmektedir [22]. Bu çalışmada ilgili yaklaşımın morfolojik dönem incelemesinden referans alınarak belirlenen dönüm noktası olarak belirlenen 4 yıl üzerinden karşılaştırmalı inceleme yapılmıştır. Fakat çalışmayı ilerleyen dönemlerde, özellikle pandemi

sonrası, inşaatı da tamamlanacak olan yeni yapıların, kapı önerilerinin ve yol ağlarının kullanıma girdikten sonra yeni dönüm noktası yılların belirlenerek düzenli olarak tekrarlanması ve olağan durum tespitinin kullanıcı tercihlerinde dikkate alınarak yapılması, yerleşkenin gelişim sürecinde önemli rol oynayacaktır. Yurt dışı üniversite yerleşkeleri de planlama süreçlerinin uzun vadede dönüşümün irdelenebileceği örnekler olarak bu aşamada incelenebilir.

Yüksek Öğretim Kanunu ile günümüzde üniversiteler akademik özerklikleri açısından merkeziyetçi bir şekilde YÖK denetiminde olduğundan, kampüs gelişim aşamasında, yeni bölüm ve fakültelerin kurulması açısından rolü bu çalışma kapsamı dışında tutulmuştur. Fakat genel olarak yerleşke gelişim süreçleri ile ilgili olarak, mevcut çalışmalara da bakıldığında, daha çok ortak kullanım mekânlarının incelendiği [3, p. 231], kullanıcı memnuniyetinin anketler ile belirlenmeye çalışıldığı, yer seçiminin kentsel gelişime katkısı, yerleşkenin kent ile ve çevre iller ile olan ilişkisi vb. üzerine incelemeler yapıldığı görülmüştür [23, p. 147]. Günümüzde üniversite yerleşkeleri sosyal, eğitim, idari yapıların faaliyet gösterdiği, dinlenme ve rekreasyon alanlarının var olduğu, mekanlar arası ilişkileri oluşturacak araç ve yaya yollarının çalıştığı, sosyo-kültürel etkinliklerin yapıldığı, alışveriş ve spor eylemlerinin gerçekleştirildiği ciddi alan ve nüfusa sahip üniversite bölgeleridir. Kent ile olan ilişkileri ve potansiyelleri dikkate alınarak yerleşkelerin öngörülü bir planlama ve denetim gerektirdiği söylenebilmektedir [9]. Yerleşkelerin planlama süreci yer seçimi aşamasından itibaren oluşturulmalı; buldukları şehirdeki öğrenci sayısı, öğretim bünyesi, konumlandırılacak teknik teçhizatın boyutu, öğretim planı, çalışmaların amaç ve hedefleri, öğrenci ve öğretim üyelerinin meslek dalları, bu dalların birbiriyle olan bağlantıları düşünülmeli etkileri incelenmelidir.

Örnekleme özelinde bakıldığında ise, Konuralp yerleşkesinde değişen giriş kapısı ile birlikte yapı kullanım durumları ve ortak mekânların değişimi üzerine ayrı çalışmalar önerilebilir, kapsamlı anketler ile kullanıcı istekleri belirlenerek tasarım altlıkları oluşturulabilir, kampüs planlamasının çevre iller ile olan benzerlik ve farklılıkları incelenerek detaylı bir analiz yapılabilir. En öne çıkan ve bu çalışmadan referans alarak, Düzce Üniversitesi ve benzer yeni kurulan genç üniversite yerleşkeleri için yol gösterici kampüs iyileştirmede önemli kriterler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Sadece fonksiyonellik değil, aynı zamanda estetik beklentilerinde karşılanmasına yönelik planlama çalışmalarının yapılması ve temel kriterlerin belirlenmesi
2. Rekreasyon ihtiyaçlarının kampüs geneli karşılanması ve bu alanların ulaşım güzergahlarına, kampüs girişleri ile yapı girişlerine olan mesafeleri üzerinden eşit ve yürünebilir (5 dakikada yürünebilecek 450m'lik, [13]) mesafelerde ulaşım üzere karşılanması
3. Kampüs içi yapılardan arta kalan açık alanların aktif ve pasif alanlar olarak düzenlenmesinde bu alanlar arası dengeli dağılımın yapılması ve mevcut peyzaj tasarımının engelsiz ulaşımı destekleyecek şekilde iyileştirilmesi
4. Kampüs ana akslarının erişilebilirliklerinin sadece araç için değil yaya ulaşımı açısından da artıracak alternatif yol ağları ile desteklenmesi
5. Yapılacak düzenlemeler, mimari yapılaşma da olsa, yapı yakın çevreleri de olsa, kampüs geneli açık ortak alan kullanım ilişkileri açısından da olsa, planlama aşamasında kullanıcı isteklerinin alınması
6. Ortak tesislerin bir merkez oluşturacak şekilde organizasyonun yapılması, yerleşke büyüdükçe yeni yapılar hizmete girdikçe çoklu merkezler birbirleri arası ulaşım ağları ana akslar üzerinden bağlanması
7. Bina aralarında kalan boşluklar topografyadan etkilenmeyen yerlerde mikro ve makro ölçekte değişime olanak verecek şekilde planlanması
8. Kampüs mekânsal bütünlüğünün kurgulanarak yerleşke karakteri ve imajının oluşturulması
9. Üniversitelerde barınma fonksiyonlarının da ortak alanlar olarak değerlendirilmesi ve diğer rekreasyon, peyzaj, spor vb. aktivite alanlarıyla beslenecek şekilde kampüs organizasyonuna dahil edilmesi
10. Peyzaj alanları arasında ve yaya yollarında kampüs genelinde hem fiziki hem görsel sürekliliğin sağlanması
11. Üniversite yerleşkesinin çevre konut dokusu ve ticari alanlarla birlikte entegrasyonu artırılarak kamu yararının sağlanması

12. Kampüs içi yaya ulaşımının hem birimler ve ortak alanların kullanım mesafeleri düşünülerek tasarlanması hem de topografyadan kaynaklı eğimin yüksek olduğu yerlerde rahat sağlanması açısından önlemler alınması/minimum mesafelere uygun mekânsal organizasyonla desteklenmesi
13. Üniversitelerin gelişmeye açık yapısı sebebiyle, mekânsal bütünlüğe bir anda ulaşılması mümkün ve ekonomik olmadığından, kısa ve uzun vadede planlamaya ilişkin düzenlemeler / güncellemeler / revizyonların hassasiyetle tasarım ve uygulama öncesi süreçlerde takip edilmesi
14. Kademeli büyüme ve esneklik anlayışıyla tasarlanması, ne kadar büyürse büyüsün mekânsal bütünlüğünü kaybetmemesi
15. Çok işlevli olmasından ve eklenecek yeni işlevler sebebiyle değişime açık olması ve aşamalı olarak belirli aralıklarla kullanıcı ihtiyaçlarını karşılama derecesinin belirlenmesi

Araştırma sonuçları on beş yıllık bir geçmişi ile gelişmekte olan, kent dışında inşa edilmiş, ama kentle bütünleşmeye kısa sürede başlamış, başta dağınık planlı Düzce Üniversitesi Konuralp yerleşkesi olmak üzere, benzer tip üniversite kampüsü planlamalarında da faydalı olacaktır. Özellikle Düzce Üniversitesi'nin, Konuralp bölgesinin hızlı kentleşme potansiyeli ile birlikte değişim ve dönüşümünü paralel olarak sürdürmesi önemlidir. Kampüs olgusuna getirilen modern oluşumu ile kentleşme sürecinde de üniversitelerin bu bağlamda belirleyici rol üstlendikleri unutulmamalıdır.

VI. KAYNAKLAR

- [1] A. N. Irgatoğlu, "Üniversite Kampüsleri Fiziksel Gelişim Planlaması ve Tasarımı: Yozgat Bozok Üniversitesi Erdoğan Akdağ Kampüsü Örneği," Yüksek lisans tezi, Peyzaj Mimarlığı Ana Bilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2011.
- [2] A. M. Erol ve Y. E. Özer, "Anadolu Üniversitelerinde Yer Seçiminin Kentsel Gelişime Katkısı: Karaman Örneği," *Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, c. 8, s.1, ss. 83-112, 2018.
- [3] A. Aksu ve H. Yılmaz, "Atatürk Üniversitesi Merkezi Açık-Yeşil Alandaki Fiziki Değişim Memnuniyetinin Belirlenmesi," *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 8, s. 2, ss. 231-237, 2018.
- [4] D. Onsekiz, "Üniversitelerin Anadolu Kentlerine Etkileri: Bir Literatür Taraması," *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, c. 11, s. 55, ss. 400-406, 2018.
- [5] E. A. Maltaş ve Y. Özer, "Anadolu Üniversitelerinde Yer Seçiminin Kentsel Gelişime Katkısı: Karaman Örneği," *Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, c. 8, s. 1, ss. 83-112, 2018.
- [6] H. Dalğar, H. Tunç ve M. Kaya, "Bölgesel kalkınmada yükseköğretim kurumlarının rolü ve Bucak örneği," *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, c. 1, s. 1, ss. 39-50, 2009.
- [7] C. Ergun, "Üniversite ve kent ilişkisi üzerine görüşler: Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi örneği," *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, c. 1, s. 31, ss. 216-237, 2014.
- [8] S. Ceyhan ve G. Güney, "Bartın Üniversitesi'nin Bartın İli'nin ekonomik gelişimine 20 yıllık projeksiyonda katkılarının değerlendirilmesi," *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, c. 21, s. 2, ss. 183-207, 2011.

- [9] Z. Kuyrukçu ve M. Uysal, “Üniversite Kampüslerinde Fiziksel değişimin İncelenmesi: Selçuk Üniversitesi *Alaeddin Keykubat Kampüsü Örneği*,” *TMD Uluslararası Hakemli Tasarım ve Mimarlık Dergisi*, c. 6, s. Sonbahar Kış, ss. 67-99, 2015.
- [10] O. Sungur, “Üniversitelerin Bölgesel Kalkınmada Değişen Rolü Girişimci Üniversite Kavramı,” *AİBÜ Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, c. 15, s. 4, ss. 35-61, 2015.
- [11] “Yüksek Öğretim Bilgi Yönetimi Sistemi,” 2021. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://istatistik.yok.gov.tr>. Erişim Tarihi: 1 Ağustos 2021.
- [12] V. Altıntaş, *Türkiye’de Üniversitelerin Bölgesel ve Yerel Gelişmeye Etkileri*, İstanbul, Türkiye, 2015.
- [13] H. Vural, A. Meral ve S. Şenyiğit Doğan, “Üniversite Kampüs Peyzaj Planlaması Üzerine Kullanıcı Değerlendirmesi: Bingöl Üniversitesi Örneği,” *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, c. 6, s. 1, ss. 106-117, 2019.
- [14] B. Y. Yıldız, E. Çil ve I. Can, “Kampüs Morfolojisi: Bir Yaşam Alanı Olarak Üniversite Yerleşkelerinin Analizi,” *Urban Morphology Symposium*, Mersin, Türkiye, 2015.
- [15] Z. Demir ve A. T. Kaya, “Analysis and Evaluation of University Campus Areas in terms of the Urban Equipments– Case Study of Duzce University Campus,” *Oxidation Communications*, c. 39, s. 1, ss. 673-684, 2016.
- [16] M. Arslantürk, “Duzce University Master Plan Report,” Düzce Üniversitesi, Düzce, 2007.
- [17] Düzce Üniversitesi Yapı İşleri Dairesi Başkanlığı, “Düzce Üniversitesi Konuralp Kampüsü İlave-Revizyon İmar Planı,” Ankara, 2007.
- [18] Hillier ve Hanson, *Social Logic of Space*, İngiltere: Cambridge University Press, 1984.
- [19] E. Şikoğlu ve H. Arslan, “Mekân dizim analizi yöntemi ve bunun coğrafi çalışmalarda kullanılabilirliği,” *Türk Coğrafya Dergisi*, c. 65, s.1, ss. 11-21, 2015.
- [20] “Düzce Üniversitesi Bilgi İşlem Daire Başkanlığı,” [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <http://itk.duzce.edu.tr/Sayfa/6903/tarihce>. Erişim tarihi: 15 Aralık 2019.
- [21] Düzce Üniversitesi Strateji Geliştirme Bakanlığı, “2011 Yılı Performans Programı,” 2011. [Çevrimiçi]. Erişim Adresi: https://strateji.duzce.edu.tr/Dokumanlar/strateji/b563d4ee-3473-43ae-a75f-f83bcf6dc34e_6.pdf. Erişim Tarihi: 12 Temmuz 2021].
- [22] A. Jovanovic, E. M. Kandjani ve M. Dacic, “Connection of Spaces in Campus Planning and Design,” IV. International Symposium for Students of Doctoral Studies in the fields of Civil Engineering, Architecture and Environmental Protection, Niş Sırbistan, 2012.
- [23] A. Bilgin ve E. Erten, “Doğu Akdeniz Bölgesi ve Çevresinde Üniversite Kampüs Planlamaları Üzerine Bir İnceleme,” *Ç.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü*, c. 20, s. 1, ss. 147-157, 2009.
- [24] G. A. Baskan, “Türkiye’de Yükseköğretimin Gelişimi,” *G.Ü. Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, ss. 21-32, 2001.
- [25] U. Erkman, *Büyüme ve Gelişme Açısından Üniversite Kampüslerinde Planlama ve Tasarım Sorunları*, İstanbul, Türkiye: İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi, 1990.

- [26] F. Özçelik ve Ö. Yerli, *Dünden Bugüne Fotoğraflarla Düzce Üniversitesi*, Düzce: Düzce Üniversitesi Yayını, 2011.
- [27] M. Ertekin ve Ö. L. Çorbacı, “Üniversite Kampüslerinde Peyzaj Tasarımı (Karabük Üniversitesi Peyzaj Projesi Örneği),” *Kastamonu Üniversitesi, Orman Fakültesi Dergisi*, c. 10, s.1, ss. 55-67, 2010.
- [28] Ö. Göçer, A. Ö. Torun ve M. Bakoviç, “Thermal comfort, behavioral mapping and space syntax analysis of outdoor spaces in a suburban campus,” *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Dergisi*, c. 33, s. 3, ss. 853-873, 2018.
- [29] B. Erçevik ve F. Önal, “Üniversite Kampüs Sistemlerinde Sosyal Mekân Kullanımları,” *Megaron*, c. 6, s. 3, ss. 151-161, 2011.
- [30] N. Kulözü, “Bir Mekânsal Modernleşme Öyküsü: Erzurum Kenti ve Kentsel Mekânında İkili Dokunun Oluşumu,” *İdealkent*, c. 7, s. 18, ss. 22-47, 2016.
- [31] A. M. Erol ve Y. E. Özer, “Anadolu Üniversitelerinde Yer Seçiminin Kentsel Gelişime Katkısı: Karaman Örneği,” *Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi* c. 8, s. 1, ss. 83-112, 2018.
- [32] S. Altınsoy, “Yeni Devlet Üniversitelerinin Gelişimi: Sorunlar ve Politika Önerileri,” *Yüksek Öğretim ve Bilim Dergisi*, c. 1, s. 2, ss. 98-104, 2011.
- [33] A. M. Erol ve Y. E. Özer, “Anadolu Üniversitelerinde Yer Seçiminin Kentsel Gelişime Katkısı: Karaman Örneği,” *Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, c. 8, s. 1, ss. 83-112, 2018.
- [34] M. A. Toprak, “Mekânsal Planlama Politikaları ve Kentlerinde Sosyo-Ekonomik Durumu Işığında Türkiye’de “Üniversiteleşme” Süreci,” *Ege Coğrafya Dergisi*, c. 21, s. 2, ss. 1-23, 2013.
- [35] S. B. Sırımaya ve K. Çınar, “Üniversite Kampüs Yerleşkelerinde Ortak Kullanım Mekânlarının İncelenmesi: Selçuk Üniversitesi Alâeddin Keykubat Kampüsü Örneği,” *Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 27, s. 3, ss. 62-72, 2012.
- [36] S. H. Açıkay, “Kent içi Üniversite Kampüslerinin Ekolojik Peyzaj Tasarım İlkeleri Kapsamında İrdelenmesi,” Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2015.
- [37] S. Benek, N. Elmastaşlı, M. S. Şahinalp, A. S. Aytaç, H. Yetmen, M. Özcanlı ve A. Şahap, “Harran Üniversitesi Osmanbey Kampüsü’nün Yeniden Planlanmasına Yönelik Öneriler,” *Uluslararası Coğrafya Sempozyumu*, Ankara, 2016.
- [38] J. Visakorpi, F. Stankovic, J. Pedrosa ve C. Rozsnyai, “Türkiye’de Yükseköğretim: Eğilimler, Sorunlar ve Fırsatlar,” Avrupa Üniversiteler Birliği Kurumsal Değerlendirme Programı, İstanbul, 2008.
- [39] H. Özyılmaz, “Diyarbakır Geleneksel Konut Mimarisinde Morfolojik Analiz: Geleneksel Konutların Güncel Kullanımda Değerlendirilmesi,” Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2007.
- [40] M. Gürsoy ve Y. Erjem, “Kent Perspektifinden Ekonomik Boyutuyla Üniversite Algısı: Adıyaman Örneği,” *İdealkent*, c. 10, s. 27, ss. 679-713, 2019.
- [41] M. K. İsmet Parlak, *Her ile bir Üniversite Türkiye’de Yüksek Öğretim Sisteminin Çöküşü*, Ankara: Paragraf Yayınları, 2005.



Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

The Third Order Variant Narayana Codes and Some Straight Lines Corresponding to These

 Cagla CELEMOGLU ^a

^a Department of Mathematics, Faculty of Science and Arts, Ondokuz Mayıs University, Samsun, TURKEY

* Corresponding author's e-mail address: cagla.ozyilmaz@omu.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1007719

ABSTRACT

In this study, firstly, we examined the second order variant Narayana codes and we got some results from the tables were displayed by Das and Sinha[11]. Then, we studied on the third order variant Narayana code and we displayed these codes for some k positive integers and with tables. Also, we got some results from the tables. Then, we compared the results that we obtained from the tables for the third order variant Narayana universal code and the second order variant Narayana universal code in terms of cryptography. We found that third order variant Narayana universal codes are much more advantageous than the second order variant Narayana universal codes. Finally, we obtained some straight lines which yielding the some the third order Narayana codewords by considering (u, k) as a point in the (x, y) plane, from these tables.

Keywords: Fibonacci sequence, Narayana universal code, cryptography

Üçüncü Mertebeden Varyant Narayana Kodları ve Bunlara Karşılık Gelen Bazı Doğrular

ÖZ

Bu çalışmada, ilk olarak, ikinci mertebeden variant Narayana kodlarını inceledik ve bu kodlar ile ilgili Das ve Sinha[11] tarafından elde edilen tablolardan bazı sonuçlar elde ettik. Ardından üçüncü mertebeden variant Narayana kodları üzerine çalıştık ve bazı pozitif k tam sayıları için bu kodları tablolar ile belirledik. Ayrıca, bu tablolardan bazı sonuçlar elde ettik. Sonrasında, ikinci ve üçüncü mertebeden variant Narayana kodları için tablolardan elde ettiğimiz sonuçları kriptografik açıdan karşılaştırdık. Üçüncü mertebeden variant Narayana kodlarının çok daha avantajlı olduğunu elde ettik. Son olarak (u, k) y1 (x, y) düzleminde bir nokta olarak kabul ederek tablolara göre bazı Narayana kodlarını veren bazı doğrular elde ettik.

Anahtar Kelimeler: Fibonacci dizisi, Narayana evrensel kodu, kriptografi

I. INTRODUCTION

The Fibonacci sequence, $\{F_k\}_0^\infty$, is a sequence of numbers, beginning with the integer couple 0 and 1, in which the value of any element is computed by taking the summation of the two antecedent numbers. If so, for $k \geq 2$, $F_k = F_{k-1} + F_{k-2}$ [1]. This number sequence, which was previously found by Indian mathematicians in the sixth century. But the sequence was introduced by Fibonacci as a result of calculating the problem related to the reproduction of rabbits in the book called Liber Abaci in 1202. The first eight terms of this sequence are 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21.

The Narayana sequence, $\{N_k\}_0^\infty$, is a sequence of numbers, beginning with the integers 1, 1 and 1, in which the value of any element is computed by taking the summation of the previous term and term two places before it. If so, for $k \geq 3$, $N_{k+1} = N_k + N_{k-2}$ [1]. This number sequence derived from the was introduced by Narayana as the result of calculating the problem related to the birth cows in the book called Gaṇita Kaumudi in 1356. The first eight terms of this sequence are 1, 1, 1, 2, 3, 4, 6, 9.

By using these sequences, it can be obtained universal codes. A universal code transforms positive integers representing source messages into code words of different lengths. There are various universal codes such as the Elias codes, the Fibonacci universal code, Narayana code and non-universal codes such as Rice coding, Huffman coding and Golomb coding [2-4]. The best known of them is the Fibonacci code. The Fibonacci code is more useful in comparison with other universal codes. Because this code easily fixes data from damaged parts of codewords [5]. Fibonacci and Gopala-Hemachandra universal codes encode positive integers with binary representations and these code words are obtained based on Zeckendorf representation. Each positive integer has one and only one representation as the summation of non-sequential Fibonacci numbers according to Zeckendorf's theorem [6].

In this study, firstly, we examined the second order variant Narayana universal code which is described by Kirthi and Kak[5] and is extended by Das and Sinha[11]. And from the tables were obtained by Das and Sinha[11], we got some results. Then, we studied on the third order variant Narayana code and we displayed with tables these codes ($VN_u^{(3)}(k)$) of some k positive integers ($1 \leq k \leq 50$) for $-20 \leq u \leq -1$. Also, we got some results from the tables. Also, we compared the results that obtained from the tables for the third order variant Narayana universal code and the second order variant Narayana universal code cryptographically. Here, we obtained there is no Zeckendorf's representation for the first integer $k = 7$ in the third order variant Narayana sequence $VN_{-7}^{(3)}(k) = \{-7, 10, 8, 1, 11, 12, 23, 42\}$ and so $VN_{-1}^{(3)}, VN_{-2}^{(3)}, VN_{-3}^{(3)}, VN_{-4}^{(3)}, VN_{-5}^{(3)}, VN_{-6}^{(3)}$ can be used in cryptography. Since none of the second order variant Narayana codes can be used in cryptography, we found that third order variant Narayana universal code are much more advantageous than the second order variant Narayana universal code. Finally, we obtained some straight lines which yielding the some the third order Narayana codewords by considering (u, k) as a point in the (x, y) plane.

II. MATERIALS AND METHODS

Here, variant Fibonacci sequences and codes of different orders and variant Narayana sequences and codes of different orders are used as material.

Definition 2.1. The m th order Fibonacci numbers, that are represented by $F_k^{(m)}$, are described with iteration relation $F_k^{(m)} = F_{k-1}^{(m)} + F_{k-2}^{(m)} + \dots + F_{k-m}^{(m)}$ for $k > 0$ and the boundary conditions $F_0^{(m)} = 1$ and $F_k^{(m)} = 0$ ($-m < k < 0$) [7].

Fibonacci code can be obtained for each positive integer A with a binary string of length t , $l_1 l_2 \dots l_{t-1} l_t$, such that $A = \sum_{i=1}^t l_i F_i^{(m)}$. The representation is unique only if one uses algorithm to find it

as follows: When it is given the integer A , it is detected the largest Fibonacci number F_t equivalent or smaller to A ; after that it is continued repeating with [7]. For instance $17 = 1 + 3 + 13$, hence its Fibonacci representation is 101001.

According to above algorithm, Fibonacci numbers aren't used consecutively in any of these summations, that is, in the binary representation, there are no contiguous 1 bits. When generalizing this procedure to higher orders, the same operations are realized as above. Additionally, it is appended $(m - 1)$ 1 bits to the m th order variant of Fibonacci representation of k to build the m th order variant of Fibonacci code of any positive integer k . But, unlike the Fibonacci representation, in the statement, codeword can't contain m contiguous 1 bits [7].

It was presented a second order variant Fibonacci code by using the Gopala-Hemachandra sequence for $m = 2$ and this sequence is defined as follows:

Definition 2.2. The second order variant Fibonacci sequence, $GH_u^{(2)}(k)$ is described with the sequence $\{u, v, u + v, u + 2v, 2u + 3v, 3u + 5v, \dots\}$ where $v = 1 - u$ that is, $GH_u^{(2)}(1) = u$; $GH_u^{(2)}(2) = 1 - u$; and for $k \geq 3$, $GH_u^{(2)}(k) = GH_u^{(2)}(k - 1) + GH_u^{(2)}(k - 2)$ [8].

Afterwards, it was presented a third order variant Fibonacci code by using the Gopala-Hemachandra sequence for $m = 3$ and this sequence is defined as follows:

Definition 2.3. The third order variant of Fibonacci sequence, $GH_u^{(3)}(k)$ is described with the sequence $\{u, v, u + v, 2u + 2v, 3u + 4v, 6u + 7v, \dots\}$ where $v = 1 - u$ that is, $GH_u^{(3)}(1) = u$; $GH_u^{(3)}(2) = 1 - u$; $GH_u^{(3)}(3) = 1$; and for $k \geq 4$, $GH_u^{(3)}(k) = GH_u^{(3)}(k - 1) + GH_u^{(3)}(k - 2) + GH_u^{(3)}(k - 3)$ [9].

For different values of u , it is obtained different sequences. We know that it was demonstrated that solely Fibonacci sequence forms a unique Fibonacci code for all positive integers by Daykin [10]. However, in variants of Fibonacci sequences, some integers have more than one Gopala-Hemachandra codes while some integers have Gopala-Hemachandra no code. For example, for the second order variant of Fibonacci sequence while $VF_{-5}^{(2)}(k) = \{-5, 6, 1, 7, 8, 15, 23, 38\}$ there is no Gopala-Hemachandra code for integer $k = 5, 12$ [2], $VF_{-2}^{(2)}(k) = \{-2, 3, 1, 4, 5, 9, 14, 23\}$ there are two Gopala-Hemachandra codes for integer $k = 8$. These codes are 010011 and 1010011. Similarly, for the third order variant of Fibonacci sequence while $VF_{-11}^{(2)}(k) = \{-11, 12, 1, 13, 14, 27, 41, 68\}$ there is no Gopala-Hemachandra code for integer $k = 11$ [9], $VF_{-4}^{(3)}(k) = \{-4, 5, 1, 2, 8, 11, 21, 40\}$ there are two Gopala-Hemachandra codes for integer $k = 7$. These codes are 10000111 and 010111. In addition, the authors made cryptographic applications by using GH codes [9].

Narayana sequences are similar to the Fibonacci and Gopala-Hemachandra (GH) sequences in terms of their use in cryptographic applications and data coding. Kirthi and Kak described a variant Narayana coding scheme as follows:

Definition 2.4. A variant of Narayana coding scheme can be obtained by defining second order variant Narayana sequence $\{u, v, z, u + z, u + v + z, u + v + 2z, \dots\}$, $u \in \square$, $VN_u^{(2)}(k)$, such that $v = 3 - u$ and $z = 1 - u$. This yields $VN_u^{(2)}(1) = u$; $VN_u^{(2)}(2) = 3 - u$; $VN_u^{(2)}(2) = 3 - u$ and for $k \geq 3$, $VN_u^{(2)}(k) = VN_u^{(2)}(k - 1) + VN_u^{(2)}(k - 3)$ [5].

With the above definition, we obtain there is no Zeckendorf representation for integers 3 and 15 using the sequence $VN_{-1}^{(2)}(k) = \{-1, 4, 2, 1, 5, 7, 8, 13\}$, and integers 2, 13 and 19 can't be represented using sequence $VN_{-3}^{(2)}(k) = \{-3, 6, 4, 1, 7, 11, 12, 19\}$.

We know that variant Narayana universal coding is used in source coding as well as in cryptography. But some variant Narayana codes ($VN_u^{(3)}(k)$) which lack the ability to encode for certain values of k can't be used in cryptography. So, it is important to determine these codes. Here, we obtained there is no Zeckendorf's representation for the first integer $k = 7$ in the third order variant Narayana sequence $VN_{-7}^{(3)}(k) = \{-7, 10, 8, 1, 11, 12, 23, 42\}$. But we obtained there is no Zeckendorf's representation for the first integer $k = 3$ in the second order variant Narayana sequence $VN_{-1}^{(2)}(k) = \{-1, 4, 2, 1, 5, 7, 8, 13\}$. So, while $VN_{-1}^{(3)}, VN_{-2}^{(3)}, VN_{-3}^{(3)}, VN_{-4}^{(3)}, VN_{-5}^{(3)}, VN_{-6}^{(3)}$ can be used in cryptography for the third order variant Narayana codes, none of the second order variant Narayana codes can be used in cryptography.

III. RESULTS AND DISCUSSION

A. SOME RESULTS ABOUT THE SECOND ORDER VARIANT NARAYANA CODES

In this study, firstly, we examined the second order variant Narayana codes and from the tables were displayed by Das and Sinha[11]. We obtained

- i. For the only positive integer $k = 1$, the second order variant Narayana code $VN_u^{(2)}(k)$ exactly exists for $u = -1, -2, \dots, -20$.
- ii. For $1 \leq k \leq 50$, there is at most j consecutive undetectable values (NA) the second order variant of Narayana code in $VN_{-j}^{(2)}(k)$ column in which $1 \leq j \leq 20$.
- iii. As long as j raises, the detectable of Narayana code is reduced in $VN_{-j}^{(2)}(k)$ column in which $1 \leq j \leq 20$.

B. THE THIRD ORDER VARIANT NARAYANA SEQUENCES AND CODES

We described the third order variant Narayana sequences as follows:

Definition 3.5. The third order variant Narayana sequences, $VN_u^{(3)}(k)$ is described with the sequence $\{u, v, z, u + z, u + v + z, 2u + v + 2z, 3u + 2v + 3z, \dots\}$ where $v = 3 - u$ and $z = 1 - u$, that is, $VN_u^{(3)}(1) = u; VN_u^{(3)}(2) = 3 - u; VN_u^{(3)}(3) = 1 - u; VN_u^{(3)}(4) = 1; VN_u^{(3)}(5) = 4 - u$ and for $k \geq 6$, $VN_u^{(3)}(k) = VN_u^{(3)}(k - 1) + VN_u^{(3)}(k - 3) + VN_u^{(3)}(k - 5)$.

The third order variant Narayana coding scheme can be obtained by defining third order variant Narayana sequence, $VN_u^{(3)}(k)$, such that $v = 3 - u$ and $z = 1 - u$. In variants Narayana sequences, some integers have more than one Narayana codes while others have no Narayana code. For example, for the second order variant Narayana sequence $VN_{-1}^{(2)}(k) = \{-1, 4, 2, 1, 5, 7, 8, 13\}$ while there is no Narayana code for integers $k = 2$ and $k = 11$ [11], there are two Narayana codes for integer $k = 4$. These codes are 011 and 100011. Similarly, for the third order variant Narayana sequence $VN_{-7}^{(3)}(k) = \{-7, 10, 8, 1, 11, 12, 23, 42\}$ while there is no Narayana code for integers $k = 7$ and $k = 40$, there are two Narayana codes for integer $k = 1$. These codes are 000111 and 10111. In this section, we obtained the third order variant of Narayana codes $VN_u^{(3)}(k)$ or undetectable values (NA) of the positive integer k for $1 \leq k \leq 50$ and for $u = -1, -2, \dots, -20$ with Tables 1-2. From the tables, we got the following results for the third order variant Narayana codes:

- i. For the positive integers $k = 1, 2, 3, 4, 5, 6$, the third order variant of Narayana code $VN_u^{(3)}(k)$ exactly exists for $u = -1, -2, \dots, -20$.
- ii. For $1 \leq k \leq 50$, there is at most j consecutive undetectable values (NA) the third order variant of Narayana code in $VN_{-(6+j)}^{(3)}(k)$ column in which $1 \leq j \leq 14$.

iii. For $1 \leq k \leq 50$, as long as j raises, the detectable of third order variant Narayana code is reduced in $VN_{-(6+j)}^{(3)}(k)$ column in which $1 \leq j \leq 14$.

Table 1. The third order variant Narayana codes of k for $(1 \leq k \leq 50)$ and $u = -1, -2, \dots, -10$

k	$VN_{-1}^{(3)}(k)$	$VN_{-2}^{(3)}(k)$	$VN_{-3}^{(3)}(k)$	$VN_{-4}^{(3)}(k)$	$VN_{-5}^{(3)}(k)$	$VN_{-6}^{(3)}(k)$	$VN_{-7}^{(3)}(k)$	$VN_{-8}^{(3)}(k)$	$VN_{-9}^{(3)}(k)$	$VN_{-10}^{(3)}(k)$
1	000111	000111	000111	000111	000111	000111	000111	000111	000111	000111
2	101111	101111	101111	101111	101111	101111	101111	101111	101111	101111
3	1111	1111	1111	1111	1111	1111	1111	1111	1111	1111
4	1000111	1000111	1000111	1000111	1000111	1000111	1000111	1000111	1000111	1000111
5	10000111	10000111	10000111	10000111	10000111	10000111	10000111	10000111	10000111	10000111
6	10010111	10010111	10010111	10010111	10010111	10010111	10010111	10010111	10010111	10010111
7	00010111	00000111	0000111	0111	001111	00111	NA	NA	NA	NA
8	00100111	00010111	00000111	0000111	0111	001111	00111	NA	NA	NA
9	0100111	0010111	00010111	00000111	0000111	0111	001111	00111	NA	NA
10	100000111	00100111	1100111	00010111	00000111	0000111	10111	001111	00111	NA
11	000000111	0100111	0010111	1100111	00010111	00000111	0000111	0111	001111	00111
12	000100111	01000111	00100111	11000111	1100111	00010111	00000111	0000111	0111	001111
13	001000111	000000111	0100111	0010111	11000111	1100111	00010111	00000111	0000111	0111
14	001100111	000100111	01000111	00100111	100000111	11000111	1100111	00010111	00000111	0000111
15	010000111	101100111	000000111	0100111	0010111	100000111	11000111	1100111	00010111	00000111
16	000010111	001000111	000100111	01000111	00100111	100100111	100000111	11000111	1100111	00010111
17	1000000111	001100111	010000111	000000111	0100111	0010111	100100111	100000111	11000111	1100111
18	0000000111	010000111	110000111	000100111	01000111	00100111	01111	100100111	100000111	11000111
19	0001000111	000010111	001000111	010000111	000000111	0100111	0010111	NA	100100111	100000111
20	0010000111	1000000111	001100111	110000111	000100111	01000111	00100111	01111	NA	100100111
21	0011000111	1001000111	010000111	100010111	010000111	000000111	0100111	0010111	NA	NA
22	0100000111	0000000111	000010111	001000111	110000111	000100111	01000111	00100111	01111	NA
23	1000100111	0001000111	1000000111	001100111	100010111	010000111	000000111	0100111	0010111	NA
24	0000010111	1011000111	1001000111	010000111	100001111	110000111	000100111	01000111	00100111	01111
25	00000000111	0010000111	011000111	000010111	001000111	100010111	010000111	000000111	0100111	0010111
26	00010000111	0011000111	0000000111	1000000111	001100111	100001111	110000111	000100111	01000111	00100111
27	10110000111	0100000111	0001000111	1001000111	010000111	100101111	100010111	010000111	000000111	0100111
28	11000000111	1000100111	1011000111	110010111	000010111	001000111	100001111	110000111	000100111	01000111
29	01000000111	0000010111	1100000111	011000111	1000000111	001100111	100101111	100010111	010000111	000000111
30	00001000111	00000000111	0010000111	0000000111	1001000111	010000111	01100111	100001111	110000111	000100111
31	00000100111	00010000111	0011000111	0001000111	110010111	000010111	001000111	100101111	100010111	010000111
32	00010100111	10110000111	0100000111	1011000111	110001111	1000000111	001100111	0110111	100001111	110000111
33	00100100111	11000000111	1000100111	1100000111	011000111	1001000111	010000111	01100111	100101111	100010111
34	00110100111	10001000111	0000010111	1000100111	0000000111	110010111	000010111	001000111	NA	100001111
35	10000010111	01000000111	00000000111	0010000111	0001000111	110001111	1000000111	001100111	0110111	100101111
36	00000010111	00001000111	00010000111	0011000111	1011000111	110101111	1001000111	010000111	01100111	NA
37	00010010111	00000100111	10110000111	0100000111	1100000111	011000111	110010111	000010111	001000111	NA
38	00100010111	00010100111	11000000111	1000100111	1000100111	0000000111	110001111	1000000111	001100111	0110111
39	00110010111	00101000111	10001000111	0000010111	1000010111	0001000111	110101111	1001000111	010000111	01100111
40	01000010111	00100100111	10000100111	00000000111	0010000111	1011000111	NA	110010111	000010111	001000111
41	000000000111	00110100111	01000000111	00010000111	0011000111	1100000111	011000111	110001111	1000000111	001100111
42	000100000111	01000100111	00001000111	10110000111	0100000111	1000100111	0000000111	110101111	1001000111	010000111
43	001000000111	00000010111	00000100111	11000000111	1000100111	1000010111	0001000111	NA	110010111	000010111

44	001100000111	00010010111	00010100111	10001000111	0000010111	1001010111	1011000111	NA	110001111	1000000111
45	010000000111	10110010111	10110100111	10000100111	000000000111	0010000111	1100000111	011000111	110101111	1001000111
46	000010000111	00100010111	00101000111	0100010111	00010000111	0011000111	1000100111	0000000111	NA	110010111
47	000001000111	00110010111	00100100111	01000000111	10110000111	0100000111	1000010111	0001000111	NA	110001111
48	000101000111	01000010111	00110100111	00001000111	11000000111	1000100111	1001010111	1011000111	NA	110101111
49	001001000111	000000000111	01000100111	00000100111	10001000111	0000010111	10010000111	1100000111	011000111	NA
50	001101000111	000100000111	00000010111	00010100111	10000100111	000000000111	0010000111	1000100111	0000000111	NA

Table 2. The third order variant Narayana codes of k for $(1 \leq k \leq 50)$ and $u = -11, -12, \dots, -20$

k	$VN_{-11}^{(3)}(k)$	$VN_{-12}^{(3)}(k)$	$VN_{-13}^{(3)}(k)$	$VN_{-14}^{(3)}(k)$	$VN_{-15}^{(3)}(k)$	$VN_{-16}^{(3)}(k)$	$VN_{-17}^{(3)}(k)$	$VN_{-18}^{(3)}(k)$	$VN_{-19}^{(3)}(k)$	$VN_{-20}^{(3)}(k)$
1	000111	000111	000111	000111	000111	000111	000111	000111	000111	000111
2	101111	101111	101111	101111	101111	101111	101111	101111	101111	101111
3	1111	1111	1111	1111	1111	1111	1111	1111	1111	1111
4	1000111	1000111	1000111	1000111	1000111	1000111	1000111	1000111	1000111	1000111
5	10000111	10000111	10000111	10000111	10000111	10000111	10000111	10000111	10000111	10000111
6	10010111	10010111	10010111	10010111	10010111	10010111	10010111	10010111	10010111	10010111
7	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
8	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
9	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
10	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
11	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
12	00111	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
13	001111	00111	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
14	0111	001111	00111	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
15	0000111	0111	001111	00111	NA	NA	NA	NA	NA	NA
16	00000111	0000111	0111	001111	00111	NA	NA	NA	NA	NA
17	00010111	00000111	0000111	0111	001111	00111	NA	NA	NA	NA
18	10110111	00010111	00000111	0000111	0111	001111	00111	NA	NA	NA
19	11000111	10110111	00010111	00000111	0000111	0111	001111	00111	NA	NA
20	100000111	11000111	10110111	00010111	00000111	0000111	0111	001111	00111	NA
21	100100111	100000111	11000111	10110111	00010111	00000111	0000111	0111	001111	00111
22	NA	100100111	100000111	11000111	10110111	00010111	00000111	0000111	0111	001111
23	NA	NA	100100111	100000111	11000111	10110111	00010111	00000111	0000111	0111
24	NA	NA	NA	100100111	100000111	11000111	10110111	00010111	00000111	0000111
25	NA	NA	NA	NA	100100111	100000111	11000111	10110111	00010111	00000111
26	01111	NA	NA	NA	NA	100100111	100000111	11000111	10110111	00010111
27	0010111	NA	NA	NA	NA	NA	100100111	100000111	11000111	10110111
28	00100111	01111	NA	NA	NA	NA	NA	100100111	100000111	11000111
29	0100111	0010111	NA	NA	NA	NA	NA	NA	100100111	100000111
30	01000111	00100111	01111	NA	NA	NA	NA	NA	NA	100100111
31	000000111	0100111	0010111	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
32	000100111	01000111	00100111	01111	NA	NA	NA	NA	NA	NA
33	010000111	000000111	0100111	0010111	NA	NA	NA	NA	NA	NA
34	110000111	000100111	01000111	00100111	01111	NA	NA	NA	NA	NA
35	100010111	010000111	000000111	0100111	0010111	NA	NA	NA	NA	NA
36	100001111	110000111	000100111	01000111	00100111	01111	NA	NA	NA	NA
37	100101111	100010111	010000111	000000111	0100111	0010111	NA	NA	NA	NA
38	NA	100001111	110000111	000100111	01000111	00100111	01111	NA	NA	NA

39	NA	10010111	10001011	01000011	00000011	010011	001011	NA	NA	NA
40	NA	NA	10000111	11000011	00010011	0100011	0010011	0111	NA	NA
41	011011	NA	10010111	10001011	01000011	00000011	010011	001011	NA	NA
42	0110011	NA	NA	10000111	11000011	00010011	0100011	0010011	0111	NA
43	00100011	NA	NA	10010111	10001011	01000011	00000011	010011	001011	NA
44	00110011	011011	NA	NA	10000111	11000011	00010011	0100011	0010011	0111
45	01000011	0110011	NA	NA	10010111	10001011	01000011	00000011	010011	001011
46	00001011	00100011	NA	NA	NA	10000111	11000011	00010011	0100011	0010011
47	100000011	00110011	011011	NA	NA	10010111	10001011	01000011	00000011	010011
48	100100011	01000011	0110011	NA	NA	NA	10000111	11000011	00010011	0100011
49	11001011	00001011	00100011	NA	NA	NA	10010111	10001011	01000011	00000011
50	11000111	100000011	00110011	011011	NA	NA	NA	10000111	11000011	00010011

C. SOME STRAIGHT LINES CORRESPONDING TO THIRD ORDER SOME VARIANT NARAYANA CODES

The Narayana codewords for $k = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ always exist and these are 000111, 101111, 1111, 1000111, 10000111, 10010111, respectively for any $u \leq -1$ since binary representations of 1, 2, 3, 4, 5, 6 are independent of u . Here, we take u , k and i as integers. Now, we discuss the following properties of the Narayana code by considering (u, k) as a point in (x, y) plane and with the help of Tables 1 and 2.

Proposition 1. For $u \leq -1$ there are six straight lines $y + 0x = 0 + i$ for $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ such that the six points $(u, 1 - 0u)$, $(u, 2 - 0u)$, $(u, 3 - 0u)$, $(u, 4 - 0u)$, $(u, 5 - 0u)$ and $(u, 6 - 0u)$ lie on these lines for $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ respectively which give the respective Narayana codewords 000111, 101111, 1111, 1000111, 10000111 and 10010111.

Proposition 2. For $u \leq -1$ there are ten straight lines $y + x = 1 + i$ for $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10$ such that the ten points $(u, 2 - u)$, $(u, 3 - u)$, ... and $(u, 11 - u)$ lie on these lines for $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10$ respectively which give the respective Narayana codewords 00111, 001111, 0111, 0000111, 00000111, 00010111, 10110111, 11000111, 100000111 and 100100111.

Proposition 3. For $u \leq -1$, there are twelve straight lines $y + 2x = 5 + i$ for $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12$ such that the twelve points $(u, 6 - 2u)$, $(u, 7 - 2u)$, ..., $(u, 17 - 2u)$ lie on these lines for $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12$ respectively which give the respective Narayana codewords 01111, 0010111, 00100111, 00110111, 0101111, 000000111, 000100111, 101100111, 110000111, 100010111, 100001111 and 100101111.

Proposition 4. For $u \leq -1$, there are eleven straight lines $y + 3x = 10 + i$ for $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11$ such that the eleven points $(u, 11 - 3u)$, $(u, 12 - 3u)$, ..., $(u, 21 - 3u)$ lie on these lines for $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11$ respectively which give the respective Narayana codewords 0110111, 01100111, 001000111, 001100111, 010000111, 000010111, 000001111, 1001000111, 110010111, 110001111 and 110101111.

Proposition 5. For $u \leq -1$, there are eight straight lines $y + 4x = 16 + i$ for $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8$ such that the eight points $(u, 17 - 4u)$, $(u, 18 - 4u)$, ..., $(u, 24 - 4u)$ lie on these lines for $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8$ respectively which give the respective Narayana codewords 011000111, 0000000111, 0001000111, 1011000111, 1100000111, 1000100111, 1000010111 and 1001010111.

Proposition 6. For $u \leq -1$, there are twelve straight lines $y + 5x = 19 + i$ for $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12$ such that the twelve points $(u, 20 - 5u)$, $(u, 21 - 5u)$, ..., $(u, 31 - 5u)$ lie on these lines for $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12$ respectively which give the respective

Narayana codewords 0010000111, 0011000111, 0100000111, 0000100111, 0000010111, 00000000111, 00010000111, 10110000111, 11000000111, 10001000111, 10000100111 and 10010100111.

Proposition 7. For $u \leq -1$, there are thirteen straight lines $y + 6x = 23 + i$ for $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13$ such that the thirteen points $(u, 24 - 6u), (u, 25 - 6u), \dots, (u, 36 - 6u)$ lie on these lines for $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13$ respectively which give the respective Narayana codewords 0110000111, 0010100111, 0010010111, 00100000111, 00110000111, 01000000111, 00001000111, 00000100111, 00010100111, 11001000111, 11000100111, 10000010111 and 10010010111.

Proposition 8. For $u \leq -1$, there are twelve straight lines $y + 7x = 30 + i$ for $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12$ such that the twelve points $(u, 31 - 7u), (u, 32 - 7u), \dots, (u, 42 - 7u)$ lie on these lines for $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12$ respectively which give the respective Narayana codewords 01100000111, 00101000111, 00100100111, 00110100111, 01000100111, 00000010111, 00010010111, 10110010111, 11000010111, 10001010111, 10000110111 and 10010110111.

Proposition 9. For $u \leq -1$, there are twelve straight lines $y + 8x = 35 + i$ for $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12$ such that the twelve points $(u, 36 - 8u), (u, 37 - 8u), \dots, (u, 47 - 8u)$ lie on these lines for $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12$ respectively which give the respective Narayana codewords 01101000111, 01100100111, 00100010111, 00110010111, 01000010111, 000000000111, 000100000111, 101100000111, 110000000111, 100010000111, 100001000111 and 100101000111.

Also, we obtained the point (u, k) satisfying more than one Narayana code straight line, does not have unique Narayana codeword.

D. CRYPTOGRAPHIC COMPARISON OF THE THIRD AND THE SECOND ORDER VARIANT NARAYANA CODES

Cryptography is all of the methods used to make an understandable message incomprehensible to undesirable people [12]. The focus of cryptography is privacy. The main purpose of cryptography is to ensure the two in order to get into touch over an insecure canal such that a rival, Oscar, can't understand. The information which is sent is called as plaintext, and the information is selected arbitrary [13].

Every algorithm uses a key to audit encryption and decryption, and a message may only be decrypted when the key meets the encryption key used. So the most important issue in encryption is the key. According to key structure, cryptography is divided into two as symmetric cryptography and asymmetric cryptography. Examples to symmetric cryptography are Vernam, DES, AES, while examples to asymmetric cryptography are RSA, ElGamal. In addition, there are different cryptographic system built, too. One of them is a system created using source coding. Some examples of these applications are included in [9, 14].

We know that variant Narayana universal coding is used in source coding as well as in cryptography. But these codes $(VN_u^{(3)}(k))$ which lack the ability to encode for certain values of k can't be used in cryptography. So, it is important to determine these codes. Here, we obtained there is no Zeckendorf's representation for the first integer $k = 7$ in the third order variant Narayana sequence $VN_{-7}^{(3)}(k) = \{-7, 10, 8, 1, 11, 12, 23, 42\}$. But we obtained there is no Zeckendorf's representation for the first integer $k = 3$ in the second order variant Narayana sequence $VN_{-1}^{(2)}(k) = \{-1, 4, 2, 1, 5, 7, 8, 13\}$. So, while $VN_{-1}^{(3)}, VN_{-2}^{(3)}, VN_{-3}^{(3)}, VN_{-4}^{(3)}, VN_{-5}^{(3)}, VN_{-6}^{(3)}$ can be used in cryptography for the third order variant Narayana codes, none of the second order variant Narayana codes can be used in cryptography. At that

rate, we obtained that the third order variant Narayana code are more useful than the second order variant Narayana code in terms of cryptography.

IV. CONCLUSION

In this study, firstly, we examined the second order variant Narayana codes and from the tables displayed by Das and Sinha [11]. And, we obtained for the only positive integer $k = 1$, the second order variant Narayana code $VN_u^{(2)}(k)$ exactly exists for $u = -1, -2, \dots, -20$. For $1 \leq k \leq 50$, there is at most j consecutive undetectable values (NA) the second order variant Narayana code in $VN_{-j}^{(2)}(k)$ column in which $1 \leq j \leq 20$. As long as j raises, the detectable of Narayana code is reduced in $VN_{-j}^{(2)}(k)$ column in which $1 \leq j \leq 20$.

Then, we described the third order variant Narayana sequence. Then, we obtained the third order variant Narayana codes based on these sequences we described. Afterwards, we showed in tables $VN_u^{(3)}(k)$ we have defined for $1 \leq k \leq 50$ and $u = -1, -2, \dots, -20$. From the tables, we got some important results. For $k = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ the third order variant Narayana code $VN_u^{(3)}(k)$ exactly exists. There is at most j consecutive undetectable values (NA) the third order variant Narayana code in $VN_{-(6+j)}^{(3)}(k)$ column in which $1 \leq j \leq 14$. As long as j raises, the detectable of Narayana code is reduced in $VN_{-(6+j)}^{(3)}(k)$ column in which $1 \leq j \leq 14$.

Also, we compared the results that obtained from the tables for the third order variant Narayana universal code and the second order variant Narayana universal code cryptographically. While $VN_{-1}^{(3)}, VN_{-2}^{(3)}, VN_{-3}^{(3)}, VN_{-4}^{(3)}, VN_{-5}^{(3)}, VN_{-6}^{(3)}$ can be used in cryptography for the third order variant Narayana codes, none of the second order variant Narayana codes can be used in cryptography. And so, we found that third order variant Narayana universal codes are much more advantageous than the second order variant Narayana universal code. Finally, we obtained some straight lines which yielding some Narayana codewords by considering (u, k) as a point in the (x, y) plane, from these tables.

V. REFERENCES

- [1] T. Koshy, *Fibonacci and Lucas Numbers with Applications*, 2nd Edition, New York, John Wiley&Sons, 2019.
- [2] J.H. Thomas, "Variations on the Fibonacci universal code," *arXiv: cs/0701085v2*, 2007.
- [3] J. Platos, R. Baca, V. Snasel, M. Kratky, E. El-Qawasmeh, "Fast Fibonacci encoding algorithm," *arXiv: cs/0712.0811v2*, 2007.
- [4] T. Buschmann, L.V. Bystrykh, 2013. "Levenshtein error-correcting barcodes for multiplexed DNA sequencing," *BMC Bioinformatics*, vol. 14, no. 1, pp. 272, 2013.
- [5] K. Kirthi, S. Kak, "The Narayana Universal Code," *arXiv: 1601.07110*, 2016.
- [6] E. Zeckendorf, "Représentation des nombres naturels par une somme des nombres de Fibonacci ou de nombres de Lucas," *Bulletin de La Société Royale des Sciences de Liege*, vol. 41, pp. 179–182, 1972.
- [7] S.T. Klein, M.K. Ben-Nissan, "On the usefulness of Fibonacci compression codes," *Computer Journal*, vol. 53, no. 6, pp. 701–716, 2010.

- [8] M. Basu, B. Prasad, “Long range variant of Fibonacci universal code,” *Journal of Number Theory*, vol. 130, pp. 1925-1931, 2010.
- [9] A. Nalli, C. Ozyilmaz, “The third order variations on the Fibonacci universal code,” *Journal of Number Theory*, vol. 149, pp. 15-32, 2015.
- [10] D.E. Daykin, “Representation of natural numbers as sums of generalized Fibonacci Numbers,” *Journal of London Mathematical Society*, vol. 35, pp. 143-160, 1960.
- [11] M. Das, S. Sinha, “A variant of the Narayana coding scheme,” *Control and Sybernetics*, vol. 48, no. 3, pp. 473-484, 2019.
- [12] C. Çimen, S. Akleylek, E. Akyıldız, *Şifrelerin Matematiği Kriptografi*, ODTÜ Press, Ankara, 2007.
- [13] D.R. Stinson, *Cryptography Theory and Practice*, Chapman & Hall, Ohio, CRC Press, 2002.
- [14] M. Basu, M. Das, “Uses of second order variant Fibonacci universal code in cryptography,” *Control and Cybernetics*, vol. 45, no. 2, pp. 239-257, 2016.



Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

A Fuzzy Multi-Objective Mixed Integer Linear Programming Model for End of Life Use

 Suna ÇINAR ^{a,*}

^a *Wichita State University Department of Industrial, System and Manufacturing Engineering, Wichita, USA*

** Corresponding author's e-mail address: cinarsuna@yahoo.com*

DOI: 10.29130/dubited.988963

ABSTRACT

One of the main challenges of designing the effective reverse logistic network is to predict the amount of product which reach end of their useful life. Thus, in this study, we propose fuzzy multi-objective mixed integer linear programming (Fuzzy-MOMILP) model which the amount of returned product is considered as an uncertain parameter. In order to solve the proposed multi objective fuzzy mathematical programming model, a fuzzy solution approach is applied. The proposed Fuzzy-MOMILP model seeks to minimize the total reverse logistic network cost and minimize the total carbon emissions related to the transportation and processing of used products. To validate the model, a case study is examined. The results of this study indicate that the proposed model can be used to design a sustainable reverse logistic network for end-of-life (EOL) products.

Keywords: *Fuzzy approach, Multi-objective optimization, Emissions*

Kullanım Ömrü Tamamlanmış Ürünler için Bulanık Çok Amaçlı Karma Tamsayı Doğrusal Programlama

ÖZ

Etkili bir tersine lojistik ağı tasarlanmanın temel zorluklarından biri, kullanım ömrünü tamamlamış geri dönüşüm veya başka amaçlar için kullanılacak ürünlerin miktarını tahmin etmektir. Bu nedenle bu çalışmada, kullanım ömrünü tamamlamış ürünlerin geridönüşüm için veya başka maksatla kullanılacak olması sebebi ile geri dönüşüm döngüsünde ürün miktarının belirsiz bir parametre olarak kabul edildiği bulanık mantık çok amaçlı karma tamsayı doğrusal programlama (Fuzzy-MOMILP) modeli önerilmiştir. Önerilen çok amaçlı bulanık mantık matematiksel programlama modelini çözmek için bir bulanık çözüm yaklaşımı uygulanmıştır. Önerilen Fuzzy-MOMILP modeli, toplam tersine lojistik ağ maliyetini en aza indirmeyi ve kullanılmış ürünlerin taşınması ve işlenmesiyle ilgili toplam karbon emisyonlarını en aza indirmeyi amaçlamaktadır. Önerilen modeli doğrulamak için bir vaka çalışması incelenmiştir. Bu çalışmanın sonuçları, önerilen modelin ömrünü tamamlamış ürünler için sürdürülebilir tersine lojistik ağı kurulurken fayda sağlayacağı gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Bulanık yaklaşım, Çok amaçlı optimizasyon, Emisyon*

I. INTRODUCTION

With rapid industrialization, environmental issues, such as increasing carbon emissions, are becoming huge concerns all over the world. To overcome some of these environmental problems, nations started to find alternative ways to reduce the environmental damages. Thus, using renewable energy resources, such as wind energy, have become one of the greenest alternative over the last two decades. However, considering the size of the wind turbines (WTs) and the amount of wind farms which is growing every year, it is obvious that more resources needed to build WTs[1]. Using the concept of the circular economy, after a turbine reaches its end-of-life (EOL), a WT should be either reused or recycled as much as possible to help reduce the need for virgin materials and waste quantities. Once a WT is manufactured its life expectancy is around 20 – 30 years, after that WTs usually get either repowered or decommissioned [2]. To apply circular economy concepts, reducing waste quantities and minimizing the need for virgin materials [3,4], there is a need to research an effective management of the WTs parts after their end-service-life. The purpose of this research is to evaluate the optimal handling procedures of EOL WTs in both environmental and economic level. Designing sustainable reverse logistic network may guarantees companies a level of circular economy. By implementing circular economy concept into reverse logistic operations for WTs, companies can reduce use of raw materials and can add value by reducing disposal costs by saving landfill space and energy as well as reducing carbon emissions [5,6].

The uncertainty in the EOL products quantity is one of the challenge that needs to be addressed while designing a sustainable reverse logistic networks [7]. In terms of uncertainty in return material, there is no exception for the WTs that reach their EOL. Therefore, we aim to develop a multi-period fuzzy multi-objective mixed integer linear programming (Fuzzy-MOMILP) model to handle the uncertainty in return quantity of EOL WTs. For the proposed model, we use two objectives, including minimizing the total costs and minimizing carbon dioxide emissions of the reverse logistic network. To handle the uncertainty, we use Zimmermann [8] multi-objective fuzzy linear programming approach. In literature, there are different methods that can be used to calculate the weights of each parameter such as fuzzy analytic hierarchy analysis. For the simplicity reason, in this study, different weights are assigned to each fuzzy objective function and a fuzzy constraint. By using a weighted additive approach, we convert the fuzzy multi-objective model into a single objective linear mathematical model.

Contributions of the proposed Fuzzy-MOMILP model are given below:

- In existing literature, despite potential EOL strategies to optimally manage WTs, the uncertainties both in remanufacturing and recycling processes, which may have huge impact on overall logistic cost and environmental effects were not considered.
- Based on the literature review, this is the first study consider multi products, multi period fuzzy approach, studying the multi-objective, including total cost and total carbon emissions for the WTs industry.

In section 2, we provide the literature review. In section 3, the details of the proposed mathematical model are given and in - section 4, the model results are given. In section 5, the effect of key parameters on model results are provided. Finally, in section 6, we summarize the study findings, conclusions and recommendations.

II. LITERATURE REVIEW

EOL reverse logistic networks design has been studied in great details for the last two decades. For the most of the designed problems, mixed integer models, stochastic models and heuristic methods (such as Genetic Algorithm) have been used [9-15]. In addition, due to presence of uncertain parameters that add the complexity to design effective reverse logistic network, traditional methods have been used to forecast the quantity of returned products by examining available data. However, some of these methods are not effective to provide solutions when there is not enough data. As these methods are successful at certain capacity, other techniques such as fuzzy logic systems can be used to cover uncertainty issues in reverse logistic network design [16]. As we use a fuzzy approach to solve the proposed model, in the following section, we summarize the studies that use similar approach to address the uncertainties in reverse logistic network design in EOL products.

Olugu and Wong [17], studied fuzzy logic to assess the reverse logistic network in the automotive industry. Based on the results obtained, it was found that the approach adopted is appropriate to evaluate the reverse logistic performance of the automotive industry. According to this study, managers can assess the reverse logistic processes and identify areas which are deficient. Consequently, they can improve the overall performance of their reverse logistic network.

Tadic [18] investigated the management of the electronic waste problem in uncertain environment. Defined problem was considered as a fuzzy, non-convex optimization problem with linear objective function and a set of linear and nonlinear constraints. In their problem, the fuzzy rating of collecting point capacities and fix costs of recycling centers are modeled by triangular fuzzy numbers by using an illustrative example with real-life data. The results of this study suggested that initial study can be used as an input for future research which is a good benchmark base for the tested reverse logistic network.

Govindana et al. [19] designed a multi objectives reverse logistic network that cost, environmental effect and social effects were selected as objective functions. To overcome the uncertain parameters, fuzzy mathematical programming with a particle swarm optimization algorithm was proposed. Comparing the proposed algorithm with epsilon-constraint method, it was concluded that proposed method gives better quality of the solution with less computational time.

Ergulen et al. [20] designed a reverse logistic network for recycling process as a form of recovery, to optimize reverse logistic costs by using fuzzy linear programming model in a real-time waste collection facility.

Ilgin [21] proposed a four-stage methods to select used product. During these four stage, the quantitative and qualitative selection criteria were determined first, then the weights of the criteria was determined by fuzzy analytic hierarchy process. During the last two stage, first, the values of quantitative criteria determined and then simulation were conducted to examine the applicability of the methodology.

Su [22] developed a fuzzy multi-objective linear programming. The objectives of the proposed model are minimize total costs, lead time and carbon emissions. The results of the study guide the decision maker to evaluate the importance of each objective function in recoverable remanufacturing planning.

Jeng and Lin [23] designed a green reverse logistic network by using fuzzy approach in recycled toner cartridge industry. In this study, by using fuzzy approach environmental inputs, such as law and regulations related to environmental issues and other environmental indicators as well as remanufacturing planning were determined to maximize the profits from green products.

Mavi et al. [24] analyzed sustainability and different risk factors for 3PL evaluation in plastic industry. For this purpose, first, fuzzy stepwise weight assessment ratio analysis was used to determine the weights for evaluation criteria. At the second step, fuzzy multi-objective optimization was used to rank the sustainable 3PL to overcome the uncertainties in the selected industry.

Colak and Boyaci [25], in their study assessed green performance of manufacturers which operate in the automotive sector by using a fuzzy multi criteria decision making (FMCDM) methods. In their model, 5 main criterias including green design, green energy, green material, green logistic and green management are selected, and 19 sub criteria are determined for the model. Based on the model results, , green energy as main criteria and low waste as sub criteria were determined as the most important criteria with weights of 0.268 and 0.1026 respectively. It is concluded that this model can be used as an effective tool for companies operating in the automotive industry for the purpose of measuring and following their green performance and selecting their suppliers.

Govindan et al. [26] studied supply chain network to examine the forward distribution partners and 3PL providers of electronic manufacturing firms was proposed. To evaluate the performance of the proposed network, fuzzy analytic hierarchy process was used. The multi objectives mixed integer programming, one objective is maximizing net profit manufacturing and the other objective maximizing the sustainable score of the forward and reverse logistic providers, was developed. The results of the study showed that integrated network can improve the sustainability performance and secure reasonable profits.

Doan et al. [27] employed a fuzzy theory which includes risk factors to overcome uncertain parameters in electronic industries. Based on the results, it was concluded that proposed approach provides flexibility during decision-making process.

Lu et al. [27] the proposed a fuzzy mixed integer linear programming model to examine the forward and reverse logistic network for multi-products in electronic assembly factory. In this study, uncertainties both in return and waste flow are examined. Model results including sensitivity analysis demonstrated that the proposed model provides effective solutions.

Zarbakshshnia et al. [28] developed a novel hybrid multiple attribute decision-making approach, which includes fuzzy analytic hierarchy process. Proposed method applied to a case study in car parts manufacturing industry to evaluate the effectiveness of the approach. The results showed that the proposed approach handles uncertain inputs well.

As listed above, most of these studies are addressing the uncertainty issues in logistic network for various industries, but to the best of our knowledge, there was not any study done in the field of WT EOL considering the uncertainties of the material recovery process which has a great environmental effect. By using Fuzzy-MILP, which integrate the uncertainty in recycling/remanufacturing of EOL WTs, we propose to close the research gap in the field of wind energy sector.

III. REVERSE LOGISTIC NETWORK MATHEMATICAL MODEL

In this study, we design our network which includes three wind farms (generating plants), three inspection centers, two recycling centers, two remanufacturing centers and one disposal center. The details of the network is given in Figure 1.

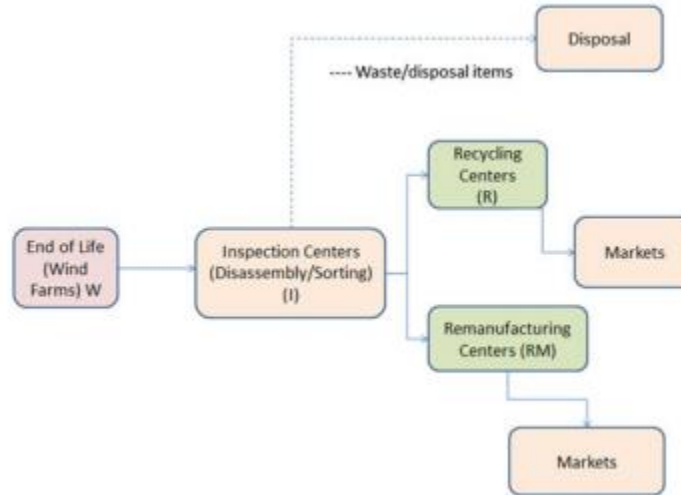


Figure 1. Reverse logistics of wind turbines

A. PROBLEM DEFINITION AND MILP MODEL FORMULATION

For the proposed Fuzzy-MOMILP used in this study, we use the mixed integer linear programming model (MILP) that was originally proposed by Cinar and Yildirim [29, 30]. As described in the original model, we have two objectives, including total network cost and carbon emissions. The network flow for EOL WTs starts at wind farms, which are considered as generation points. Dismantled WTs transferred from wind farm to inspection centers and from inspection centers, WTs parts either are sent to recycling or remanufacturing centers.

B. MODEL NOTATION

The proposed deterministic model components, sets, parameters, and variables are given as follows:

Sets:

- a: end-of-life product/component parts, $a \in A = \{1, \dots, |A|\}$
- j: set possible locations $j \in J = \{1, \dots, |J|\}$
- t: time periods, $t \in T = \{1, \dots, |T|\}$
- w: set of collection centers, $w \in W = \{1, \dots, |J|\}$
- i: set of inspection centers, $i \in I = \{1, \dots, |I|\} \subseteq J$
- m: set of remanufacturing centers, $m \in M = \{1, \dots, |M|\} \subseteq J$
- r: set of recycling centers, $r \in R = \{1, \dots, |R|\} \subseteq J$
- s: set of secondary markets, $s \in S = \{1, \dots, |S|\} \subseteq J$
- ds: set of disposal centers, $ds \in DS = \{1, \dots, |DS|\} \subseteq J$

Parameters:

Q_{wat} : amount of selected product/component dismantled at collection centers w (ton) in period t

CPI_{it} , CPR_{rt} ,
 CPM_{mt} ,
 CPD_{dst} : capacity of i, r, m, ds in period t

α : percent of the selected product/component a sent from i to r
 β : percent of the selected product/component a sent from i to ds
 γ : percent of the selected product/component a sent from i to m
 ∇, μ : percent of the selected product/component a sent from r/m to s , respectively

Costs:

PRR_{rat} , PRM_{mat} : price of the selected product/component a sold to secondary market at r, rm at time period t (\$/ton), respectively

FI_{it} , FM_{mt} , FR_{rt} , FA_{lt} : fixed cost for opening i, m, r, l in period t (\$), respectively
 POI_{ait} , POR_{art} , POM_{amt} ,
 POA_{alt} : operating cost for one unit of end-of-life product/component a at i, r, m, l in period t (\$/ton), respectively

CI_{ait} , CR_{art} , CM_{amt} ,
 CA_{alt} : carbon emissions for processing one unit of the selected product/component a at each i, r, m, l in period t (gram), respectively

TR_{wiat} , TR_{irat} , TR_{imat} ,
 TR_{rsat} , TR_{msat} , TR_{ilat} : transportation distance from w to i, i to r, i to m, r to s, m to s , or i to l (mile), respectively

θ : transpiration cost factor (\$/ton mile)
 Ω : emissions factor (gram/unit-mile)
 di : inflation rate

Decision Variables:

$X1_{wiat}$, $X2_{imat}$, $X3_{irat}$, $X4_{msat}$, $X5_{rsat}$,
 $X6_{ilat}$: product/component shipped from one center to another in period t , respectively

Binary Variables:

Y_{it} , Z_{mt} , U_{rt} , $A_{lt} = \begin{cases} 1 & \text{if a center is operating in period } t \in T, \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$

C. MODEL FORMULATION

Here, (1) maximization of total profit and (2) minimization of total environmental impact (carbon emissions) are formulated as two conflicting objective functions.

C.1 First Objective (Total Cost)

The first objective is the total cost, which consists of total profit of selling product at remanufacturing and, recycling centers minus the total network cost. The breakdown for the total network cost is: transportation, operating, capital cost of opening each center. Our first objective is formulated as below:

$$\text{Maximize profit } Z_1 = Z_{11} - (Z_{12} + Z_{13} + Z_{14}) \quad (1)$$

Profit of selling materials

$$Z_{11} = \sum_t \sum_a \sum_i \sum_m \text{PRM}_{\text{mat}} * X2_{\text{imat}} * (1 + \text{di})^{-t} + \sum_t \sum_a \sum_i \sum_r \text{PRR}_{\text{rat}} * X3_{\text{irat}} * (1 + \text{di})^{-t} \quad (1a)$$

Fixed cost $Z_{12} =$

$$\sum_i \sum_t \text{FI}_{\text{it}} * (Y_{\text{it}} - Y_{\text{i,t-1}}) * (1 + \text{di})^{-t} + \sum_m \sum_t \text{FM}_{\text{mt}} * (Z_{\text{mt}} - Z_{\text{m,t-1}}) * (1 + \text{di})^{-t} + \sum_r \sum_t \text{FR}_{\text{rt}} * (U_{\text{rt}} - U_{\text{r,t-1}}) * (1 + \text{di})^{-t} + \sum_l \sum_t \text{FA}_{\text{lt}} * (A_{\text{lt}} - A_{\text{l,t-1}}) * (1 + \text{di})^{-t} \quad (1b)$$

Transportation cost $Z_{13} =$

$$\sum_t \sum_a \sum_w \sum_i \text{TR}_{\text{wiat}} * \theta * X1_{\text{wict}} * (1 + \text{di})^{-t} + \sum_t \sum_a \sum_i \sum_m \text{TR}_{\text{imct}} * \theta * X2_{\text{imct}} * (1 + \text{di})^{-t} + \sum_t \sum_a \sum_i \sum_r \text{TR}_{\text{irat}} * \theta * X3_{\text{irat}} * (1 + \text{di})^{-t} + \sum_t \sum_c \sum_m \sum_s \text{TR}_{\text{msct}} * \theta * X4_{\text{msat}} * (1 + \text{di})^{-t} + \sum_t \sum_a \sum_r \sum_s \text{TR}_{\text{rsat}} * \theta * X5_{\text{rsat}} * (1 + \text{di})^{-t} + \sum_t \sum_a \sum_i \sum_l \text{TR}_{\text{ilat}} * \theta * X6_{\text{ilat}} * (1 + \text{di})^{-t} \quad (1c)$$

Operations and disposal cost $Z_{14} =$

$$\sum_t \sum_a \sum_w \sum_i \text{POI}_{\text{ait}} * X1_{\text{wiat}} * (1 + \text{di})^{-t} + \sum_t \sum_a \sum_i \sum_m \text{POM}_{\text{amt}} * X2_{\text{imat}} * (1 + \text{di})^{-t} + \sum_t \sum_a \sum_i \sum_r \text{POR}_{\text{art}} * X3_{\text{irat}} * (1 + \text{di})^{-t} + \sum_t \sum_c \sum_i \sum_l \text{POA}_{\text{ast}} * X5_{\text{ilat}} * (1 + \text{di})^{-t} \quad (1d)$$

C.2 Second Objective (carbon emissions)

The total carbon emissions comes from the transportation activities. So, the second objective function can be formulated as follows.

Minimize carbon emissions $Z_2 =$

$$\begin{aligned} & \sum_t \sum_w \sum_a \sum_i \text{TR}_{\text{wiat}} * \Omega * X1_{\text{wiat}} * (1 + \text{di})^{-t} + \sum_t \sum_a \sum_i \sum_r \text{TR}_{\text{irat}} * \Omega * X3_{\text{irat}} * (1 + \text{di})^{-t} + \sum_t \sum_a \sum_i \sum_m \text{TR}_{\text{imat}} * \Omega * X2_{\text{imat}} * (1 + \text{di})^{-t} + \sum_t \sum_a \sum_m \sum_s \text{TR}_{\text{msat}} * \Omega * X4_{\text{msat}} * \\ & (1 + \text{di})^{-t} + \sum_t \sum_a \sum_r \sum_s \text{TR}_{\text{rsat}} * \Omega * X5_{\text{rsat}} * (1 + \text{di})^{-t} + \sum_t \sum_w \sum_a \sum_i \text{CI}_{\text{ait}} * \\ & X1_{\text{wiat}} * (1 + \text{di})^{-t} + \sum_t \sum_a \sum_i \sum_m \text{CM}_{\text{amt}} * X2_{\text{imat}} * (1 + \text{di})^{-t} + \sum_t \sum_a \sum_i \sum_r \text{CR}_{\text{art}} * \\ & X3_{\text{irat}} * (1 + \text{di})^{-t} + \sum_t \sum_l \sum_a \sum_i \text{CA}_{\text{alt}} * X6_{\text{ilat}} * (1 + \text{di})^{-t} \end{aligned} \quad (2)$$

The constraints of the deterministic model are given below:

$$Q_{\text{wat}} = \sum_{i \in I} X1_{\text{wiat}} \quad w \in W, a \in A, t \in T \quad (3)$$

$$\alpha + \beta + \gamma = 1 \quad (4)$$

$$\sum_{w \in W} \alpha * X1_{wiat} = \sum_{m \in M} X2_{imct} \quad i \in I, a \in A, t \in T \quad (5)$$

$$\sum_{w \in W} \beta * X1_{wiat} = \sum_{r \in R} X3_{irat} \quad i \in I, a \in A, t \in T \quad (6)$$

$$\sum_{a \in A} \gamma * X1_{wiat} = \sum_{l \in L} X6_{ilat} \quad i \in I, a \in A, t \in T \quad (7)$$

$$\sum_{i \in I} \nabla * X2_{imat} = \sum_{s \in S} X4_{msat} \quad m \in M, a \in A, t \in T \quad (8)$$

$$\sum_{i \in I} \mu * X3_{irct} = \sum_{s \in S} X5_{rsat} \quad r \in R, a \in A, t \in T \quad (9)$$

$$\sum_{w \in W} \sum_{a \in A} X1_{wiat} \leq \text{CAPI}_{it} * Y_{it} \quad i \in I, t \in T \quad (10)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{a \in A} X3_{irat} \leq \text{CAPR}_{rt} * U_{rt} \quad r \in R, t \in T \quad (11)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{a \in A} X2_{imat} \leq \text{CAPM}_{mt} * Z_{mt} \quad m \in M, t \in T \quad (12)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{a \in A} X6_{ilat} \leq \text{CAPD}_{lt} * A_{lt} \quad l \in L, t \in T \quad (13)$$

$$X1_{wiat}, X2_{imat}, X3_{irat}, X4_{msat}, X5_{rsat}, X6_{ilat} \geq 0 \quad (14)$$

$$Y_{it} \in \{0,1\}, Z_{mt} \in \{0,1\}, U_{rt} \in \{0,1\}, A_{lt} \in \{0,1\} \quad i \in I, r \in R, M \in M, t \in T, l \in L \quad (15)$$

$$Y_{it} \leq Y_{i,t+1} \quad i \in I, t \in T \quad (16)$$

$$U_{rt} \leq U_{r,t+1} \quad r \in R, t \in T \quad (17)$$

$$Z_{mt} \leq Z_{m,t+1} \quad m \in M, t \in T \quad (18)$$

$$A_{lt} \leq ZA_{l,t+1} \quad l \in L, t \in T \quad (19)$$

The first constraint (3) is a flow balance which provides flow from wind farm (the number of disassemble wind turbines) to inspection centers. The second constraint (4) satisfy the ratio of products/components sent to each center. The constraints (5) through (8) are flow balance constraints for each center. Constraint (9) represents the demand constraint which satisfy demand for the remanufactured WTs at each time period. Constraints (10) through (13) are the capacity constraint for each center. Constraint (14) represent the non-negativity constraint, and constraint (15) represent the integrality constraint, respectively. Constraints (16 to 19) are binary variables.

D. FUZZY MULTI-OBJECTIVE MIXED INTEGER LINEAR PROGRAMING (FUZZY-MOMILP) MODEL

It is not certain exactly how many WTs will be dismantled after they reach their end of life span, which is around 20-30 years. Due to extensive preventive maintenance and possible retrofitting, it is very likely that some of the WTs that are expected to retire could be in service further at least 5-10 more years. Therefore, this may cause uncertainty in WTs reverse logistic network design. We assume that the number of WTs retired at wind farms is a fuzzy parameter and we propose using fuzzy theory developed by Zimmermann [8]. As a result, in our initial model, the parameter Q_{wt} number of WTs collected from wind farms was replaced with a fuzzy parameter \widetilde{Q}_{wt} .

Using Zimmermann approach, the membership functions are calculated and then the linear programming model is converted to fuzzy model by adding fuzzy objective functions and fuzzy constraints as new constraints. In this study, based on the method developed by Tiwari et al. [31], a weighted additive method used to assign appropriate weights to each fuzzy objective and fuzzy constraints. For the simplicity reason,

in this study, we assigned the weight based on the expert opinion. Newly added model variables, fuzzy parameter, new fuzzy objective functions, and fuzzy constraints are provided below.

Newly added variables:

$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$: membership degrees of intersections of fuzzy sets

Fuzzy parameter:

\widetilde{Q}_{wt} : amount of WT dismantled by wind farm operator w (ton) in period t

λ_1, λ_2 : weights for the objective functions

γ_1 : weights for the constraints

The fuzzy objective functions:

$$\widetilde{Z}_1 = Z_{11} - (Z_{12} + Z_{13} + Z_{14}) < Z_1 \quad (20)$$

$$\begin{aligned} \widetilde{Z}_2 = & \sum_t \sum_w \sum_a \sum_i TR_{wiat} * \Omega * X1_{wict} * (1 + di)^{-t} + \sum_t \sum_a \sum_i \sum_r TR_{irat} * \Omega * X3_{irct} * (1 + \\ & di)^{-t} + \sum_t \sum_a \sum_i \sum_m TR_{imat} * \Omega * X2_{imat} * (1 + di)^{-t} + \sum_t \sum_a \sum_m \sum_s TR_{msat} * \Omega * \\ & X4_{msat} * (1 + di)^{-t} + \sum_t \sum_w \sum_a \sum_i CA_{ait} * X1_{wiat} * (1 + di)^{-t} + \\ & \sum_t \sum_a \sum_i \sum_m CM_{amt} * X2_{imat} * (1 + di)^{-t} + \sum_t \sum_a \sum_i \sum_r CR_{art} * X3_{irat} * (1 + di)^{-t} + \\ & + \sum_t \sum_l \sum_a \sum_i CA_{alt} * X5_{ilct} * (1 + di)^{-t} \end{aligned} \quad (21)$$

Fuzzy constraints:

$$\widetilde{Q}_{wct} = \sum_{i \in I} X1_{wiat} \quad w \in W, a \in A, t \in T \quad (22)$$

The linear membership functions of fuzzy objective functions and fuzzy constraint are calculated using the following formulas. For the maximization problem (positive targets) we use equation (23), and for the minimization problem (fuzzy negative targets) we use equation (24), and for the fuzzy constraints we use equation (25).

$$\mu_{z_{mx}}(x) = \begin{cases} 1, & Z_{mx} \leq \bar{Z}_{mx} \\ \frac{Z_{mx}^+ - Z_{mx}(x)}{Z_{mx}^+ - Z_{mx}^-} & Z_{mx}^- \leq Z_{mx} \leq Z_{mx}^+ \\ 0 & Z_{mx} \geq Z_{mx}^+ \end{cases} \quad mx = 1, 2, \dots, s \quad (23)$$

$$\mu_{z_m}(x) = \begin{cases} 1, & Z_m \geq Z_m^+ \\ \frac{Z_m(x) - Z_m^-}{Z_m^+ - Z_m^-} & Z_m^- \leq Z_m(x) \leq Z_m^+ \\ 0 & Z_m \leq Z_m^- \end{cases} \quad m = s + 1, s + 2, \dots, t \quad (24)$$

$$\mu_{g_p}(x) = \begin{cases} 1, & g_p(x) \leq b_p \\ 1 - \frac{g_p(x) - b_p}{t_p} & b_p \leq g_p(x) \leq b_p + t_p \\ 0 & g_p(x) \geq b_p + t_p \end{cases} \quad p = 1, 2, \dots, y \quad (25)$$

To be able to calculate the membership function values, we need the lower and upper limits for each objective function and constrain. Therefore, we solve the deterministic model for each objective function and constrain. The lower and upper limit values are given in Table 1.

Table 1. Membership Functions

Fuzzy Objectives	μ=0	μ=1 (min)	μ=0 (max)
Z_1	-	-134,757,000	-18,833,760
Z_2	-	29,012.67	128,010.0
Constraints	μ=0	μ=1 (min)	μ=0 (max)
Fuzzy constraint	46	1500	2803

After the membership functions are calculated, the fuzzy model is converted to the linear programming model. The target weights for objective functions is assumed to be 0.6, and 0.3, respectively. The weight for the fuzzy constraint is taken as 0.10. Based on these weights, new objective function is formulated as below.

New objective function:

$$Max \ 0.6\lambda_1 + 0.3\lambda_2 + 0.1\gamma_1 \quad (26)$$

$$\lambda_1 \leq \frac{1.34757E + 8 - Z_1}{1.34757E + 8 - 1.88338E + 7} \quad (27)$$

$$\lambda_2 \leq \frac{Z_2 - 29012.671}{128010.077 - 29012.671} \quad (28)$$

$$\gamma_1 \leq \frac{46 - Q_{wict}}{2803 - 46} \quad (29)$$

Subject to: constraints (4)-(19).

E. INPUT PARAMETER

In this study, the percent composition of each WT component and the weight data is taken from the Vestas V82 1.65-MW WT. The composition of the selected turbine type is given in Table 2. We assumed that at recycling centers, we sell the ferrous metals based on their weight % and at remanufacturing center, we assumed that, we sell whole WT parts (tower, gearbox, and nacelle) as remanufactured products. The cost value of each component at recycling centers, the current market price (\$/ton) of the metals is used. For remanufacturing facility, we use the average market price for each WT part. The total disposal cost of a turbine is calculated based on the expert opinions. The market prices of remanufactured components and recycled metals extracted in WTs are listed Table 3 and Table 4, respectively. The weight of a WT is assumed as 245 tons [32].

Table 2: Composition of Vestas V82 1.65-MW Wind Turbine [32]

Materials	Weight of recycled material per Turbine (ton)	Percentage of recycled material (%)
Steel	159.4	59
Iron	29.3	11
Copper	4.38	2
Aluminum	8.69	3
Disposable materials (epoxy, oil and etc.)	42.77	16
Total weight of a WT (ton)	245	

Table 3: Market value of Reusable/Remanufactured Materials for 1.65-MW Wind Turbine [33]

	WT Compound	Main Material	Quantity of the Material (Ton)	Average Market price for remanufactured WT compounds (\$)	Cost of material (\$/ton)
Remanufacturing	Tower	Steel	135	\$125,000	\$1,000
	Nacelle	Stainless	8	\$50,000	\$7,000
	Gearbox	Iron	11	\$75,000	\$4,800

Table 4: Market value of Recyclable Materials and Disposal Cost for 1.65-MW Wind Turbine [33,34]

Material	Quantity of the Material (Ton)	Cost (\$/ton)
Steel	159.4	\$522

Recycling	Iron	29.3	\$300
	Aluminum	20	\$1,482
Disposal	Epoxy, plastic, fiber	42.77	\$33.35

The operation and installation costs for each center are given in Table 5.

Table 5: Operation and Installation Cost [35]

	Iteming	Cost*
Operating Cost	remanufacturing center	[\$10,000–\$50,000]
	inspection center + dismantling cost	[\$1,000–\$5,000] [\$35,000 added dismantling cost]
	recycling center	[1,000-5,000]
Installation cost of centers	Inspection, remanufacturing, and recycling centers	[15,000 - 70,000]

*Each cost is estimated based on expert opinion

IV. MODEL RESULTS

In this study, Generic Algebraic Modeling System (GAMS) is used to code the model and CPLEX optimizer was used as solver tool. Three time period is used for the model runs.

Based on the model results, the value of the first objective function, which is the total cost, is found to be \$11,866,313.38. The total amount of carbon emitted to the environment due to transports is approximately 38.8 tons. The objective function of the Fuzzy-MOMILP model is found to be 0.802. In other words, the probability of these values we obtain under uncertainties is 0.802. The degree of achievement of fuzzy objective 1 and fuzzy objective 2 is calculated to be 0.86 and 0.901, respectively. The degree of achievement of fuzzy constraint is found to be 1.0. Based on the optimum solution of the fuzzy approach, all of the five inspection centers and 4 recycling centers, one disposal center and two remanufacturing centers must be open at all time. Summary of the model results is given in Table 6 and cost data is depicted in Figure 2.

Table 6. Fuzzy Multi-Objective Mixed Integer Linear Programing (Fuzzy-MOMILP) Model Results

Parameters	Fuzzy model results
λ	0.802
Objective function 1	\$3,771,939
Objective function 2	38,8 ton
# recycling, remanufacturing and disposal centers opened	5 Inspection centers 3 recycling centers 1 disposal centers and

	2 remanufacturing centers
Recycled material	6.40 ton
Remanufacturing material	9.87 ton
Disposed material	1.14 ton

The total cost breakdown of the model is presented in Figure 2. Based on the cost data, it can be seen that remanufacturing revenue is higher than the recycling revenue, but due to the high operating and installation costs, the total profit is still below the total cost of the whole reverse logistic network.

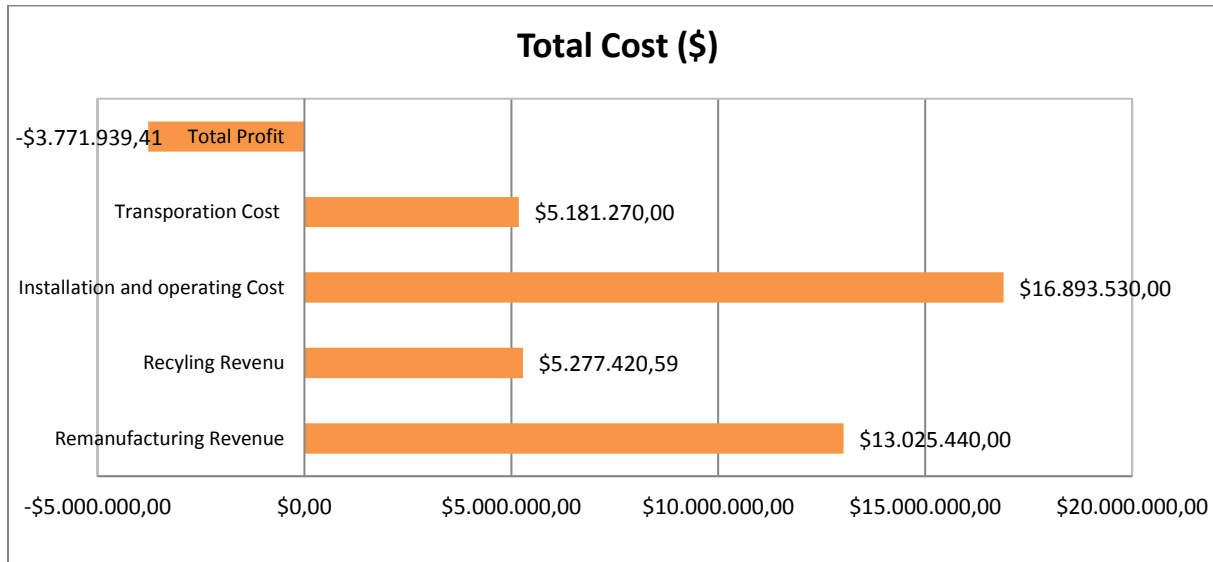


Figure 2. Cost of each component of reverse logistic network

V. SENSITIVITY ANALYSIS

Here, the effect of the change in the weights of the two different fuzzy objectives and the fuzzy constraint is examined. The weights of the fuzzy objectives and fuzzy constraint are changed incrementally to observe the relationship between each fuzzy objective and the fuzzy constraint. The weights that we use for the sensitivity analysis are to be in the range of [0.10; 1.0]. In the first analysis, starting from the first objective, the weight is changed with an incremental increase of 0.10 while the weight of the second objective is changed proportionally and the fuzzy constraint is kept constant. In the second analysis, the weight of the fuzzy constraint is changed in increments of 0.1 while, the weight of the first objective is changed proportionally and the second objective is kept constant. In the third analysis, similar to the second analysis, the weight of the fuzzy constraint is changed in increments of 0.1 and the weight of second objective is changed proportionally while the weight of first objective is kept constant. The results of each analysis are presented in the following sections.

A. CHANGES IN CARBON EMISSIONS WHILE CHANGING THE WEIGHT OF TOTAL COST OBJECTIVE

In the first analysis, to examine the effect of each fuzzy objective weight, the weight of fuzzy constraint is kept constant while the weight of each fuzzy objective is changed incrementally. In this first analysis, for each 0.10 incremental increase in the weight of total cost objective, the total carbon emissions weight is arranged so that the total weight of all the fuzzy objectives and fuzzy constraints is equal to 1. Table 9 shows the objective function value of Fuzzy-MOMILP model, the breakdown of the total cost, total revenue, total profit and the total carbon emissions calculated for different weights of the objective function 1.

Table 9. Sensitivity by changing the weights of the total cost objective

Weight obj. 1	Weight obj. 2	Weight of fuzzy constraint	Fuzzy objective function	Total Profit (\$)	Total Cost (\$)	Total Revenue (\$)	Carbon emissions (kg)
0.1	0.8	0.1	0.828	\$-4,049,024	29,267,218	25,218,194	128010.1
0.2	0.7	0.1	0.737	\$-4,049,024	29,267,218	25,218,194	128010.1
0.3	0.6	0.1	0.731	\$-3,771,939	22074800	25,218,194	38800.65
0.4	0.5	0.1	0.763	\$-4,108,944	16,864,554	12,755,610	38800.65
0.5	0.4	0.1	0.709	\$-4,311,844	14,878,136	10,566,292	38800.65
0.6	0.3	0.1	0.779	\$-4,311,844	14,878,136	10,566,292	38800.65
0.8	0.1	0.1	0.918	\$-4,311,844	14,878,136	10,566,292	38800.65

Figure 3 shows the change in total profit for the changing weights of the fuzzy objective 1 (cost objective). As seen in the Figure 3, when the target's weight of fuzzy objective 1 is increased, the total profit decreases. When the results of the model are examined, it is seen that the material recycling rate has increased from 65% to 85%. Therefore, it can be said that the model reduces the material remanufacturing rate in order to reduce the total carbon emissions comes from remanufacturing centers as the carbon emissions rate at remanufacturing center is higher than recycling centers. Therefore, this outcome is highly predictable. It is also observed that while the target's weight of objective 1 is between 0.50 and 0.80, the total cost values are similar.

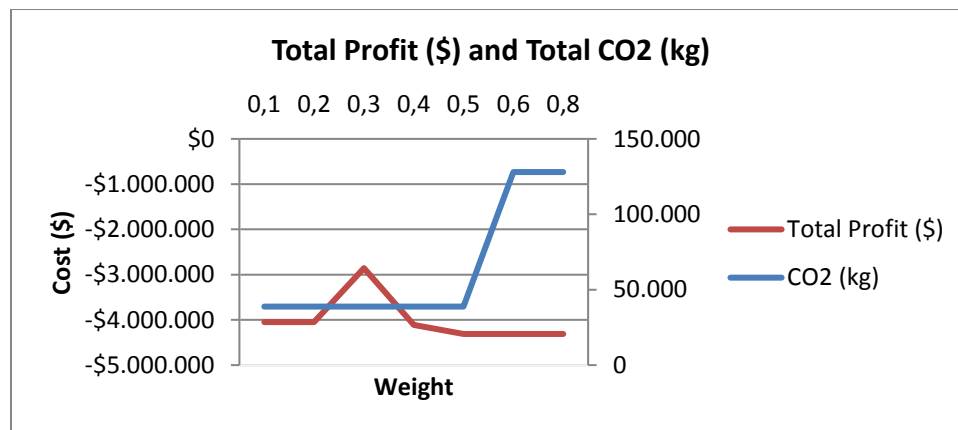


Figure 3. Changes in carbon emissions and total profit while changing the weight of fuzzy objective 1

B. CHANGES IN TOTAL COST WHILE CHANGING THE WEIGHT of FUZZY CONSTRAINT

The analyzes performed in this section are similarly designed in section 5.2. To be able to see the effect of different weights, here, we change the fuzzy constraint weight while keeping the objective function 2 (carbon emissions) weight constant. The results of the first analysis are given Table 10, and Figure 4.

Table 10. Sensitivity by changing the weights of the total cost objective

Weight obj. 1	Weight obj. 2	Weight of fuzzy constraint	Fuzzy objective function	Total Profit (\$)	Total Cost (\$)	Total Revenue (\$)	Carbon emissions (kg)
0.8	0.1	0.1	0.928	\$-8,700,926	29,267,218	10,566,292	128010.08
0.7	0.1	0.2	0.926	\$-18,700,926	29,267,218	10,566,292	128010.08
0.6	0.1	0.3	0.925	\$-18,700,926	29,267,218	10,566,292	128010.08
0.5	0.1	0.4	0.924	\$-18,700,926	29,267,218	10,566,292	128010.08
0.4	0.1	0.5	0.922	\$-12,045,686	22,611,978	10,566,292	128010.08
0.3	0.1	0.6	0.921	\$-4,311,844	14,878,136	10,566,292	128010.08
0.2	0.1	0.7	0.919	\$-4,311,844	14,878,136	10,566,292	128010.08
0.1	0.1	0.8	0.918	\$-4,311,844	14,878,136	10,566,292	128010.08

Figure 4 depicts the change in the weight of the fuzzy constraint and the change in the total cost. As can see from the figure, when the target's weight reaches from 0.10 to 0.40, the total profit does not change and at point 0.5, the total profit start decreasing. This can be due to sending more product to recycling centers where the recycled product market price is lower than remanufactured products. For this reason, total revenue cost decrease, accordingly. When the weight reaches 0.60, the cost stays the same as the model reaches an optimal point.

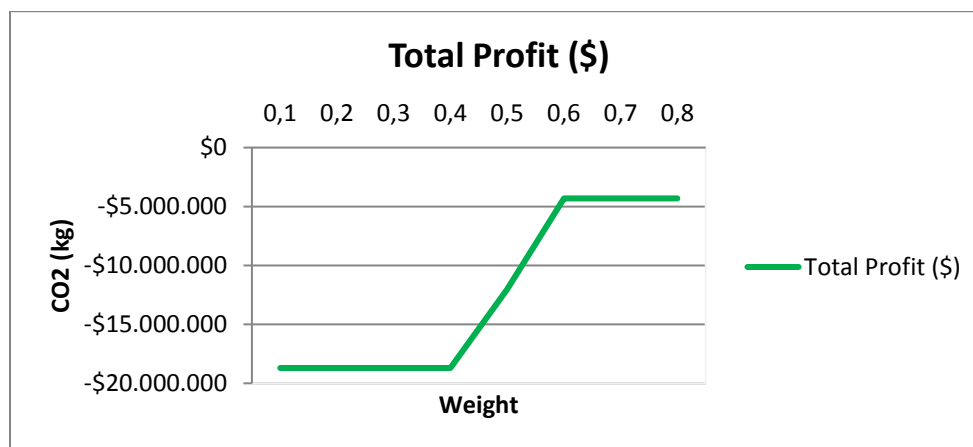


Figure 4. Changes in carbon emissions while changing the weight of fuzzy constraint

C. CHANGES IN CARBON EMISSIONS WHILE CHANGING THE WEIGHT of FUZZY CONSTRAINT

In this analysis, the weight of objective function 1 (total cost) is kept constant and fuzzy constraint and the total carbon objective 2 are changed, accordingly. The each 0.10 increase in the weight of the fuzzy constraint is investigated to observe the changes in total carbon emissions. The results of the analysis are given Table 10, and Figure 5, respectively.

Table 11. Sensitivity by changing the weights of the total cost objective

Weight obj 1	Weight obj 2	Weight of fuzzy constraint	Fuzzy objective function	Total Profit (\$)	Total Cost (\$)	Total Revenue (\$)	Carbon emissions (kg)
0.1	0.1	0.8	0.928	4,311,844	14,878,136	10,566,292	30351.096
0.1	0.2	0.7	0.926	4,311,844	14,878,136	10,566,292	30351.096
0.1	0.3	0.6	0.925	4,311,844	14,878,136	10,566,292	30351.096
0.1	0.4	0.5	0.924	4,311,844	14,878,136	10,566,292	30351.096
0.1	0.5	0.4	0.922	4,311,844	14,878,136	10,566,292	30351.096
0.1	0.6	0.3	0.921	4,311,844	14,878,136	10,566,292	30351.096
0.1	0.7	0.2	0.919	4,311,844	14,878,136	10,566,292	30351.096
0.1	0.8	0.1	0.918	4,311,844	14,878,136	10,566,292	30351.096

In Figure 5, the change in the weight of the fuzzy constraint and the change in the total carbon emissions is given graphically. It is observed that changing the weight of the fuzzy constraint does not change the amount of carbon emissions. This shows that the fuzzy constraint weight does not play importance on the objective function 2.

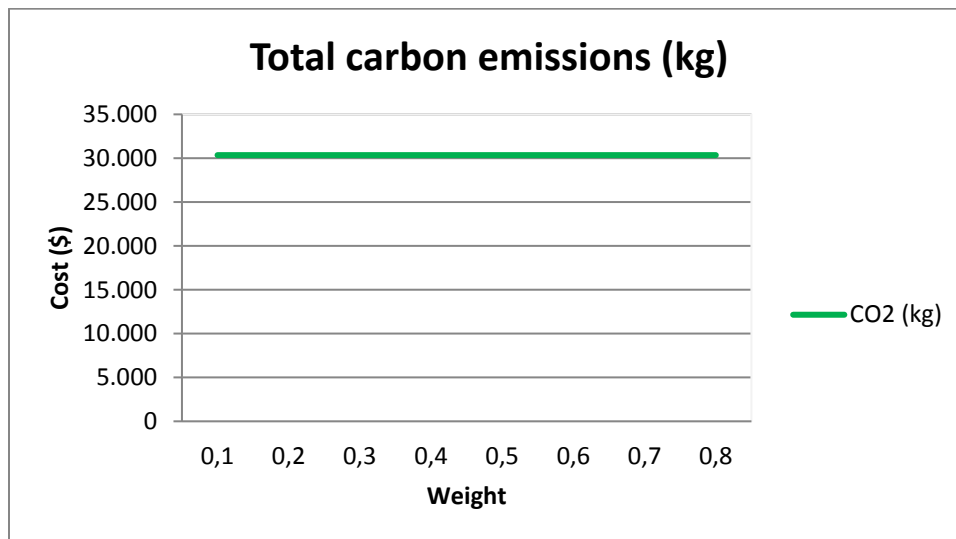


Figure 5. Changes in carbon emissions while changing the weight of fuzzy constraint

As sum, the results of each scenario represent that the proposed model fits all scenarios quite well. The key issue here is not knowing the physical conditions of WTs. If there is not enough data about the condition of the WTs, it is hard to decide which WTs need to be sent to recycling or remanufacturing center. Therefore, model results can provide guidance to address the potential challenges, which are led due to uncertainties in the EOL material amounts of WTs.

VI. CONCLUSION

To be able to overcome issues may arise due to uncertainty in EOL products' reverse logistic networks, in this paper, we developed a fuzzy multi objective programming model for EOL WTs. The uncertainty in a reverse logistic network may result in a lower/higher recycling or remanufacturing rate of the EOL products, which may cause loss of profit or cause more emissions release due to improper network design. Therefore, in this paper, we build a Fuzzy-MOMILP model which take the uncertainty of the return EOL products quantity into account.

The results of the numerical experiments indicated that the value of the first objective function, total cost, is \$11,866,313.38 and the total amount of carbon emissions due to transportation activities is approximately 38.8 tons. The objective function of the FMODEP model was found to be 0.802. Thus, under uncertainties, the probability of these values is calculated to be 0,802. In addition, the degree of achievement of fuzzy objective 1, fuzzy objective 2 and fuzzy constraint is calculated to be 0.86, 0.901, and 1.0.

The paper has provided important insights to decision makers while designing reverse logistic network under uncertainty. Even though, WTs operators/decision makers may not know how many WTs may be dismantled at each wind farm, using the proposed model, different EOL product, considered as supply, can be predicted. In future studies, it will be worthy of investigation for the followings:

- To validate the results from the proposed model, more parameters may be examined. For example, in future study, the cost increase in recycling and remanufacturing operations may be examined to analyze the effect of these parameters on the model results.
- Future works may include more uncertain parameters, such as secondary market demand. Adding more uncertain parameters may change the complexity of the model that may require building different solution methods/algorithm.
- In the solution method, for the simplicity reason, different weights are assigned to each fuzzy objective function and fuzzy constraint, randomly. For the accuracy, the weights of each parameter can be calculated by using different methods such as fuzzy analytic hierarchy analysis.

In terms of managerial implications, due to the technical and economic aspect, the designing a sustainable reverse logistic network for EOL WTs can be more complicated. Such as, with new technologies, there may not be a need for remanufactured WTs due to low energy production capacity, reliability issues and etc. Therefore, based on technological improvement in the sectors such as retrofitting WTs, which is not considered in the model presented here can be evaluated as managerial implications.

VII. REFERENCES

- [1] S. Hao, A. T.H. Kuah, C. D. Rudd, K.H. Wong, N. Y. G. Lai, J. Mao, X. Liu, "A circular economy approach to green energy: Wind turbine, waste, and material recovery," *Science of The Total Environment*, vol. 702, pp.135054, 2020, doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135054.
- [2] S. Karavida and R. Nõmmik. "Waste Management of End-of-Service Wind Turbines," M.S. thesis, Department of Development and Planning, Aalborg University, Aalborg, Denmark, 2015.
- [3] W. Post. (2013, May 11). Energy from wind turbines actually less than estimated? The Energy Collective. [Online]. Available: <http://www.theenergycollective.com/willem-post/169521/wind-turbine-energy-capacity-less-estimated>.
- [4] K. R. Haapala and P. Prempreeda, "Comparative life cycle assessment of 2.0 MW wind turbines," *International Journal of Sustainable Manufacturing*, vol.3, no. 2, pp. 170-185, 2014.
- [5] R. Geyer and T. Jackson, "Supply loops and their constraints: The industrial ecology of recycling and reuse," *California Management Review*, vol. 46, no. 2, pp. 55-73, 2004.
- [6] H. R. Krikke, A van Harten, and P. C Schuur, "Business case Océ: Reverse logistics network re-design for copiers," *OR Spektrum*, vol.21, no 3, pp. 381-409, 1999.
- [7] M. S. Amalnick and M. M. Saffar, "A new fuzzy mathematical model for green supply chain network design," *International Journal of Industrial Engineering Computations*, vol.8, no.1, pp.45-70, 2017.
- [8] H.J. Zimmermann, "Fuzzy Set and Systems," *Fuzzy programming and linear programming with several objective functions*, vol. 1, pp. 45-55, 1978.
- [9] M. Zarei, S. Mansour, A.H. Kashan, and B. Karimi, "Designing a Reverse Logistics Network for End-of-Life Vehicles Recovery End-of-Life Vehicles Recovery," *Mathematical Problems in Engineering*, vol. 2010, doi.org/10.1155/2010/649028.
- [10] J. Hanafi, S. Kara, and H. Kaebernick, "Reverse logistics strategies for end-of-life products," *International Journal of Logistics Management*, vol. 3, no. 19, 2008.
- [11] S Enes and N Öztürk, "Network modeling for reverse flows of end-of-life vehicles," *Waste Management*, 2015, doi.org/10.1016/J.WASMAN.2015.01.007
- [12] R. Cruz-Rivera and J. Ertel, "Reverse logistics network design for the collection of End-of-Life Vehicles in Mexico," *European Journal of Operational Research*, vol. 196, no. 3, pp. 930-939, 2009.
- [13] M.Y. Jaber, C.H. Glock, and A.M. El Saadany, "Supply chain coordination with emissions reduction incentives," *International Journal of Production Research*, vol. 51, no.1, pp. 69-82, 2013.
- [14] A. Alshamsi and A. Diabat, "A Genetic Algorithm for Reverse Logistics Network Design: A Case Study from the GCC," *Journal of Cleaner Production*, vol.151, no. 10, 2017, doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.096
- [15] A. Sadrnia, N. Ismail, M. K. A. M. Ariffin, Z. Norzima, and O. Boyer, "Reverse Logistics Network Optimizing by Genetic Algorithm: A Case Study of Automotive Wiring Harnesses," *Applied Mechanics and Materials*, vol.564, pp. 740-746, 2014, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.564.740.

- [16] G. T. Temur, M. Balcilar, and B. Bolat, "A fuzzy expert system design for forecasting return quantity in reverse logistics network," *Journal of Enterprise Information Management*, vol. 27, no. 3, pp. 316-328, 2013, doi: 10.1108/JEIM-12-2013-0089.
- [17] E. U. Olugu and K. Y. Wong, "Fuzzy logic evaluation of reverse logistics performance in the automotive industry," *Scientific Research and Essays*, vol. 6, no 7, pp.1639-1649, 2011.
- [18] D. Tadic, "A Fuzzy Bi-Linear Management Model in Reverse Logistic Chain," *Yugoslav Journal of Operations Research*, vol. 26, no.1, pp. 61-74, 2016.
- [19] K. Govindana, P. Paamb, and A.R. Abtahi, "A fuzzy multi-objective optimization model for sustainable reverse logistics network design," *Ecological Indicators*, vol.67, pp. 753-768, 2016, doi: 10.1016/j.ecolind.2016.03.017.
- [20] A. Ergülen, H. Kazan, and F. S. Özdemir, "The Recycling Potential Of Packing Waste In Turkey: Analised By Linear Proqraming And Fuzzy Logic Method," *Journal of Eurasian Econometrics, Statistics & Empirical Economics*, vol. 1, pp.91-102, 2016.
- [21] M. A. Ilgin, "An integrated methodology for the used product selection problem faced by third-party reverse logistics providers," *International Journal of Sustainable Engineering*, vol. 10, no. 6, pp. 399-410, 2017, doi:10.1080/19397038.2017.1317873.
- [22] T. S. Su, "A fuzzy multi-objective linear programming model for solving remanufacturing planning problems with multiple products and joint components," *Computers & Industrial Engineering*, vol. 110, pp. 242-254, 2017.
- [23] S. Y. Jeng and C. W. Lin, "Fuzzy cradle to cradle remanufacturing planning for a recycled toner cartridge industry," *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, vol. 25, no. 4, 2017.
- [24] R. K. Mavi, M. Goh, and N. Zarbakhshnia, "Sustainable third-party reverse logistic provider selection with fuzzy SWARA and fuzzy MOORA in plastic industry," *International Journal of Advance Manufuring Technolgy*, vol. 91, pp.2401–2418, 2017.
- [25] K. Govindan, V. Agarwal, and J.D. Darbari, "An integrated decision making model for the selection of sustainable forward and reverse logistic providers," *Ann Operetion Research*, vol. 273, pp. 607–650, 2019.
- [26] L. T. T. Doan, Y. Amer, S. H. Lee, P. N.K. Phuc, and I. Q. Dat, "A comprehensive reverse supply chain model using an interactive fuzzy approach – A case study on the Vietnamese electronics industry," *Applied Mathematical Modelling*, vol. 76, pp. 87-108, 2019.
- [27] S. Lu, L. Zhu, Y. Wang , L. Xied, and H. Su, "Integrated forward and reverse logistics network design for a hybrid assembly-recycling system under uncertain return and waste flows: A fuzzy multi-objective programming," *Journal of Cleaner Production*, vol. 243, pp. 118591, 2020.
- [28] N. Zarbakhshnia, Y. Wu, K. Govindan, and H. Soleiman, "A novel hybrid multiple attribute decision-making approach for outsourcing sustainable reverse logistics," *Journal of Cleaner Production*, vol.242, pp.118461, 2020.
- [29] S. Cinar, "Sustainable reverse logistic network design for end-of- life use-Case Study," *RAIRO-Operation Research*, 2019, doi:10.1051/ro/2019069.

- [30] S. Cinar and M.B. Yildirim, "Reverse Logistic Network Design for End-of-Life Wind Turbines," in *Optimization and Dynamics with Their Applications*. Singapore: Springer, 2017, doi:10.1007/978-981-10-4214-0_11.
- [31] R. N Tiwari, S Dharmar, and J. R Rao, "Fuzzy goal programming: An additive model," *Fuzzy Set Systems*, vol. 24, pp. 27-34, 1987.
- [32] Vestas. (2021, November 2). Life cycle assessment of electricity produced from onshore sited wind power plants based on Vestas V82-1.65 MW turbines. [Online]. Available: <https://www.vestas.com/en/products/2-mw-platform/V120-2-2-MW>
- [33] The Potential of Recycled Plastics. (2021, November 4). *The Potential of Recycled Plastics*, [Online]. Available: <https://thisisplastics.com/environment/the-potential-of-recycled-plastics/>
- [34] P.D Anderson, A. Bonou, J. Beauson, P. Brøndsted. (2021, November 3). *Recycling of Wind turbines*. [Online]. Available: https://backend.orbit.dtu.dk/ws/portalfiles/portal/102458629/DTU_INTL_ENERGY_REP_2014_WIND_91_97.pdf
- [35] Remanufacturing. (2021, November 3). Remanufacturing. [Online]. Available: <http://renewenergy.com/remanufacturing/>



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Derleme Makalesi

Bulut Bilişim Güvenliği İçin Kullanılan Makine Öğrenimi Yöntemleri Üzerine Bir Derleme

 Bilge Kağan YAZAR ^{a,*},  Sedat AKLEYLEK ^b,  Erdal KILIÇ ^c

^a Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun, TÜRKİYE

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

DOI: 10.29130/dubited.979040

ÖZ

Son zamanlarda bulut bilişimin farklı amaçlar için kullanımı artmaktadır. Bu durum bulut üzerindeki bilgilerin çoğalmasına sebep olmaktadır ve daha yüksek güvenlik gereksinimlerinin olduğunu göstermektedir. Güvenliği sağlamanın yollarından bir tanesi makine öğrenmesi yöntemlerinin bulut sistemlerine adapte edilmesidir. Geleneksel yöntemler saldırılardaki çeşitlilik nedeniyle istenilen düzeyde başarı sağlayamamaktadır. Makine öğrenimi yaklaşımları, verileri daha etkin bir şekilde ele aldıklarından daha duyarlı ve otomatikleştirilmiş güvenlik çözümleri sunabilmektedir. Bulut üzerindeki verilerin gizliliği, bütünlüğü, bulut kaynaklarının kullanılabilirliği ve bulut platformu üzerindeki kimlik doğrulama işlemleri için makine öğrenimi tabanlı sistemlerin kullanımı son zamanlarda oldukça popülerdir. Genellikle izinsiz giriş tespit sistemi olarak adlandırılan bu sistemler, bulut uygulamalarındaki bilgileri yetkisiz erişimlerden korumak için kapsamlı yaklaşımlar kullanmaktadır. Bu çalışmada bulut bilişim güvenliği ve bu alanda kullanılan makine öğrenmesi yaklaşımları üzerine bir sistematik literatür taraması yapılmıştır. Kullanılan makine öğrenimi yöntemleri ve değerlendirme kriterleri, kullanılan veri kümeleri ve çalışmaların sağladıkları bilgi güvenliği kavramları baz alınarak, literatürde etkisi olan çalışmalar ele alınmıştır. Bazıları hibrit bazıları bağımsız şekilde 23 farklı makine öğrenimi yöntemi ve 17 farklı değerlendirme ölçütünün kullanıldığı görülmüştür. Toplamda 11 farklı hazır veri kümesi ve sekiz çalışmada ise oluşturulmuş olan veri kümelerinin kullanıldığı görülmüştür. Son olarak çalışmalar gizlilik, bütünlük, erişilebilirlik ve kimlik denetimi olacak şekilde bilgi güvenliği kavramları açısından değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bulut Bilişim Güvenliği, Makine Öğrenimi, Performans Ölçütleri, Veri Kümeleri

A Review of Machine Learning Methods Used for Cloud Computing Security

ABSTRACT

Recently, the use of cloud computing for different purposes has been increasing. This causes the proliferation of information on the cloud and indicates higher security requirements. One of the ways to ensure security is to adapt machine learning methods to cloud systems. Traditional methods cannot achieve the desired level of success due to the diversity in attacks. Machine learning approaches can offer more responsive and automated security solutions as they handle data more effectively. The use of machine learning-based systems for the confidentiality and integrity of data in the cloud, the availability of cloud resources, and authentication on the cloud platform have been very popular recently. These systems, often called intrusion detection systems, use comprehensive approaches to protect the information in cloud applications from attacks. In this study, a systematic literature review was conducted on cloud computing security and machine learning approaches used in this field. Based on the machine learning methods and evaluation criteria used, the datasets used and the information security concepts provided by the studies, the studies that have an impact on the literature are

discussed. It has been observed that 23 different machine learning methods and 17 different evaluation criteria are used, some of the hybrid and some independently. In total, 11 different ready-made datasets and the datasets created in eight studies were used. Finally, the studies were evaluated in terms of information security concepts such as confidentiality, integrity, availability, and authentication.

Keywords: Cloud Computing Security, Machine Learning, Performance Criteria, Datasets

I. GİRİŞ

Bulut bilişim (Cloud Computing), internet üzerindeki hizmetleri kolaylaştırmak ve sunmak için son zamanlarda sıklıkla kullanılmakta olan yeni bir yöntemdir. Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü (National Institute of Standards and Technology) bulut bilişimi hızla sağlanabilen ve piyasaya sürülebilen yapılandırılabilir bilgi işlem kaynaklarının paylaşılan bir havuzda her yerde bulunabileceği, minimum yönetim çabası ve hizmet sağlayıcısı etkileşimi ile isteğe bağlı bir ağ erişimini mümkün kılan bir model olarak tanımlamaktadır [1]. Son yıllarda bulut bilişim üzerinde fazla sayıda çalışma yapılmaktadır ve bununla birlikte önemli yenilikler ortaya çıkmaktadır. Bulut bilişim, sağladığı pratiklik sayesinde çoğu kuruluş tarafından kullanılmaktadır ve çeşitli kolaylıklar sağlamaktadır. Bulut bilişim, altyapı olarak servis (Infrastructure as a Service - IaaS), platform olarak servis (Platform as a Service - PaaS) ve yazılım olarak servis (Software as a Service - SaaS) gibi hizmet modellerine sahiptir ve genel, özel, topluluk ve hibrit bulut gibi dağıtım modelleri üzerinde çalışmalar gerçekleştirilmektedir.

Bulut bilişimin yaygınlaşmasıyla birlikte hem sağlanan hizmetlerin hem de hizmet kullanıcılarının güvenliği en önemli endişe kaynaklarından bir tanesi haline gelmiştir. Bulut bilişim güvenliği, bilgi güvenliğinin önemli alt dallarından bir tanesi olarak öne çıkmaktadır. Bulut bilişim hizmetlerinin temel olarak internet protokolleri üzerinden sağlanması ve sanallaştırma tekniklerinin kullanılması, veri güvenliği ihlali, kötü amaçlı yazılımların sisteme yüklenmesi, hizmet reddi (Denial of a Service – DoS) saldırıları gibi verileri ciddi anlamda etkileme potansiyeline sahip saldırılara ve diğer güvenlik tehditlerine karşı bazı zayıflıklar bulunmaktadır [2], [3]. Bulut üzerindeki tehditler, kötü amaçlı veya tesadüfen olabilecek olumsuz bir olaydır [4]. Bulut bilişimde güvenlik tehditleri genellikle gizlilik (confidentiality), bütünlük (integrity) ve erişilebilirlik (availability) olmak üzere üç ana başlık altında sınıflandırılmaktadır [5]:

- Gizlilik tehditleri, kullanıcı verilerine yönelik içeriden bir tehdit, dışarıdan gelecek saldırılar ve veriler ile ilgili sorunları kapsamaktadır.
- Bütünlük tehditleri, zayıf erişim kontrolü ve bilgi kalitesine yönelik riskler, güvenlik parametrelerinin anlamlarını yanlış bir şekilde birleştiren bilgi izolasyonu riski, sanal makinelerin (virtual machine - VM) yanlış tasarımı ve uzak istemci tarafındaki hiper yöneticilerin zayıflıklarını içerir.
- Erişilebilirlik tehditleri, servis sağlayıcı kuruluşun erişilebilir olmaması, varlıkların fiziksel olarak kesintiye uğraması ve verimsiz veri kurtarma, arıza giderme stratejilerini kapsamaktadır.

Bulut platformu üzerinde gerçekleştirilen saldırılar ise ağ tabanlı, sanal makine tabanlı, depolama tabanlı ve uygulama tabanlı olmak üzere dört kısma ayrılmaktadır [6], [7]:

- Ağ tabanlı saldırılar: Genellikle incelenen saldırılar bağlantı noktası taraması (port scan), botnetler ve sahtekarlık (spoofing) saldırılarıdır.
- VM tabanlı saldırılar: Farklı alt yapıdaki farklı VM'ler birden çok güvenlik sorununa neden olabilmektedir. Sanal makine görüntüsünün içine yerleştirilen kötü amaçlı kodlar veya yan kanal saldırıları bu kısım altında incelenmektedir.

- Depolama tabanlı saldırılar: Sistem üzerinde güçlü bir izleme mekanizması yoksa, saldırganlar bazı depolama cihazlarında depolanan önemli verileri elde edebilir. Veri süpürme ve veri tekillleştirme gibi durumlar bu kısım altında değerlendirilmektedir.
- Uygulama tabanlı saldırılar: Bulut üzerinde çalışan uygulamalar, performansı etkileyen ve kötü amaçlı amaçlarla bilgi sızmasına neden olan birçok saldırı ile karşı karşıya kalabilir. Üç ana uygulama tabanlı saldırı; kötü amaçlı yazılım yüklenmesi, stenografi saldırıları, web hizmetleri ve kurallara dayalı saldırılardır.

Bulut bilişim internet üzerinden sağlanan bir hizmet olduğundan çok geniş kapsama sahip bir alandır. Bulut bilişimde sistemi tehdit altına alabilecek bazı güvenlik açıkları; sanallaştırma, çok kullanıcılık, yetkisiz erişim gibi durumlardır [4], [8]. Bu açıklar özel verilerin güvenliğini tehlike altına alacak durumlar oluşturmaktadır ve bulut sisteminin güvenilirliği tehlike altına girmektedir. Bulut ortamındaki genel bilgilerin çoğalmasıyla, aynı şekilde buluttaki hassas bilgilerin de çoğalması söz konusudur ve bu da bulut bilişimde daha yüksek güvenlik gereksinimlerinin olduğunu göstermektedir. Yukarıda bahsedilen saldırılar, güvenlik açıkları ve bahsedilmeyen birçoğunun, tespit edilmesi ve önlenmesi için kullanılan geleneksel yöntemler, büyük veri akışları gerçekleştiğinde yeterli verimlilikte çalışmayabilir [2]. Makine öğrenimi (Machine Learning – ML) yöntemleri, bulut platformlarındaki güvenlik sorunlarını çözmek ve verileri daha etkin yönetmek için kullanılmaktadır. Makine öğrenimi, bilgisayar sistemlerinin modellere ve kabullere bağlı olarak belirli bir yöntemi uygulamak için kullandığı hesaplamaların ve ölçülebilir modellerin mantıksal incelemesi olarak tanımlanabilir. Makine öğrenimi yöntemleri denetimli, yarı-denetimli ve denetimsiz olmak üzere üç ana başlık altında sınıflandırılmaktadır. Her bir başlık için karar ağaçları, destek vektör makineleri, yapay sinir ağları ve k-means gibi çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Bunlara ek olarak son zamanlarda popülerliği artan derin öğrenme modelleri de bulut bilişim güvenliği alanında son zamanlarda sıkça kullanılmaktadır.

Literatürde, makine öğrenimi yöntemlerinin bulut platformundaki saldırıların ve kötü amaçlı uygulamaların tespiti için farklı şekillerde kullanıldığı ve başarı oranlarının yüksek olduğu görülmektedir. ML ile güvenliği sağlamak için en çok kullanılan yöntem saldırının gerçekleştiği sırada tespitinin yapıldığı ve devamında hizmet kurtarmanın yapıldığı durumlardır. Diğer bir yöntem ise bulut sisteminin sürekli kendi kendini kontrol etmesi ile saldırı gerçekleşmeden önce önlenmesi yönündedir. Tablo 1’de literatürde yapılan bulut bilişim güvenliği ve makine öğrenimi tabanlı bazı derleme çalışmalarının kapsamı ve eksikliklerinden kısaca bahsedilmiştir. Bu tablo çalışmaların özeti ve bizim çalışmamızın farklılıklarını göstermektedir.

ML ile bulut bilişim güvenliği alanında yapılmış olan sistematik literatür taraması sayısının çok sınırlı olmasıyla birlikte, bu alandaki Türkçe kaynak eksikliği göze çarpmaktadır. Bu çalışmada makine öğrenmesi-derin öğrenme ile bulut bilişim güvenliği alanındaki diğer derleme çalışmalarına göre farklılıklar bulunmaktadır;

1. İncelenen çalışmalarda derin öğrenme modellerini kullanan çok sayıda çalışma seçilmiştir.
2. Bulut bilişim güvenliği alanında farklı güvenlik yönlerini ele alan çalışmalar incelemeye dahil edilmiştir.
3. 2016-2021 yılları aralığında yapılan incelemelerle birlikte, 2019-2021 yılları arasında yayınlanmış olan güncel çalışmalar incelenmiştir.
4. Çalışmalarda sıklıkla kullanılan veri kümeleri detaylı olarak ele alınmıştır.
5. Çalışmalar bilgi güvenliği kavramları açısından değerlendirilmiştir.

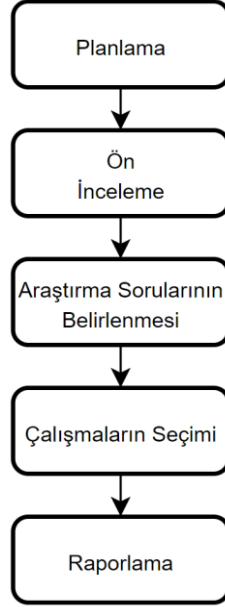
Çalışmanın devamında Bölüm 2’de çalışmaların seçilme aşaması, araştırma yöntemi detaylandırılmıştır ve araştırma soruları belirlenmiştir. Bölüm 3’de belirlenen araştırma sorularına cevaplar aranmıştır, toplanan çalışmaların özetleri verilmiştir ve çalışmalar üzerinden genel bir değerlendirme yapılmıştır. Bölüm 4’te ise elde edilen sonuçlar özetlenmiştir.

Tablo 1. Literatürdeki bulut bilişim güvenliği ve makine öğrenimi ile ilgili derleme çalışmaları ve bu çalışmaların eksiklikleri

Çalışma	Özet	Eksikler	Yıl
A survey on gaps, threat remediation challenges and some thoughts for proactive attack detection in cloud computing [8]	Bulut bilişimdeki zayıflıklara ve güvenlik endişelerine odaklanarak bulut bilişim üzerine kapsamlı bir inceleme sunulmaktadır. En önemli güvenlik tehditleri ve mevcut çözümlerin üzerinde durulmuştur. Literatürdeki ML yöntemleri karşılaştırmalı olarak incelenmiş ve sonuçları tartışılmıştır	Bulut bilişim güvenliği ve makine öğrenmesi tekniklerini kapsamına rağmen yapılan incelemeler yazarların kendi elde ettikleri sonuçlar üzerinden yapılmıştır	2012
An intrusion detection and prevention system in cloud computing: A systematic review [9]	Bu çalışma, bulut bilişim sistemlerindeki izinsiz girişleri tespit etmek ve önlemek için olası çözümleri, en son geliştirilen modelleri ve alarm yönetimi teknikleri hakkında bilgiler içermektedir.	Sadece, bulut bilişimde izinsiz giriş konusu üzerine bir çalışma yapılmıştır	2013
A review on intrusion detection techniques for Cloud computing and security challenges [10]	Bu çalışma bulut üzerindeki izinsiz giriş saldırılarına, sistem türlerine ve içinde makine öğrenmesinin de bulunduğu tekniklerin analizi üzerinedir.	Sadece bulut üzerinde izinsiz giriş durumları incelenmiştir	2015
A survey of intrusion detection techniques in the Cloud [11]	Bu çalışmada, bulut kaynaklarını ve hizmetlerini bilgi güvenliği kavramları açısından etkileyen izinsiz giriş durumları araştırılmıştır. Bulut üzerindeki saldırı tespit ve saldırı önleme sistemleri üzerinde durulmuştur	Makine öğrenimi açısından yeterince incelemeler yapılmamıştır	2017
A survey of deep learning based network anomaly detection [12]	Bu çalışmada ağ anormallik tespitleri için kullanılan derin öğrenme teknikleri incelenmiştir. Çalışmaların karşılaştırmaları ve incelenen alan üzerinde bilgiler paylaşılmıştır	Sadece bulut üzerinde derin öğrenme yöntemlerini kullanan anormallik tespit durumları incelenmiştir.	2019
Computational intelligence intrusion detection techniques in mobile cloud computing environments: Review, taxonomy, and open research issues [13]	Bu çalışmada, (mobil) bulut ortamında bilişsel zekâ yöntemlerini kullanan saldırı tespit sistemlerine ilişkin genel bir bakış açısı sunulmuştur. Saldırı tespiti için bir sınıflandırma tanımlanmıştır ve bilişsel zekâ tabanlı teknikler bağımsız ve hibrit yöntemler olarak sınıflandırılmıştır.	Genel kapsam izinsiz giriş tespit sistemleri üzerinedir	2020
A Review of Machine Learning Algorithms for Cloud Computing Security [7]	Bu çalışmada, bir veya birkaç ML algoritması kullanan bulut bilişim yöntemlerinin, güvenlik tehditlerinin, sorunlarının ve çözümlerinin bir analizi sunulmaktadır. Denetimli, denetimsiz, yarı denetimli ve pekiştirmeli öğrenme dahil olmak üzere bulut güvenliği sorunlarını çözmek için kullanılan farklı makine öğrenimi algoritmaları incelenmiştir. Her tekniğin performansı ve özellikleri, avantajlarına ve dezavantajlarına göre karşılaştırılmıştır.	Derin öğrenme modelleri üzerinde yeterince inceleme yapılmamıştır	2020
Machine Learning for Cloud Security: A Systematic Review [2]	Bu çalışmada, ML, Bulut güvenlik metodolojileri ve teknikleri için Sistematik Literatür İncelemesi (SLR) yapılmıştır. İlgili 63 çalışma analiz edilmiştir ve SLR sonuçları üç ana araştırma alanında kategorize edilmiştir: bunlar farklı bulut güvenlik tehdit türleri, kullanılan makine öğrenimi teknikleri ve performans sonuçlarıdır.	İncelenen çalışmalarda bilgi güvenliği kavramları üzerinde yeterince durulmamıştır	2021
Bu çalışma	Literatürdeki makine öğrenimi yöntemlerini kullanarak bulut güvenliğini sağlayan çalışmaların incelemesini yapmak için bir SLR çalışması yapılmıştır. Seçilen 15 çalışma incelenmiştir ve üç araştırma sorusu üzerinde durulmuştur. Bunlar; bulut bilişimde güvenliği sağlamak adına kullanılan makine öğrenmesi – derin öğrenme yöntemleri ve performans ölçütleri, kullanılan veri kümeleri ve seçilen çalışmaların sağladıkları bilgi güvenliği kavramlarıdır.	-	-

II. ARASTIRMA YÖNTEMİ

Bu çalışmada sistematik bir literatür incelemesi yapılmıştır. Çalışma yapılırken süreç belirli aşamalara ayrılmıştır. Bu aşamalar Şekil 1’de görülmektedir. Bu bölümün devamında çalışmada takip edilen adımlar detaylandırılacaktır.



Şekil 1. SLR çalışması yapılırken takip edilen adımlar

A. ARASTIRMA SORULARI

Bu çalışmadaki ana amaç 2016’dan günümüze kadar bulut bilişim güvenliğini sağlamak için kullanılan ML yöntemlerini ve tekniklerini incelemektir. Literatürdeki çalışmalar incelendikten sonra detaylı olarak irdelenmemiş üç araştırma sorusu ortaya çıkmıştır:

AS1: Bulut bilişim güvenliği uygulamalarında hangi makine öğrenimi, derin öğrenme yöntemleri tercih edilmektedir ve hangi değerlendirme kriterleri kullanılmaktadır?

AS2: Seçilen çalışmalarda kullanılan veri kümeleri ve özellikleri nelerdir?

AS3: Bu çalışmalar bilgi güvenliği kavramlarından hangileri üzerinde yoğunlaşmaktadır?

B. ARAMA YÖNTEMİ

Bu çalışma için kaynakların toplanması; IEEE Xplore, Scopus, Web of Science ve ScienceDirect olmak üzere dört veri tabanı üzerinden yapılmıştır. Bu veri tabanları mühendislik alanında sistematik literatür taramalarında sıklıkla kullanılmaktadır ve otomatikleştirilmiş arama araçlarına sahip olması bakımından büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Bu veri tabanları üzerinden bilimsel çalışma araştırması şu işleyişe göre yapılmıştır:

- Araştırma sorularının oluşmasıyla birlikte yapılan aramalar “cloud security” ve “machine learning” anahtar kelimeleri üzerinde yoğunlaştırılmıştır.
- “cloud security” anahtar kelimesi ile eş anlamlı olabilecek "cloud data security", "cloud computing security" gibi ve “machine learning” anahtar kelimesine ek olarak kullanılacak diğer yöntemleri barındıran çalışmalara ulaşabilmek adına, "transfer learning", "ensemble

learning", "reinforcement learning" gibi anahtar kelimeler oluşturulmuştur ve bu kelimeler kullanılmıştır.

- Veri tabanlarında arama yapılırken mantıksal operatörler kullanılmıştır. Eş anlamlı anahtar kelimeler için OR ve anahtar kelimeleri birleştirmek için AND operatörleri kullanılmıştır.

Tablo 2. Veri tabanlarında arama yapılırken kullanılan sorgular

Veritabanı	Sorgu
IEEE Xplore	((("cloud security" OR "cloud data security" OR "cloud server security" OR "cloud attack security" OR "cloud computing security" OR "cloud service security" OR "cloud malware detection" OR "cloud attack detection") AND ("machine learning" OR "deep learning" OR "transfer learning" OR "ensemble learning" OR "reinforcement learning"))
Web of Science	TS = ((("cloud security" OR "cloud data security" OR "cloud server security" OR "cloud attack security" OR "cloud computing security" OR "cloud service security" OR "cloud malware detection" OR "cloud attack detection") AND ("machine learning" OR "deep learning" OR "transfer learning" OR "ensemble learning" OR "reinforcement learning"))
Scopus	TITLE-ABS-KEY ((("cloud security" OR "cloud data security" OR "cloud server security" OR "cloud attack security" OR "cloud computing security" OR "cloud service security" OR "cloud malware detection" OR "cloud attack detection") AND ("machine learning" OR "deep learning" OR "transfer learning" OR "ensemble learning" OR "reinforcement learning")) AND PUBYEAR AFT 2015
ScienceDirect	((("cloud security" OR "cloud data security" OR "cloud attack security" OR "cloud computing security" OR "cloud service security" OR "cloud malware detection" OR "cloud attack detection") AND ("machine learning" OR "deep learning"))

Tablo 2’de veri tabanlarında arama yapmak için kullanılan sorgular verilmiştir. ScienceDirect veritabanı için yazılan sorgunun diğerlerine göre kısa olmasının sebebi, kullanılacak sorgular için sekiz tane mantıksal operatör sınırı bulunmasıdır. Google Scholar, Springer vb. diğer veritabanları üzerinde Tablo 2’de yazıldığı gibi sorgular yazılmadığından veya yazılsa bile anlamlı sonuçlar elde edilemediğinden (çok fazla ilgisiz sonuç çıkması, incelenemeyecek kadar çok sayıda çalışma çıkması) veri tabanı olarak sadece sonuç alınabilen dört veri tabanı kullanılmıştır. Yapılan bu sorguların sonucunda, 2016-2021 yılları arasında yayınlanmış IEEE Xplore’da 80 tane, WOS’da 59 tane, Scopus da 120 tane ve ScienceDirect de 501 tane olmak üzere toplam 760 tane çalışma (arama yapılan tarih itibarıyla) görülmüştür. Bu çalışmalarla ilgili sayısal bilgiler Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3. Veri tabanlarında yapılan aramalar sonucunda elde edilen çalışma sayıları

Veritabanı	Arama Sonucu	Konferans Bildirisi	Dergi Makalesi	Diğer (Derleme, Kitap bölümü vs.)
IEEE Xplore	80	64	15	1
Web of Science	59	30	26	3
Scopus	120	62	39	19
ScienceDirect	501	-	390	111
Toplam	760	156	470	134

C. ÇALIŞMA SEÇİMİ

Yapılan aramalar sonucu 760 tane çalışma bulunmuş olsa da, bu çalışmaların büyük bir çoğunluğu kapsam dışında kalmaktadır. Özellikle ScienceDirect veri tabanında çalışmaların tümü üzerinden arama yapıldığından konu ile ilgisi olmayan birçok çalışma çıkmıştır. Bunlara ek olarak bazı çalışmalar arama sonuçlarında birden çok veri tabanında çıkabilmektedir. Çalışma seçimi işlemine

başlanmadan önce bu şekilde tekrarlayan çalışmalar tek bir veri tabanından alınacak şekilde düzenlenmiştir. Devamında bu çalışmanın amacına uygun olan çalışmaların dahil olması için bazı ekleme ve çıkarma kriterleri belirlenmiştir. Ekleme kriterleri şunlardır;

- Bulut bilişim güvenliği alanındaki çalışmalar
- Bulut bilişim güvenliği alanında makine öğrenmesi teknikleri kullanılan çalışmalar
- Hakemli dergilerde yayınlanmış olan makaleler
- 2016-2021 aralığında yayınlanmış olan çalışmalar

Çıkarma kriterleri ise;

- Makine öğrenimi yöntemlerini kullanmadan bulut bilişim güvenliğini ele alan çalışmalar
- Bulut bilişim güvenliği ve makine öğrenimi yöntemlerini içermeyen çalışmalar

şeklinde. Ön inceleme aşamasında genellikle çalışmaların özetleri üzerinden incelemeler yapılmıştır. Ancak bazı çalışmaların tamamının okunmasının gerektiği durumlarda olmuştur. Belirlenen kriterler doğrultusunda 15 tane çalışma incelenmek üzere seçilmiştir. Bu çalışmalar Tablo 4'te görülmektedir. Yapılan incelemelerde makine öğrenmesi ile bulut bilişim güvenliği alanına özellikle 2018 yılından sonra ilginin arttığı görülmektedir ve Tablo 4'te görülüşü üzere seçilen çalışmaların hepsi 2019-2021 yılları arasında yayınlanmıştır. Bu açıdan bakıldığında yapmış olduğumuz inceleme güncel bir yapıdadır.

Tablo 4. İncelenmek üzere seçilen çalışmalar

Çalışma Adı	Yıl	Referans
A deep learning approach for proactive multi-cloud cooperative intrusion detection systems	2019	[14]
A focus on future cloud: machine learning-based cloud security	2019	[15]
A hybrid machine learning approach for malicious behavior detection and recognition in cloud computing	2020	[16]
A machine learning based intrusion detection scheme for data fusion in mobile clouds involving heterogenous client networks	2019	[17]
An intrusion detection system for connected vehicles in smart cities	2019	[18]
DeMETER in clouds: detection of malicious external thread execution in runtime with machine learning in PaaS clouds	2020	[19]
Detection and mitigation of fraudulent resource consumption attacks in cloud using deep learning approach	2021	[20]
Efficient feature selection and classification through ensemble method for network intrusion detection on cloud computing	2020	[21]
Intelligent approach to build a Deep Neural Network based IDS for cloud environment using combination of machine learning algorithms	2019	[22]
KVMInspector: KVM Based introspection approach to detect malware in cloud environment	2020	[23]
Multilayer Self-Defense System to Protect Enterprise Cloud	2020	[24]
Secure data transmission and detection of anti-forensic attacks in cloud environment using MECC and DLMNN	2020	[25]
TIDCS: A Dynamic Intrusion Detection and Classification System Based Feature Selection	2020	[26]
Cryptomining Detection in Container Clouds Using System Calls and Explainable Machine Learning	2021	[27]
A machine learning application for reducing the security risks in hybrid cloud networks	2020	[28]

III. ELDE EDİLEN BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmanın bu kısmında literatürdeki ML ile bulut bilişim güvenliği alanında literatürdeki çalışmaları ve kullanılan yöntemleri incelemek için yapılan sistematik tarama sonucunda araştırma soruları (AS) için elde edilen çıktılar alt bölümlerde paylaşılmış ve detaylandırılmıştır.

A. AS1: MAKİNE ÖĞRENMESİ YÖNTEMLERİ VE DEĞERLENDİRME KRİTERLERİ

Geleneksel yöntemlerin kullanımı ile bulut üzerindeki tehditlerin engellenmesi artan saldırı sayısı ve saldırı çeşitliliği nedeniyle yetersiz kalmaktadır. Makine öğrenimi yaklaşımları, verileri daha etkin bir şekilde ele aldıklarından daha duyarlı ve otomatikleştirilmiş güvenlik çözümleri sunabilmektedir. Bulut üzerindeki verilerin gizliliği ve bütünlüğü, bulut kaynaklarının kullanılabilirliği ve bulut platformu üzerindeki kimlik doğrulama işlemleri için makine öğrenimi tabanlı sistemler son zamanlarda oldukça popülerdir. Genellikle izinsiz giriş tespit sistemi (Intrusion Detection System - IDS) olarak adlandırılan bu sistemler, bulut uygulamalarındaki bilgileri saldırılardan korumak için kapsamlı yaklaşımlar kullanmaktadır. Bu bölümün devamında incelenen çalışmalar kısaca özetlenmiştir ve araştırma sorusu için elde edilen sonuçlar paylaşılmıştır.

[14] nolu çalışmada yazarlar, farklı bulut sağlayıcılarına ait olan IDS'ler arasındaki iş birliğinin karşılıklı yararlar sağlayarak model performanslarını artırabileceği düşüncesi üzerinde durmuşlardır. Ancak, bu tarz sistemlerde IDS'ler arasındaki bilgi paylaşımında ve bilgi toplanırken gecikmeler olduğundan bahsedilmiştir ve bunun üzerine IDS'lerden kısmi veya eksik bilgi geldiği düşünülerek bir sistem oluşturulmuştur. Önerilen model diğer IDS'lerden gelen eksik bilgilere karşı gerekli özellikleri nasıl çıkartacağını öğrenebilen bir yapıdadır. Bu sayede modelin gerçek zamanlı ortamlarda karar verme işlemini hızlandıracağı belirtilmektedir. Çalışmada eksik veriyi yeniden yapılandırmak için bir derin öğrenme yöntemi olan yığın gürültü giderici otokodlayıcı (Stacked Denoising Autoencoder) modeli kullanılmıştır. Sınıflandırma işlemi içinse derin sinir ağları (Deep Neural Networks – DNN) kullanılmıştır. Önerilen model IDS'lerin eksik geri bildirimlerine karşı, kısmi veriler üzerinden tahminler yaparak gerçek zamanlı ortamlarda daha iyi bir algılama doğruluğu sağlamaktadır. Elde edilen sonuçlar çok katmanlı algılayıcı (Multilayer Perceptron) ve yığın otokodlayıcı (Stacked Autoencoder) modelleri ile karşılaştırılmıştır ve daha iyi sonuçlar elde ettiği görülmüştür.

[15] nolu çalışmada önerilen sistem, makine öğrenimi tekniklerini kullanarak dağıtık bulut tabanlı ortamlarda güvenliği artırmak amacıyla önerilmiştir. Yazarlar doğrusal regresyon, destek vektör makinesi gibi yöntemlerin statik yapıları sebebiyle güvenlik sunabilecekleri çözümlerinin sınırlı olduklarını söylemektedir. Çalışmada ele alınan temel durum evrimsel sinir ağı (Convolutional Neural Network - CNN) kullanarak bulut ağındaki trafik analizini gerçekleştirmek üzerinedir. Önerilen modelde CNN'den elde edilen çıktıları çok sınıflı destek vektör makinesine (Multiclass Support Vector Machine - MSVM) girdi olarak verilmektedir ve sınıflandırma işlemi bu şekilde yapılmaktadır. Önerilen model karar ağaçları, Naive Bayes, lojistik regresyon, destek vektör makinesi (doğrusal ve farklı çekirdekler ile) yöntemleri ile karşılaştırılmıştır. Önerilen şekilde bir kullanım ile geleneksel modellere daha güçlü temsiller sağlanabildiğinden daha iyi sonuçların alındığı görülmektedir.

[16] nolu çalışmada bulut ortamındaki güvenliği artırmak amacıyla, kullanıcıların kimlik bilgilerini kullanmak yerine kullanıcı davranışlarını gözlemlemeye dayalı bir yaklaşım önerilmiştir. Ağ trafiğindeki anlamlı bilgileri ve kullanıcıların davranış kalıplarını kendi kendine optimize edilmiş bir şekilde bulabilen ve bunları kötü niyetli davranışları tespit etmek için kullanan bir makine öğrenimi yaklaşımı sunulmuştur. Önerilen model ilk olarak eldeki verilere temel bileşen analizi (principal component analysis) uygulayarak verilerin boyutunu indirgemektedir. Kendi kendini optimize eden bir yapı oluşturabilmek içinse parçacık sürü optimizasyonu (Particle Swarm Optimization) yöntemini kullanan olasılıksal sinir ağları (Probabilistic Neural Networks) kullanılmaktadır. Çok sınıflı ve iki

sınıflı olmak üzere model iki farklı şekilde kullanılmaktadır. Genel olarak bu çalışmada, kötü niyetli davranış örneklerini otomatik olarak tanımlamak için kullanılacak etkili bir çözüm sunulmuştur.

[17] nolu çalışmada heterojen istemci ağlarını içeren mobil bulut ortamlarında dağıtılmış hizmet reddi (Distributed Denial of Service - DDoS) ve aradaki adam (Man in the Middle - MITM) saldırılarına karşı güvenlik sağlayan makine öğrenimi tabanlı bir sistem önerilmiştir. Önerilen şema, bulutun bir kısmı tehlikeye girdiğinde hızlı hizmet kurtarmaya olanak tanıyan bulut bulutu olarak adlandırılan bir bulut modelini benimsemektedir. Teknik olarak önerilen yöntem, toplanan konum ve işletim sistemi bilgilerine göre trafik taraması yapan ve uygun sanal makineyi seçen bilişsel bir sistemdir. Bu işleme ek olarak dış bulut katmanında kimlik doğrulaması işlemi de yapılmaktadır. Çalışmada literatürdeki iki kümeleme algoritması olan k-means ve DBSCAN algoritmalarının bir birleşimi önerilmiştir. k-means ile DBSCAN algoritmalarının birlikte kullanımları ile elde edilen kümeler daha az gürültüye sahip olmaktadır. Önerilen şema kullanım şekline göre özelleştirilebilir yapıda olmasıyla, sanal makinelerdeki güvenlik sorunlarını çözebilme kapasitesi ve kümeleme yaklaşımını kullanan tek çalışma olmasıyla öne çıkmaktadır.

[18] nolu çalışmada yazarlar bulut aracılığıyla birbirine bağlı olan araçlar arasındaki bilgi paylaşımının gizlilik, bütünlük ve erişilebilirlik problemlerine sebep olabileceğini söylemektedir. Bu durumdan dolayı bu çalışmada, bağlı araçlar için gerçekleştirilecek saldırılara karşı bir IDS mekanizması sağlayan sürekli bir bulut hizmeti kullanılabilirliği çerçevesi sunulmaktadır. Sunulan çalışmada servis talep eden akıllı araçların her biri bir kümeye dahildir ve küme başları ile bu taleplerini servis sağlayıcılarına (güvenilir üçüncü taraf) iletmektedirler. Ortamda gerçekleştirilecek bir saldırının tespitinde ise, veri boyutunu indirgemek için bir derin öğrenme yöntemi olan kısıtlanmış boltzmann makinası (Restricted Boltzmann Machine) ve sınıflandırma içinde ID3 algoritması kullanılmaktadır. Önerilen yöntem olasılıksal sinir ağları, genetik algoritma ve derin inanç ağlarını kullanan yöntemlerle kıyaslanmıştır. Önerilen yöntem veri boyutu indirgerken aynı anda gerekli özellikleri seçerek daha düzgün bir sınıflandırma yapılmasını sağlamaktadır ve karşılaştırma yapılan yöntemlerden daha iyi sonuçlar elde etmiştir.

[19] nolu çalışmada çok kullanıcı bulut ortamlarında bir bulut uygulamasına yapılan talebin iyi niyetli kötü niyetli olduğunu anlamak için bir yöntem önerilmiştir. İşlemci (CPU) kullanım ölçümleri ve kaynak erişimlerinin izlenmesi ile birlikte makine öğrenimi teknikleri kullanılmaktadır. Önerilen mekanizma çok çeşitli senaryoları kapsamaktadır. Veri tabanlarındaki CRUD (Create - Read - Update - Delete) işlemlerine denk gelebilecek bir çok saldırı simule edilmiştir. Çalışmada birçok makine öğrenimi yöntemi kullanılmış ve birbirleriyle kıyaslanmıştır. Kullanılan yöntemler; k-NN, rastgele orman, yığılma (stacking), Bayes ağları, torbalama (bagging), AdaBoost yöntemleridir. Bu yöntemler arasından en iyi sonuçlar rastgele orman yöntemi ile elde edilmiştir.

[20] nolu çalışmada sahte kaynak tüketimi (fraudulent resource consumption - FRC) saldırılarının tespiti üzerinde durulmuştur. Bu saldırı çeşidi bulut sağlayıcılarının ekonomik kaynaklarını hedefleyen bir ekonomik DoS (EDoS) saldırısı olarak sınıflandırılmaktadır. Bu saldırılar DDoS saldırılarından farklı olarak bulut sağlayıcılarına mali yük getirmektedir ve yapılan istek oranı düşük olduğundan IDS'ler tarafından tespit edilememektedir. Bu çalışmada FRC davranışının tespiti için web sunucu günlükleri (log) kullanılarak bir LSTM (Long-Short Term Memory) ağı kullanımı önerilmiştir. Zaman serisi verileri oluşturulmuştur ve dalgacık dönüşümü tabanlı ön işleme adımından geçirildikten sonra veriler modele beslenmiştir. Çeşitli ağlar farklı saldırı yüzdeleri ile eğitilmiştir ve yapılan saldırı yüzdesi tahminine göre sınıflandırıcılardan birisi kullanılmaktadır. Önerilen model rastgele orman, lojistik regresyon, destek vektör makinesi, k-NN, yapay sinir ağları gibi literatürdeki birçok yöntem ile kıyaslanmıştır. Önerilen model bütün yöntemlerden iyi sonuçlar elde ederken sadece yapay sinir ağları yakın sonuçlar elde etmiştir.

[21] nolu çalışmada topluluk öğrenmesi (ensemble learning) yöntemi kullanılarak yararlı özellikleri bulmak ve ağ saldırılarını sınıflandırmak amaçlanmıştır. Saldırı tespiti için tek değişkenli bir toplu filtre özellik seçimi yöntemi önerilmiştir. Model özellik çıkarım yönteminden sonra destek vektör makinesi, lojistik regresyon, Naive Bayes ve karar ağaçları sınıflandırıcıları ile çoğunluk oylama

yöntemi (majority voting) kullanılarak sınıflandırma yapmaktadır. Veri kümeleri içerisinde daha düzgün temsillerin daha düşük boyutlar ile elde edilmesi ve çoğunluk oylama yöntemi kullanılarak sınıflandırma yapılması başarılı sonuçlar alınmasını sağlamıştır.

[22] nolu çalışmada bulut ortamları için DNN, genetik algoritma (GA) ve benzetimli tavlama algoritması (Simulated Annealing Algorithm - SAA) kullanılarak, uygun hesaplama maliyetine sahip olan ve saldırı tespiti gerçekleştiren bir model oluşturulması amaçlanmıştır. Önerilen sistem bulut ortamının ön (front-end) ve arka (back-end) yüzünde çalışmaktadır. Veriler DNN'ye verilirken modelin katmanlarındaki düğüm sayıları GA kullanılarak hesaplanmaktadır. GA'yı optimize etmek içinse SAA kullanılmaktadır. Ek olarak bu işlemlerden önce öznitelik seçim işlemi de yapılmaktadır. Bu çalışmanın diğer bir özelliği de kullanılan veri kümelerinden çok detaylı olarak bahsetmesidir. Önerilen yöntem birçok model ile kıyaslanmıştır ve kıyaslanan modellerden daha iyi sonuçlar elde etmekle birlikte neredeyse %100 başarı ile çalışmaktadır.

[23] nolu çalışmada yazarlar bulut ortamındaki anahtar teknolojinin, temel donanım ve yazılım üzerinde bir soyutlaştırma katmanı oluşturmaya yardımcı olan sanallaştırma işlemi olduğundan bahsetmektedir. Kötü amaçlı yazılımları tespit etmek için ve çekirdek sanal makine (Kernel Virtual Machine - KVM) tabanlı bulut ortamında güvenlik açısından kritik süreçlerin varlığını devam ettirmek için iç gözlem tabanlı bir güvenlik mekanizması önerilmiştir. KVM tabanlı bulut ortamında gelişmiş saldırıları tespit etmek için süreçler üzerinde ayrıntılı analizler ile gelişmiş bir güvenlik çözümü sunulmaktadır. Çalışmada veri olarak bulut içi ve bulut dışı sistem çağrıları gerekli bilgileri elde etmek için kullanılmaktadır. Özellik çıkarımı is N-gram algoritması ile yapılmaktadır. Çıkarılan özellikler içinden gerekli olanları seçmek içinse özyinelemeli özellik çıkarımı (Recursive Feature Extraction) yöntemi kullanılmaktadır. Tespit kısmında ise karar ağacı, rastgele orman, AdaBoost, k-NN, Naive Bayes, destek vektör makinesi ve bu yöntemleri oylama yöntemi ile birleştirerek topluluk öğrenimi şeklinde modeller kullanılmıştır. En iyi sonuç rastgele orman yöntemi ile elde edilmiştir.

[24] nolu çalışmada DDoS saldırılarını tespit etmek, azaltmak ve bulut ortamını korumak için yazılım tanımlı ağ (Software Defined Network) tabanlı çok katmanlı bir kendini savunma sistemi önerilmiştir. DDoS saldırıları simule edilerek veriler oluşturulmuştur. Önerilen sistemde ağ trafiği sınıflandırması için destek vektör makinesi kullanılmaktadır. Servis olarak Spark (Apache) adı verilen bir yapı kullanılarak gerçek zamanlı verileri daha hızlı ve düzgün işleme kapasitesine sahip bir model önerilmiştir.

[25] nolu çalışmada bulut üzerinde güvenli veri iletişimi ve anti adli saldırıların tespiti için bir model önerilmiştir. Önerilen yaklaşım eliptik eğri kriptografi ve DNN kullanılmaktadır. DNN burada veri şifreleme işlemi yapıldıktan sonra iletilirken saldırıya uğramış mı uğramamış mı kontrolü için kullanılmaktadır. Ancak, DNN kullanılırken standart kullanımdan farklı olarak optimizasyon işlemi için mürekkepbalığı algoritması (Cuttle Fish Algorithm) kullanılmaktadır. Kullanılan derin öğrenme yöntemi ile birlikte önerilen şifreleme yönteminin kapsamlı bir güvenlik analizi yapılmıştır. Önerilen derin öğrenme modeli ise k-NN, DNN yöntemleri ile farklı ölçütler kullanılarak kıyaslanmıştır ve daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

[26] nolu çalışmada önerilen sistem, bulut ağındaki elemanlar arasındaki güven ilişkisinin periyodik olarak değerlendirildiği ve yenilendiği bir fikirdir. Önerilen model periyodik olarak yenilenen düğümler arasındaki güven ilişkisine dayalı olarak izinsiz girişleri tespit etmektedir. Daha az özellik ile daha iyi sonuçlar elde etmek ve makine öğrenimi algoritmaları için en iyi özelliklerin seçilmesi amacıyla bir özellik seçim algoritması önerilmiştir. Önerilen yöntem zaman kullanımını azaltarak özelliklerin bir alt kümesini rastgele olarak oluşturmaktadır. Çıkarılan özellikler devamında karar ağacı ve rastgele orman yöntemleri ile test edilmiştir. Önerilen şekilde öznitelik seçimi yapıldığında kullanılan geleneksel modellerin performanslarının %20'ye kadar gelişim gösterdiği görülmektedir.

[27] nolu çalışmada bulut kaynaklarının sınırlı olduğu ve birçok kullanıcı tarafından kullanıldığı vurgusu yapılmıştır. Asıl amaç ise bulut üzerindeki kaynak kullanımının kontrolünü sağlamaktır. Kripto madencilik uygulamaları çok fazla kaynak tükettiklerinden bulutta erişilebilirlik sorunlarına yol

açabilmektedir. Çalışmada madencilik uygulamalarının tespiti için Linux sistem çağruları özellik olarak kullanılmıştır. Tespit aşamasında karar ağacı, XgBoost, yapay sinir ağları ve LSTM yöntemleri kullanılmıştır. Karar ağaçları kullanımında en iyi sonuçlar elde edilmiştir.

[28] nolu çalışmada verilerin bulut üzerinde depolanması sırasında ve verileri bulut veri tabanından alırken veya verilere erişirken güvenliği sağlamak için bir yöntem önerilmiştir. Ayrıca verilerin güvenli bir şekilde depolanması ve geri çağırma işlemi sırasında veri tekrarının önlenmesi için bir veri tekilleştirme süreci de önerilmiştir. Önerilen mekanizmada geliştirilmiş C4.5 algoritması kullanılarak dinamik bir erişim kontrol mekanizması kullanılmaktadır. Kontrol mekanizmasının buradaki amacı bulut kullanıcılarını sınıflandırarak izinsiz girişleri engellemektir.

Tablo 5. İncelenen çalışmalarda kullanılan yöntemler ve kullanım şekilleri

Referans	Kullanılan Modeller	Model Kullanımı	Sınıf/Küme Sayısı	Model Türü
[14]	Yığın Gürültü Giderici Otokodlayıcı + Derin Sinir Ağı	Hibrit	İki	Sınıflandırma
[15]	CNN + MSVM	Hibrit	Çoklu	Sınıflandırma
[16]	Olasılıksal Sinir Ağı	Bağımsız	İkili ve Çoklu	Sınıflandırma
[17]	K-Means + DBSCAN	Hibrit	Çoklu	Kümeleme
[18]	Kısıtlanmış Boltzman Makinesi + ID3	Hibrit	Çoklu	Sınıflandırma
[19]	K-NN Rastgele Orman Yığıma Bayes Ağları Torbalama AdaBoost	Bağımsız ve Topluluk	Çoklu	Sınıflandırma
[20]	LSTM	Bağımsız	İki	Sınıflandırma
[21]	Destek Vektör Makinesi Lojistik Regresyon Naive Bayes Karar Ağacı	Bağımsız ve Topluluk	Çoklu	Sınıflandırma
[22]	Genetik Algoritma + Derin Sinir Ağı	Hibrit	İki	Sınıflandırma
[23]	Karar Ağacı Rastgele Orman AdaBoost K-NN Naive Bayes Destek Vektör Makinesi	Bağımsız ve Topluluk	Çoklu	Sınıflandırma
[24]	Destek Vektör Makinesi	Bağımsız	İki	Sınıflandırma
[25]	Derin Sinir Ağı	Bağımsız	İki	Sınıflandırma
[26]	Karar Ağacı Rastgele Orman	Bağımsız	Çoklu	Sınıflandırma
[27]	Karar Ağacı XgBoost Yapay Sinir Ağları LSTM	Bağımsız ve Topluluk	İki	Sınıflandırma
[28]	C4.5	Bağımsız	-	Sınıflandırma

Tablo 5'te incelenen çalışmalar ve kullanılan yöntemlerle ilgili bazı bilgiler paylaşılmıştır. Çalışmalar incelendiğinde bulut bilişim alanında güvenliği sağlamak için toplamda 23 farklı makine öğrenimi yönteminin kullanıldığı görülmüştür. Kullanılan yöntemlerin genellikle birbirinden bağımsız şekilde kullanıldığı görülmüştür. Ancak farklı yöntemleri birleştirerek hibrit ve topluluk öğrenimi şeklinde kullanan çalışmalarda mevcuttur. Tablo 5'te görüldüğü üzere önerilen modeller genellikle

sınıflandırma yapmak üzerinedir. Kümeleme yaklaşımını kullanan sadece bir tane çalışma bulunmaktadır. Kullanılan makine öğrenimi yöntemleri arasında en çok tercih edilenler; altı tane ile karar ağaçları, beş tane ile sinir ağları (yapay sinir ağları ve derin sinir ağları) ve dört tane ile destek vektör makinesi yöntemleridir. 15 tane çalışma içerisinde yedi tane çalışma derin öğrenme yöntemlerini kullanırken, sekiz tanesi geleneksel makine öğrenimi yöntemlerini kullanmaktadır. Farklı yöntemleri birleştirerek elde edilen hibrit yöntemlerini kullanan beş çalışmadan dört tanesi derin öğrenme yöntemlerini kullanmaktadır. Geleneksel makine öğreniminde ise modelleri bağımsız kullanmak yerine topluluk öğrenimi kullanmak daha iyi sonuçlar alınmasını sağlayabilmektedir ve dört çalışmada sadece bu şekilde bir kullanım mevcuttur.

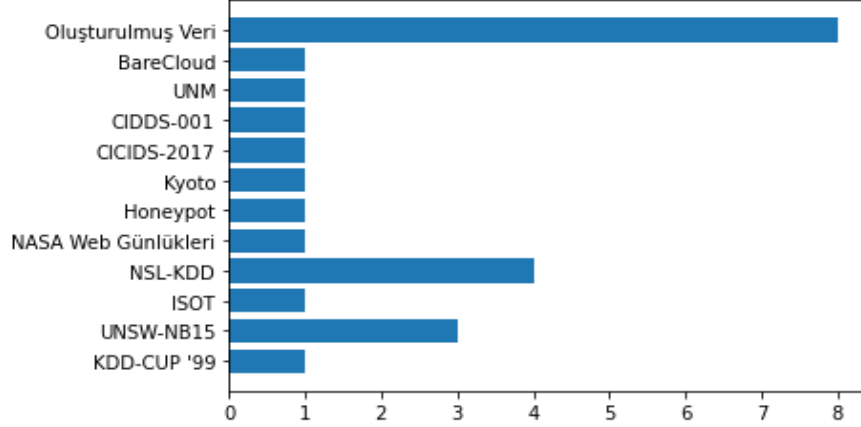
Tablo 6. İncelenen çalışmalarda kullanılan performans ölçüm metrikleri

Performans Ölçüm Yöntemi	Çalışma													
	[14]	[15]	[16]	[18]	[19]	[20]	[21]	[22]	[23]	[24]	[25]	[26]	[27]	[28]
Doğruluk (Accuracy)	✓	✓		✓		✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓
Gerçek Pozitif Oranı (True Positive Rate – TP, Sensitivity)		✓	✓		✓				✓	✓	✓			
Yanlış Negatif Oranı (False Negative Rate – FN)		✓		✓	✓	✓		✓	✓					
Gerçek Negatif Oranı (True Negative Rate – TN, Specivity)		✓			✓			✓	✓	✓	✓			
Yanlış Pozitif Oranı (False Positive Rate – FP)		✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓			✓		
Kesinlik (Precision, Decision Rate)			✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓		✓	
Duyarlılık (Recall)					✓	✓	✓			✓	✓		✓	
F1 - Puanı			✓		✓			✓		✓	✓		✓	
ROC - AUC							✓	✓						✓
Algılama Oranı (Detection Rate)				✓				✓				✓		
Yanlış Alarm Oranı (False Alarm Rate)							✓							
Mathew Korelasyon Katsayısı											✓			
Negatif Tahmin Oranı											✓			
Pozitif Tahmin Oranı											✓			
Cohen's Kappa													✓	
Test Sınıflandırma Hatası	✓													
Yanlış Sınıflandırma Doğruluğu					✓									

İncelenen çalışmalarda doğru makine öğrenimi yöntemini seçmek, bu yöntemin etkili ve doğru çalıştığını göstermek için önerilen modeller diğer modeller ile kıyaslanmaktadır. Bazı çalışmalarda birden fazla ML yöntemi ile bu kıyaslamalar yapılırken, bazı çalışmalarda ise önerilen modele yakın modeller ile kıyaslamalar yapılmaktadır. Bu karşılaştırmalar için bazı performans ölçüm metrikleri kullanılmaktadır. İncelenen çalışmalar doğrultusunda toplamda 17 tane değerlendirme ölçütünün kullanıldığı belirlenmiştir. Bunlarla ilgili bilgiler Tablo 6'da detaylandırılmıştır. Tablo 6 incelendiğinde önerilen modellerin ne kadar efektif çalıştığını göstermek adına 11 çalışmada doğruluk oranının kullanıldığı görülmektedir. Kesinlik ölçütü 2. en çok kullanılan ölçüttür ve bir modelin olumlu bir sonucu ne sıklıkta doğru tahmin ettiğini ifade etmektedir. Toplamda dokuz çalışmada kullanılmıştır. Yanlış pozitif oranı normal bir verinin yanlış sınıflandırılma oranını ifade etmektedir ve toplamda sekiz çalışmada kullanılmıştır. Gerçek pozitif oranı normal bir verinin doğru sınıflandırılma oranını ifade etmektedir ve altı çalışmada kullanılmıştır. Bu ölçütleri yine altı çalışmada kullanılmış olmaları ile yanlış negatif oranı, duyarlılık ve F1-puanı takip etmektedir. [17] nolu çalışmada kümeleme işlemi yapıldığından küme sayısı gibi farklı bilgiler paylaşılmaktadır ve karşılaştırma yapabilecek herhangi bir ölçüt kullanılmamıştır.

B. AS2: KULLANILAN VERİ KÜMELERİ VE ÖZELLİKLERİ

Veri kümeleri, bir modelin değerlendirmesini yapabilmek için çok önemlidir ve en iyi sonucu elde etmede önemli bir rol oynamaktadır. İncelenen çalışmalarda toplamda 11 tane hazır veri kümesinin ve bunlara ek olarak bazı çalışmalarda yazarların kendi oluşturdukları veri kümelerinin kullanıldığı görülmektedir. Kullanılan veri kümelerinin çalışmalara göre sayısı ile ilgili bir grafik Şekil 2'de verilmiştir. Şekil 2'de görüldüğü üzere hazır veri kümeleri olarak en çok tercih edilenler NSL-KDD ve UNSW-NB15 veri kümeleridir ve bundan dolayı bu veri kümeleri detaylandırılmıştır.



Şekil 2. Çalışmalarda kullanılan veri kümeleri ve kullanım sayıları

NSL-KDD veri kümesi KDD CUP '99 veri kümesinin gelişmiş bir versiyonu olarak 2009 yılında hazırlanmıştır [29]. Kayıt başına 43 özellik içerir, özelliklerin 41'i trafik girdisi ve son ikisi etiketler (normal veya saldırı) ve skor (trafik girdisinin önem derecesi) şeklindedir. En önemli özelliklerinden bir tanesi, eğitim ve test aşamasında kayıt sayısı arasındaki dengesizlik sorununu ortadan kaldırarak, yanlış alarm oranlarını azaltmasıdır. Veri kümesi içerisinde dört farklı saldırı sınıfı bulunmaktadır [29]:

- Hizmet Reddi (Denial of Service - DoS): Bu saldırı çeşidi, saldırganın bazı bilgi işlem veya bellek kaynaklarını meşru istekleri yerine getiremeyecek kadar meşgul, dolu hale getirdiği veya meşru kullanıcıların bir makineye erişimini engellediği bir saldırdır. Bu, veri kümesindeki en yaygın saldırdır. IDS, sistemin idare edemeyeceği kadar anormal miktarda trafikle dolup taşar ve kendini korumak için kapanır.
- Probe: Bu saldırıdaki amaç, bir hırsız gibi davranmak ve müşterilerle ilgili kişisel bilgiler veya bankacılık bilgileri gibi önemli bilgileri çalmaktır.
- User to Root (U2R): U2R, normal bir kullanıcı hesabıyla başlayan ve bir süper kullanıcı (kök) olarak sisteme veya ağa erişmeye çalışan bir saldırdır. Saldırgan, kök ayrıcalıkları/erişim elde etmek için bir sistemdeki güvenlik açıklarından yararlanmaya çalışır.
- Remote to Local (R2L): Ağ üzerinden bir makineye paket gönderme yeteneğine sahip olan ancak o makine üzerinde bir hesabı olmayan saldırganın, makinenin kullanıcısı olarak yerel erişim elde etmek için bazı güvenlik açıklarından yararlanması durumunda ortaya çıkar.

Yukarıdaki saldırı çeşitleri veri kümesinde mevcut olmasına rağmen, saldırıların dağılımı oldukça çarpıktır. Veri kümesinde bulunan kayıtların yarısından fazlası normal trafiktir ve U2R, R2L dağılımları son derece düşüktür. Ancak, en yaygın saldırı çeşidinin DoS olduğu düşünüldüğünde, günümüz internet trafiği saldırılarının dağılımının yaklaşık bir temsilidir.

UNSW-NB15 veri kümesi, çok sayıda kullanıcı kaydı biçiminde gerçek modern normal kanıtlar ve sentetik çağdaş saldırı örneklerinin bir karışımından oluşur; normal gözlemleri ve dokuz saldırı sınıfı içermektedir [30]:

- Fuzzers: Rastgele oluşturulmuş verileri besleyerek bir programın veya ağın askıya alınmasına neden olmaya çalışan saldırıdır.
- Analysis: Farklı port tarama, spam ve html dosya penetrasyon saldırılarını içerir.
- Backdoors: Bir bilgisayara veya verilerine erişmek için bir sistem güvenlik mekanizmasının gizlice atıldığı bir teknik.
- DoS: Genellikle internete bağlı bir ana bilgisayarın hizmetlerini geçici olarak kesintiye uğratarak veya askıya alarak bir sunucuyu veya ağ kaynağını kullanıcılar tarafından kullanılamaz hale getirmeye yönelik kötü niyetli bir girişim.
- Exploits: Saldırganın, bir işletim sistemi veya bir yazılım parçası içindeki bir güvenlik sorununu bildiği ve bu güvenlik açığından yararlandığı bir saldırı çeşidi.
- Generic: Bu, esasen gizli anahtarlar üzerinde yapılan bir çakışma saldırısıdır. Bir teknik, blok şifrenin yapısı dikkate alınmadan tüm blok şifrelerine (belirli bir blok ve anahtar boyutu ile) karşı çalıştırılır.
- Reconnaissance: Bilgi toplayan saldırıların benzetimini yapabilen tüm saldırılar.
- Shellcode: Yazılım güvenlik açığından yararlanmada yük olarak kullanılan küçük bir kod parçası.
- Worms: Saldırganın, diğer bilgisayarlara yayılmak için kendini kopyaladığı bir saldırı çeşididir. Genellikle, saldırı kendisini yaymak için bir bilgisayar ağını kullanır ve bu ağa erişmek için hedef bilgisayardaki güvenlik hatalarına güvenir.

UNSW-NB15 veri kümesi gerçek dünya trafik ağ paketlerinden elde edilen kayıt başına 49 özellik içerir, özelliklerin 47 tanesi trafik girdisi ve son ikisi etiketler (saldırı türü) ve bir kaydı normal veya anormal olarak sınıflandıracak (0 veya 1) şeklindedir. Bu veri kümesinde de NSL-KDD de olduğu gibi bir dağılım problemi bulunmaktadır. Kayıtların yarısından çoğu normal ağ davranışlarıdır ve bazı durumlarla ilgili veriler neredeyse yok denecek kadar azdır. NSL-KDD ve UNSW-NB15 veri kümeleri hakkında daha detaylı bilgiler için [29] ve [30] çalışmalarına bakınız. Bunlara ek olarak [28] nolu çalışmada yazarlar tarafından kullanılan veri kümesi hakkında bir bilgi paylaşılmamıştır.

Şekil 1'de görüldüğü üzere incelenen çalışmalardan sekiz tanesinde oluşturulan veri kümeleri kullanılmıştır. [17] çalışmasında veri olarak genel konum bilgisi, işletim sistemi bilgisi, kaynak ve hedef tarafın IP adresleriyle birlikte ağ paketleri arasındaki gecikmeler kullanılmıştır. [18] çalışmasında NSL-KDD veri kümesi zararlı davranışları temsil ederken Network Simulator-3 (NS-3) aracılığıyla oluşturulan trafik iyi huylu davranışları temsil etmektedir ve birlikte kullanılmışlardır. NS-3 ile toplanan veriler ağdaki kullanılan protokol, başlangıç zamanı, kaynak baytları ve hedef baytları gibi verileri içermektedir. [19] çalışmasında iş parçacıklarının CPU kullanımları ve kaynak erişimlerinin izlenmesi ile tespit işlemlerinin gerçekleştirilebileceğinden bahsedilmektedir. Veri olarak iş parçacıklarının anlık yaptıkları CPU paylaşımı, iş parçacıklarının kümülatif CPU paylaşımları, kritik kaynak erişim türü ve kritik kaynak erişim süresi kullanılmaktadır. Bu verilerin ek olarak n-gram algoritması ile geliştirilmiş versiyonları da kullanılmıştır. Düzenli bir ağ trafiğinin oluşturulabilmesi için bir bulut uygulaması aracılığıyla bazı senaryolar ile saldırıların benzetimi yapılmıştır. [20] çalışmasında NASA web günlükleri temel alınarak zaman serisi şeklinde veriler oluşturulmuştur ve saldırı simülasyonları gerçekleştirilmiştir. [23] çalışmasında çalıştırılabilir her dosya için günlük izleme işlevi kullanılarak Elog adında bir veri kümesi oluşturulmuştur. Bu veri kümesi bulut bulutu şeklinde bir ortamda sanal makine içi ve sanal makine dışı sistem çağruları kullanılarak oluşturulmaktadır. [24] çalışmasında veri olarak; saniyede birim zaman başına kaynak IP sayısı, gelen akış paketlerinin standart sapması, akış varlıklarının hızı, yineleme oranı ve toplam akış sayısı kullanılmıştır. [25] çalışmasında güvenli olduğu bilinen IP adresleri veri olarak kullanılmıştır. [27] çalışmasında ise kripto madencilik uygulamalarının belirli sistem çağrılarını kullandığı düşüncesi ile Linux sistem çağruları veri olarak kullanılmıştır.

C. AS3: ÇALIŞMALARIN ODAKLANDIKLARI BİLGİ GÜVENLİĞİ KAVRAMLARI

Ulusal Güvenlik Sistemleri Komitesi (Committee on National Security Systems - CNSS), bilgi güvenliğini, bilgilerin ve bu bilgileri kullanan, depolayan, ileten sistemler, donanımlar dahil olmak üzere kritik unsurlarının korunması olarak tanımlamıştır [31]. CNSS bilgi güvenliği modeli, bilgisayar güvenliği endüstrisi tarafından geliştirilen CIA üçgeni (confidentiality (gizlilik) - integrity (bütünlük) - availability (erişilebilirlik)) özelliklerine dayanmaktadır. CIA üçgeni, ana çerçevenin geliştirilmesinden bu yana bilgisayar güvenliği için endüstri standardı olmuştur [32].

Gizlilik, bulut bilişim hizmeti kullanıcılarının bilgilerinin yetkisiz olarak ifşa edilmesini engellemeyi gerektirmektedir. Bulut servis sağlayıcıları, gizliliği garanti etmek için kullanıcılardan ücret talep etmektedir. Bulut bilişim sistemlerini kullanmanın amaçlarından bir tanesi, veri gizliliğini sağlayarak bulut üzerindeki çeşitli kaynakları kullanmaktır. Bilginin (veri) yetkisiz kişilere veya sistemlere maruz kalmasına karşı koruma gerçekleştirildiği zaman gizlilik sağlanmaktadır [32]. Gizlilik, yalnızca bilgiye erişim haklarına ve ayrıcalıklarına sahip olanların bunu yapabilmesini sağlar. Yetkisiz kişiler veya sistemler bilgileri görüntüleyebildiğinde, gizlilik ihlal edilmiş olur. Bu açıdan bakıldığında kimlik denetimi (erişim kontrolü) bulut bilişimde gizliliğin önemli bir parçasıdır.

Bulut bilişim sistemlerini kullanmanın amaçlarından bir tanesi, çeşitli kaynakları kullanmaktır. Bulut bilişim sistemlerinin tüm verileri desteklemesinin ve birçok kullanıcının aynı bulutlara bağlı kalmasının nedeni budur. Bilgi, eksiksiz ve bozulmamış olduğunda bütünlüğe sahiptir. Bilgi, bozulduğunda, hasara, tahribata maruz kaldığında veya özgün durumu herhangi bir şekilde değiştiğinde bilginin bütünlüğü tehdit altına girmektedir [32]. Kullanıcılar mevcut verileri değiştirme, güncelleme veya buluta yeni veriler eklemek isteyebilirler. Bu nedenle, veri bütünlüğünü sağlamak için kimlik denetimi işlemi yapılması gerekmektedir.

Erişilebilirlik, yetkili kullanıcıların (kişiler veya bilgisayar sistemleri) bilgiye müdahale veya engelleme olmaksızın erişmesini ve gerekli formatta almasını sağlar. Erişilebilirlik, tüketicinin sistemi beklendiği gibi kullanma yeteneğidir [31]. Bir bulut bilişim sisteminin önemli avantajlarından biri veri kullanılabilirliğidir. Erişilebilirlik bulut sistemlerinin ana bir parçası olduğundan, ortamın artan kullanımı, dışarıdan veya içeriden gerçekleşecek saldırılar erişilebilirlik problemi yaşanması olasılığını artıracak ve bu nedenle bulut sisteminin performansını düşürecektir. Bulut uygulamaları, kimlik denetimi yoluyla erişilebilirliği artırır.

Gizlilik ve bütünlük açısından bakıldığında kimlik denetimi bu özelliklerin sağlanması açısından son derecede önem taşımaktadır. Erişim kontrolü, yalnızca kullanıcı kimliğine göre belirlenebilir, ancak çoğu durumda, kullanıcı hakkında rolleri veya unvanları gibi ek nitelikler gerektirir [33]. Bulut için uygun erişim kontrol modellerinin uygulanması, mevcut erişim kontrol modelleri bulut sistemlerinin gereksinimlerini karşılamak için özel olarak tasarlanmadığından kritik olarak değerlendirilen alanlardan biridir [33]. Bu yüzden bu çalışmada üç ana bilgi güvenliği kavramına ek olarak dördüncü bir kavram kimlik denetimi dahil edilerek inceleme genişletilmiştir.

İncelenen çalışmalar genellikle IDS kavramı üzerinde durduklarından, bulut üzerindeki anormal davranış veya saldırıları tespit etmek üzerine yapılan çalışmalardır. İlk bakışta bu sistemlerin kendilerinin özellikle gizlilik ve bütünlük düşünüldüğünde bilgi güvenliği kavramlarını sağlamadıkları düşünülebilir. Ancak herhangi bir saldırıyı durdurmanın en iyi yollarından birisinin bu saldırıyı tespit etmek olduğu düşünüldüğünde bu çalışmaların ilgili bilgi güvenliği kavramlarını kısmen de olsa sağladıkları görülmektedir. Çalışmaların kullandıkları hazır veri kümeleri (örneğin NSL-KDD ve UNSW) ilgililenen dört bilgi güvenliği kavramı için tespit edilecek saldırı türlerini barındırmaktadır. Bu yüzden bu kavramları karşılayan saldırıları tespit eden çalışmaların bilgi güvenliği kavramlarını sağladıkları düşünülmüştür. Ek olarak incelenen sistemlerde genel olarak görülen yapı, tespit mekanizması yanında bu saldırıların azaltılmasını veya sanal makine seçimi, işlem (process) durdurma ve belirlenen IP üzerinden gelen trafiği durdurma gibi yöntemlerle engellenmesini de içermektedir. Ancak, bulut bilişimde özellikle erişim kontrolü bilgi güvenliği kavramlarını sağlamak açısından çok

büyük önem taşımaktadır. Kimlik denetimi mekanizması kullanmayan çalışmaların veya kimlik denetimi ile ilgili bir tespit yapmayan çalışmaların gizlilik ve bütünlük kavramlarını sağlayamayacağı durumlar ortaya çıkabilecektir. Bu bilgiler doğrultusunda incelenen çalışmaların bilgi güvenliği kavramları açısından incelemeleri Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7. Çalışmaların sağladıkları bilgi güvenliği kavramları açısından değerlendirmeleri

Çalışma	Gizlilik	Bütünlük	Erişilebilirlik	Kimlik Denetimi (Erişim Kontrolü)
[14]	✓	✓	✓	✓
[15]	✓	✓	✓	✓
[16]	✓	✓	✓	
[17]	✓	✓	✓	
[18]	✓	✓	✓	✓
[19]		✓	✓	✓
[20]			✓	
[21]	✓	✓	✓	✓
[22]	✓	✓	✓	✓
[23]			✓	✓
[24]			✓	
[25]	✓	✓		
[26]	✓	✓	✓	✓
[27]			✓	
[28]		✓		✓

D. DEĞERLENDİRME

Bu bölümde, araştırma soruları yanıtladıktan sonra oluşturulan analiz ve bazı makalelerin gelecek çalışmalarının analizi sunulmaktadır. Bu açıdan paylaşılan Tablo 8 incelenen çalışmaların genel bir özeti elde ettikleri en iyi sonuçlarla birlikte sunulmaktadır. Devamında incelenen çalışmalar IDS, atak tespiti, zararlı yazılım tespiti, DDoS ve anormallik tespiti şeklinde beş güvenlik yönü açısından sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırma ile ilgili bilgiler Tablo 9'da verilmiştir.

Tablo 9. Çalışmaların bazı güvenlik yönleri açısından sınıflandırılmaları ve güvenlik yönü açısından en iyi sonuçları elde eden çalışmalar

Güvenlik Yönü	Çalışma Referansları	En Yüksek Başarı Elde Eden Çalışmalar
İzinsiz Giriş Tespiti	[14], [18], [22], [26], [27]	[18] ve [22] çalışmaları %99 üzerinde doğruluk sonucu elde etmiştir
Atak Tespiti	[15], [16], [20], [21], [25], [26]	[21] çalışması bazı veri kümeleri için %99 üzerinde doğruluk sonucu elde etmiştir. [20] çalışması ise %99 doğruluk sonucu elde etmiştir.
Zararlı Yazılım Tespiti	[19], [23]	[19] çalışması %98.9 F1-Puanı sonucu elde etmiştir
DDoS	[17], [24]	[24] çalışması %98.9 F1-Puanı sonucu elde etmiştir
Anormallik Tespiti	[20], [27]	[20] çalışması %99 doğruluk, kesinlik ve duyarlılık sonucu elde etmiştir.

Tablo 8. İncelenen çalışmaların elde ettikleri en iyi sonuçlar. Test ve eğitim veri sayısı paylaşılmayan çalışmalarda sadece veri sayıları paylaşılmıştır. (Ç: Çalışma, VK: Veri Kümesi, VM: Veri Miktarı, EV: Eğitim Verisi Miktarı, TVM: Test Verisi Miktarı, Z: Zararlı, N: Normal, OV: Oluşturulmuş Veri, D: Doğruluk, TP: Gerçek Pozitif Oranı, FN: Yanlış Negatif Oranı, TN: Gerçek Negatif Oranı, FP: Yanlış Pozitif Oranı, K: Kesinlik, Du: Duyarlılık, AO: Algılama Oranı, YAO: Yanlış Alarm Oranı, MKK: Mathew Korelasyon Katsayısı, NTO: Negatif Tahmin Oranı, PTO: Pozitif Tahmin Oranı, CK: Cohen's Kappa, TSH: Test Sınıflandırma Hatası, YSD: Yanlış Sınıflandırma Doğruluğu)

Performans Kriterleri																				
Ç	VK	VM		D (%)	TP (%)	FN (%)	TN (%)	FP (%)	K (%)	Du (%)	F1 (%)	ROC-AUC (%)	AO (%)	YAO (%)	MKK (%)	NTO (%)	PTO (%)	CK (%)	TSH (%)	YSD (%)
		EVM	TVM																	
[14]	KDD Cup '99	396,743 Z 97,278 N	231,647 Z 60,593 N	92.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.2	-
[15]	UNSW	120,000 Z 60,000 N	43,000 Z 40,000 N	96.45	98.6	1.4	98.3	≈0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	ISOT	56,000 Z 170,000 N		98.6	63.9	36.1	99.87	≈0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
[16]	UNSW (Çok sınıflı)	4500 Z	900 Z	-	-	-	-	3.6	96.4		97.5									
	UNSW (Tek sınıflı)	2000 Z 2000 N	1000 Z 1000 N	-	98	-	-	2												
[18]	NSL-KDD (sağdaki veriler NS - 3 (Normal veriler, sayısı verilmemiştir))	58,630 Z 67,343 N	12,833 Z 9,771 N	99.43	-	1.53	-	0.96	99.92	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
[19]	OV	1000 Z 99,000 N		-	98.99	0.016	0.989	0.006	99.4	98.4	98.9	-	-	-	-	-	-	-	-	2.2
[20]	NASA Web Sunucu Günlükleri	İlk 820 saat verileri	821 - 1369 saatleri arası verileri	99	-	-	-	-	99	99	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
[21]	NSL-KDD	148,517 örnek		96.06	-	-	-	-	≈95	≈93	-	95	-	0.076	-	-	-	-	-	-
	Honeypot	250,092 örnek		99.93	-	-	-	-	≈95	≈94	-	98	-	0.001	-	-	-	-	-	-
	Kyoto	257,673 örnek		99.93	-	-	-	-	≈94	≈2	-	96	-	0.001	-	-	-	-	-	-
[22]	CICIDS-2017	20,000 Z 20,000 N	20,000 Z 20,000 N	99.93	-	0.08	99.95	0.05	99.95	-	99	99.93	99.92	-	-	-	-	-	-	-
	NSL-KDD	70,373 Z 80,792 N	12,833 Z 9,711 N	99.86	-	0.17	99.91	0.09	99.93	-	99	99.87	99.83	-	-	-	-	-	-	-
	CIDD-001	39,392 Z 571,979 N	26,260 Z 407,579 N	99.92	-	0.14	99.92	0.08	99.87	-	99.89	99.89	99.86	-	-	-	-	-	-	-
[23]	UNM (Sonuçlar her sınıf için ayrı verildiğinden aralık paylaşılmıştır)	2,612 Z 32,104 N		81.25 - 99.92	86.7 - 99	0 - 4	73.6 - 100	0.7 - 16.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Elog (Sonuçlar her sınıf için ayrı verildiğinden aralık paylaşılmıştır)			95.43 - 97.81	89.1 - 100	0 - 10.9	95.8 - 98.3	0.7 - 4.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
[24]	OV	-	4000 Z 2000 N	-	98.48	-	98.52	-	98.33	98.48	98.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
[25]	OV	100 ile 500 arasında değişen paket sayılarında veriler kullanılmıştır		96.25	96.12	-	94.32	-	95.65	93.45	92.11	-	-	-	89.9	94.47	85.78	-	-	-
[26]	NSL-KDD	262,283 Z 812,814 N	29,378 Z 47,911 N	98	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	UNSW	321,283 Z 2,218,761 N		91	-	-	-	4	-	-	-	94	-	-	-	-	-	-	-	-
[27]	OV	176,811 Z 135,686 N		97.1	-	-	-	-	97	97	97	97.01	-	-	-	-	-	94.03	-	-

Tablo 9'da paylaşılan çalışmalardan görüldüğü üzere bu beş güvenlik yönünden bakıldığında, modellerin %99 üzeri başarılarla ulaştıkları ve bu güvenlik sorunlarının neredeyse çözüldüğü düşünülebilir. Ancak, Tablo 8'de elde edilen sonuçlar kullanılan veriye oldukça bağımlıdır. Örneğin, [21] çalışmasını ele alırsak üç farklı veri kümesi için iki veri kümesinde nispeten yakın sonuçlar alınmış olsa da, diğer veri kümesinde (NSL-KDD) daha düşük başarı elde edilmiştir. Burada kullanılan verinin büyüklüğü de önemli olmaktadır. İncelenen çalışmalarda görüldüğü üzere genellikle dengesiz veri kümelerinin (sınıfların eşit sayıda örnek içermediği durum) kullanıldığı görülmektedir. Örneğin AS2'de bahsedilen veri kümeleri düşünüldüğünde farklı atak tipleri bulunmaktadır ancak her atak tipi için eşit sayıda veri bulunmamaktadır. Bu durum yeterince güvenilir performans metrikleri ile değerlendirme yapılmadığında, sınıflandırıcının performansı konusunda şüphelere sebep olabilir. Dengesiz veri kümeleri sıklıkla kullanılmaktadır ve bu tarz durumlarda değerlendirme yapmak için en çok tercih edilen yöntem F1-Puanı incelemesidir. Ancak incelemelerde görülmektedir ki sadece altı çalışma bu metriği incelemesine dahil etmiştir. Dengesiz veri kümelerinin kullanımı yapıldığında güvenilir performans kriterlerinin kullanımı önemli ve kesinlikle incelenmesi gereken bir durumdur.

Çalışmalarda bahsedilen açık durumlar incelendiğinde en çok öne çıkanlar, derin öğrenme modellerinin kullanılmak istenmesi ve farklı veriler üzerinde yapılmak istenen deneylerdir. İncelenen çalışmalarda görüldüğü üzere, sürekli değişen saldırı yapılarından dolayı geleneksel yöntemlerin artık geleneksel güvenlik sistemleri için yetersiz kalması ve artan veri sayısı ile birlikte derin öğrenme modellerinin kullanımının ön plana çıktığı görülmektedir. Derin öğrenme modellerinin büyük sayıdaki veriler ile geleneksel yöntemlere kıyasla çok daha verimli çalıştığı bilinen bir durumdur. Diğer bir öne çıkan durum ise gerçek dünya verileri ile oluşturulan bu modeller üzerinde deneylerin yapılmasıdır. Çoğu çalışmada hazır verilerin kullanıldığı, bu verilerin büyük çoğunluğunun güncel olmaktan uzak olduğu ve her saldırı türü için yeterli örnek olmadığı düşünüldüğünde, önerilen sistemlerin gerçek performanslarının anlaşılabilmesi açısından gerçek dünya verilerinin kullanımı büyük önem arz etmektedir. Aksi takdirde önerilen sistemler sadece veri kümelerinde bulunan belirli durumlara karşı savunma sağlayabilecek olsa bile gerçekleştirilecek farklı bir saldırıyı tespit etmekte veya durdurmakta başarısız olacaklardır.

IV. SONUC

Bu çalışmada bulut bilişim güvenliği alanında kullanılan ML yöntemlerini incelemek için bir sistematik literatür taraması çalışması yapılmıştır. İlgili çalışmalar seçildikten sonra belirlenen üç tane araştırma sorusunun cevaplanması amaçlanmıştır. Bu üç soru; kullanılan ML yöntemleri ve performans kriterleri, kullanılan veri kümeleri ve çalışmaların odaklandıkları bilgi güvenliği kavramlarıdır. Seçme ve eleme kriterleri doğrultusunda toplamda 15 tane çalışma bu incelemeye dahil edilmiştir. İnceleme sonuçları aşağıda özetlenmiştir:

- AS1 sonucu olarak toplamda 23 tane ML yönteminin ve 17 tane performans ölçütünün kullanıldığı görülmüştür. En çok kullanılan ML yöntemleri; altı tane ile karar ağaçları, beş tane ile sinir ağları (yapay sinir ağları ve derin sinir ağları) ve dört tane ile destek vektör makinesi yöntemleridir. Performans ölçütü olarak da 11 çalışmada doğruluk ve dokuz çalışmada kesinlik ölçütlerinin kullanıldığı görülmüştür.
- AS2 sonucu olarak toplamda 11 tane hazır veri kümesinin kullanıldığı görülmüştür. Bu veri kümeleri içerisinde dört çalışma ile NSL-KDD ve üç çalışma ile UNSW veri kümeleri en çok kullanılanlar olarak öne çıkmaktadır. İncelenen çalışmalardan sekiz tanesinde ise yazarların kendi oluşturdukları veri kümelerini kullandıkları görülmüştür. Çalışmalarda genellikle dengesiz dağılımlara sahip veri kümeleri kullanılmıştır. Önerilen modellerin performanslarını daha iyi inceleyebilmek için özellikle dengesiz dağılımlar üzerinde sonuçları daha düzgün bir şekilde ifade eden F1-Puanı gibi daha farklı performans kriterinin incelenmesi gerekliliği görülmektedir. Çalışmaların gerçek dünya verilerini daha çok kullanması veya bu verileri çok daha iyi ifade edebilecek simülasyonlar yapmalarının gerektiği anlaşılmaktadır.

- AS3 sonucu olarak çalışmaların kullandıkları veri kümelerinin yapılarından dolayı gizlilik, bütünlük, erişilebilirlik ve kimlik denetimi kavramlarını genel olarak sağladıkları görülmüştür. Ancak bu kısımda bilgi güvenliği kavramlarını sağladığı söylenen çalışmalar, çoğunlukla bu kavramlar ile ilgili saldırıların tespitlerini içermektedir. Bulut bilişim açısından düşünüldüğünde kimlik denetimi gizlilik ve bütünlük kavramlarını karşılayabilmek açısından büyük önem arz etmektedir ve 15 çalışmadan dokuz tanesinin bu özelliği sağladığı görülmüştür.

V. KAYNAKLAR

- [1] P. Mell and T. Grance. (2011, Sep). *The NIST definition of cloud computing* [Online]. Available: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/SP/nistspecialpublication800-145.pdf>.
- [2] A. B. Nassif, M. A. Talib, Q. Nasir, H. Albadani, and F. M. Dakalbab, "Machine learning for cloud security: A systematic review," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 20717–20735, 2021.
- [3] L. Alhenaki, A. Alwatban, B. Alahmri, and N. Alarifi, "Security in cloud computing: A survey," *International Journal of Computer Science and Information Security*, vol. 17, pp. 67–90, 2019.
- [4] C. Modi, D. Patel, B. Borisaniya, A. Patel, and M. Rajarajan, "A survey on security issues and solutions at different layers of cloud computing," *J Supercomput*, vol. 63, no. 2, pp. 561–592, 2013.
- [5] M. De Donno, A. Giaretta, N. Dragoni, A. Bucchiarone, and M. Mazzara, "Cyber-storms come from clouds: Security of cloud computing in the IoT era," *Future Internet*, vol. 11, no. 6, Jun. 2019, Art. no. 127.
- [6] S. Singh, Y.-S. Jeong, and J. H. Park, "A survey on cloud computing security: Issues, threats, and solutions," *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 75, pp. 200–222, 2016.
- [7] U. A. Butt, M. Mehmood, S. B. H. Shah, R. Amin, M. W. Shaukat, S. M. Raza, D. Y. Suh, and M. J. Piran, "A review of machine learning algorithms for cloud computing security," *Electronics*, vol. 9, no. 9, Sep. 2020, Art. no. 1379.
- [8] Md. T. Khorshed, A. B. M. S. Ali, and S. A. Wasimi, "A survey on gaps, threat remediation challenges and some thoughts for proactive attack detection in cloud computing," *Future Generation Computer Systems*, vol. 28, no. 6, pp. 833–851, 2012.
- [9] A. Patel, M. Taghavi, K. Bakhtiyari, and J. Celestino Júnior, "An intrusion detection and prevention system in cloud computing: A systematic review," *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 36, no. 1, pp. 25–41, 2013.
- [10] S. G. Kene and D. P. Theng, "A review on intrusion detection techniques for cloud computing and security challenges," in *2nd International Conference on Electronics and Communication Systems (ICECS)*, 2015, pp. 227–232.
- [11] C. Modi, D. Patel, B. Borisaniya, H. Patel, A. Patel, and M. Rajarajan, "A survey of intrusion detection techniques in cloud," *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 36, no. 1, pp. 42–57, 2013.
- [12] D. Kwon, H. Kim, J. Kim, S. C. Suh, I. Kim, and K. J. Kim, "A survey of deep learning-based network anomaly detection," *Cluster Comput*, vol. 22, no. 1, pp. 949–961, 2019.

- [13] S. Shamshirband, M. Fathi, A. T. Chronopoulos, A. Montieri, F. Palumbo, and A. Pescapè, “Computational intelligence intrusion detection techniques in mobile cloud computing environments: Review, taxonomy, and open research issues,” *Journal of Information Security and Applications*, vol. 55, Dec. 2020, Art. no. 102582
- [14] A. Abusitta, M. Bellaiche, M. Dagenais, and T. Halabi, “A deep learning approach for proactive multi-cloud cooperative intrusion detection system,” *Future Generation Computer Systems*, vol. 98, pp. 308–318, 2019.
- [15] E. K. Subramanian and L. Tamilselvan, “A focus on future cloud: machine learning-based cloud security,” *SOCA*, vol. 13, no. 3, pp. 237–249, 2019.
- [16] M. Rabbani, Y. L. Wang, R. Khoshkangini, H. Jelodar, R. Zhao, and P. Hu, “A hybrid machine learning approach for malicious behaviour detection and recognition in cloud computing,” *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 151, Feb. 2020, Art. no. 102507.
- [17] S. Dey, Q. Ye, and S. Sampalli, “A machine learning based intrusion detection scheme for data fusion in mobile clouds involving heterogeneous client networks,” *Information Fusion*, vol. 49, pp. 205–215, 2019.
- [18] M. Aloqaily, S. Otoum, I. A. Ridhawi, and Y. Jararweh, “An intrusion detection system for connected vehicles in smart cities,” *Ad Hoc Networks*, vol. 90, Jul. 2019, Art. no. 101842.
- [19] M. T. Sandıkkaya, Y. Yaslan, and C. D. Özdemir, “DeMETER in clouds: detection of malicious external thread execution in runtime with machine learning in PaaS clouds,” *Cluster Comput*, vol. 23, no. 4, pp. 2565–2578, 2020.
- [20] A. Agarwal, A. Prasad, R. Rustogi, and S. Mishra, “Detection and mitigation of fraudulent resource consumption attacks in cloud using deep learning approach,” *Journal of Information Security and Applications*, vol. 56, Feb. 2021, Art. no. 102672.
- [21] S. Krishnaveni, S. Sivamohan, S. S. Sridhar, and S. Prabakaran, “Efficient feature selection and classification through ensemble method for network intrusion detection on cloud computing,” *Cluster Comput*, vol. 24, no. 3, pp. 1761 – 1779, 2021.
- [22] Z. Chiba, N. Abghour, K. Moussaid, A. El omri, and M. Rida, “Intelligent approach to build a deep neural network based IDS for cloud environment using combination of machine learning algorithms,” *Computers & Security*, vol. 86, pp. 291–317, 2019.
- [23] P. Mishra, I. Verma, and S. Gupta, “KVMInspector: KVM based introspection approach to detect malware in cloud environment,” *Journal of Information Security and Applications*, vol. 51, Apr. 2020, Art. no. 102460.
- [24] S. Mishra, S. Kumar Sharma, and M. A. Alowaidi, “Multilayer self-defense system to protect enterprise cloud,” *Computers, Materials & Continua*, vol. 66, no. 1, pp. 71–85, 2020.
- [25] D. R. Rani and G. Geethakumari, “Secure data transmission and detection of anti-forensic attacks in cloud environment using MECC and DLMNN,” *Computer Communications*, vol. 150, pp. 799–810, 2020.
- [26] Z. Chkirbene, A. Erbad, R. Hamila, A. Mohamed, M. Guizani, and M. Hamdi, “TIDCS: A dynamic intrusion detection and classification system based feature selection,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 95864–95877, 2020.

- [27] R. R. Karn, P. Kudva, H. Huang, S. Suneja, and I. M. Elfadel, "Cryptomining detection in container clouds using system calls and explainable machine learning," *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, vol. 32, no. 3, pp. 674–691, 2021.
- [28] D. Praveena and P. Rangarajan, "A machine learning application for reducing the security risks in hybrid cloud networks," *Multimed Tools Appl*, vol. 79, no. 7–8, pp. 5161–5173, 2020.
- [29] M. Tavallaee, E. Bagheri, W. Lu, and A. A. Ghorbani, "A detailed analysis of the KDD CUP 99 data set," *IEEE Symposium on Computational Intelligence for Security and Defense Applications*, 2009, pp. 1–6.
- [30] N. Moustafa and J. Slay, "UNSW-NB15: a comprehensive data set for network intrusion detection systems (UNSW-NB15 network data set)," *Military Communications and Information Systems Conference (MilCIS)*, 2015, pp. 1–6.
- [31] J. McConnell, "National training standard for information systems security (INFOSEC) professionals," National Security Agency/Central Security Service, Fort George, G Meade Md, Jun. 20, 1994.
- [32] M. E. Whitman and H. J. Mattord, *Principles of Information Security*, 4th ed., Boston, MA, USA: Cengage Learning, 2012.
- [33] S. Y. Lim, M. L. Mat Kiah and T. F. Ang, "Security issues and future challenges of cloud service authentication," *APH*, vol. 14, no. 2, pp. 69-89, 2017.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Derleme Makalesi

Havuz Fotopolimerizasyonu (HFP) ile Eklemeli İmalat

 Ümit Gencay BAŞCI^{a,*},  Rıdvan YAMANOĞLU^a

^a Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: umitbasci72@gmail.com

DOI: 10.29130/dubited.922415

ÖZ

Eklemeli imalat teknolojilerinden biri olan havuz fotopolimerizasyonu (HFP) sahip olduğu birçok avantaj nedeniyle hızla yaygınlaşmaktadır. İlk keşfedilen eklemeli imalat yöntemi olan SL (Stereolitography) keşfedildiği yıllarda prototip imalatı ve ürün geliştirme amaçlı kullanılmaktaydı. Sonraki yıllarda DLP (Digital Light Processing) ve CLIP (Continuous Light Interphase Printing) teknolojilerinin geliştirilmesi ile az adetli uygulamalara yönelik plastik parça imalatında da kullanılmaya başlamıştır. HFP teknolojileri diğer plastik eklemeli imalat teknolojilerine göre daha düşük yüzey pürüzlülüğü ve daha yüksek boyutsal hassasiyet sunmaktadır. HFP teknolojilerinin kompleks parçaların direkt imalatına izin vermesi, havacılık, otomotiv, sağlık, dişçilik, kuyumculuk gibi alanlarda kullanımlarını yaygınlaştırmaktadır. Uygulamaya özel geliştirilmiş malzemelerin kullanımı ile HFP teknolojileri hassas döküm, üretime yardımcı ekipmanlar, ortodonti diş kalıpları ve implant delme aparatları gibi uygulamalarda kullanılmaktadır. SL teknolojisinin ticari patentinin geçerliliğini yitirmesi ile açık kaynak kodlu ucuz masa üstü yazıcılar piyasaya sürülmüştür. Bu sayede HFP teknolojisi evlerimize kadar girmiştir. Bu çalışmada HFP teknolojileri ve kullanım alanları hakkında detaylı bilgiler verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Eklemeli imalat, Havuz fotopolimerizasyonu, SLA, DLP, CLIP

Additive Manufacturing via Vat Photopolymerization

ABSTRACT

Vat photopolymerization (VP), one of the additive manufacturing technologies, is spreading rapidly due to its many advantages. SL (Stereolitography) technology as the first manufacturing method has been used for prototyping and new product development. In the following years, with the development of DLP (Digital Light Processing) and CLIP (Continuous Light Interphase Printing) technologies, it has been started to be used in the production of plastic parts for low volume applications. VP technologies provides lower roughness, better dimensional accuracy than other plastic additive manufacturing methods. The fact that VP technologies allow direct manufacturing of complex parts makes their usage widespread in areas such as aviation, automotive, healthcare, dentistry and jewellery. With the use of materials specially developed for the application, VP technologies are used in areas such as lost wax casting, rapid tooling, orthodontic molds and drilling guides. Open source cheap desktop 3D printers has been introduced to the market after the commercial patent of SL technologies expires. In this way, VP technologies has entered our homes. In this study, detailed information about VP technologies and their application areas has been revealed.

Keywords: Additive manufacturing, Vat Photopolymerization, SLA, DLP, CLIP

I. GİRİŞ

Son yıllarda üretici firmalar, hızlı pazar koşulları ve rekabetin karşılanabilmesi için, ürün geliştirme süreçlerini kısaltmak ve farklı ürünleri piyasaya sürmek zorunda kalmaktadır. Ürün geliştirme ve üretim süreçlerinin kısaltılması konvansiyonel imalat teknolojilerinden daha hızlı teknolojiler ve üretimi hızlandırıcı yardımcı ekipmanların kullanımı ile mümkün olmaktadır. Bu bağlamda firmalar tarafından, tasarımdan direkt parça imalatına izin veren eklemeli imalat teknolojilerinin ürün geliştirme süreçlerinde kullanılmaları kaçınılmaz hale gelmektedir [1]. Üç boyutlu baskı (3DP) olarak da bilinen eklemeli imalat, parçaların tabaka tabaka imalatına izin veren bir teknolojidir [2]. Eklemeli imalat, konvansiyonel üretim teknolojileri ile (Enjeksiyon kalıplama, döküm, dövme ve talaşlı imalat gibi) imal edilemeyecek kompleks parçaların imalatına izin verdiği için birçok sektörde ürün geliştirme süreçlerinde ve az adetli parçaların imalatında kullanılmaktadır. Eklemeli imalat konusundaki uzmanların yaptıkları tahminlere göre; eklemeli imalata senelik olarak yapılan yatırımların 2030 yılına kadar bir trilyon \$'a yaklaşacağı düşünülmektedir. Malzeme ve makine sektöründeki hızlı gelişmeler ile birlikte eklemeli imalat, havacılık, otomotiv, savunma, yiyecek, doku mühendisliği ve elektronik gibi alanlarda kullanım alanı bulmaktadır. Eklemeli imalat sayesinde seramik, metal, plastik ve mum parçaların imalatı mümkün olmaktadır [3].

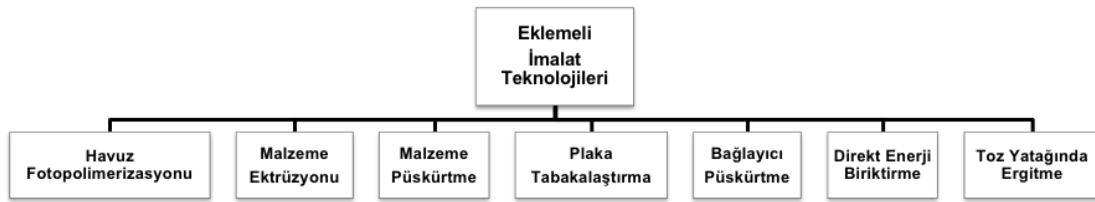
Eklemeli imalat, az adetli parçaların imalatı, kişiye özel imalat, tasarım serbestliği ve montajlı parçaların tek parça olarak imalatına izin vermesinden dolayı parça performansını arttırmakta ve üretim maliyetlerini düşürmektedir. Eklemeli imalat ayrıca, çevreye saygılı bir teknolojidir ve kullanımının yaygınlaşması ile 2025 yılı itibari ile toplam karbon dioksit emisyon miktarında senelik olarak 525,5 tonluk bir tasarruf sağlanacağı tahmin edilmektedir. Bu teknolojinin ürün geliştirme süreçlerinde kullanımı parça maliyetlerinde %70 ve yeni ürünün pazara çıkış sürelerinde %90 kazanç sağlamaktadır. Sağladığı bir çok avantaj nedeniyle eklemeli imalat pazarının ortalama senelik büyümesinin yaklaşık %22 olduğu düşünülmektedir [4]. World Intellectual Property Organization (Dünya Fikri Haklar Örgütü) uzmanlarına göre üç boyutlu baskı tekniklerinin ilk uygulaması, 19' uncu yüzyılda fotoğraftan heykel yapma çalışmalarına dayanmaktadır. İlk üç boyutlu objenin üretimi üzerine özel bilgisayar programlarının kullanımı 1960'lı yıllara dayanmaktadır. İlk fonksiyonel üç boyutlu baskı tekniğinin Nagoya Municipal Endüstriyel Araştırma Enstitüsü'nde uygulandığı Japon bilim adamı Hideo Kodama tarafından bildirilmiştir. Eklemeli imalat teknolojileri, 1980'li yıllardan beri kullanılmaktadır[5]. Teknolojinin ilk gelişim evrelerinde üretilen parçalar fonksiyonel olmayan kavramsal prototip uygulamalarında kullanılmaktaydı [6, 7]. Geliştirilen ilk eklemeli imalat teknolojisi ışığa duyarlı sıvı reçine tabakasının UV (Ultraviolet)-lazer ile katılaştırılma tekniğine dayalı olan SL (Stereolitography) tekniğidir. Daha sonraki yıllarda FDM (Fused Deposition Modelling), SLS (Selective Laser Sintering), LOM (Laminated Object Manufacturing), Inkjet Printing (3DP) ve LAM (Laser Additive Manufacturing) gibi birçok yeni teknoloji ortaya çıkmıştır [8, 9]. SL teknolojisinin yaygınlaşmasından sonra, aynı üretim tekniğine bağlı olarak DLP (Digital Light Processing), DPP (Daylight Polymer Printing) ve Continuous Light Interphase Printing (CLIP) teknolojileri üzerine çalışmalar yoğunlaşmıştır [10]. Sıvı reçineden polimerizasyon ile fiziksel parçanın imalatına dayalı bu teknolojilerinin hepsinde sıvı reçine havuzunda üretim yapıldığı için, Havuz Fotopolimerizasyonu (VP, Vat Photopolimerization) ismi verilmektedir. Havuz fotopolimerizasyonu (HFP) teknolojileri, FDM ve SLS gibi diğer eklemeli imalat teknolojilerine göre daha düşük yüzey pürüzlülüğü ve daha yüksek boyutsal hassasiyet gibi avantajlar sunmasından dolayı görsel prototip, silikon kalıplama, imalata yardımcı ekipmanlar ve az adetli plastik parça uygulamalarında tercih edilmektedir. Yüzey pürüzlülüğünün daha düşük olması parça imalatı sonrası zımparalama ve parlatma işlemlerindeki işçilik maliyetlerini de düşürmektedir [3]. Son yıllarda yeni malzemelerin geliştirilmesi ile enjeksiyon kalıplama ile şekillendirilebilen ABS (Acrylonitrile butadiene styrene) ve PP (Polypropylene) gibi mühendislik malzemelerine benzer mukavemet ve ısı dayanımına sahip, PE (Polyethylene) ve PMMA (Polymethyl methacrylate) gibi sterilize edilebilen ve hassas döküm ile metal parça imalatında master model olarak kullanılacak kalıp pişirme prosesi sırasında az miktarda kül bırakan parçalar üretilebilmektedir. Kullanıma uygun malzeme çeşitliliğinin artırılması ile HFP teknolojileri son yıllarda son kullanıma uygun az adetli parça imalatlarında kullanılmaya başlamıştır. Bu uygulamanın en çarpıcı

örneği Adidas'ın Carbon3D firması ile ortaklaşa koşucular için geliştirdiği kompleks ayakkabı tabanı tasarımının HFP teknolojisi ile imal edilmesi ve perakende olarak satılmasıdır [11].

Yukarıda bahsedilen avantajları nedeniyle yaygınlaşmaya başlayan HFP teknolojisi, yakın gelecekte akıllı fabrikaların temel imalat teknolojilerinden birisi olma olasılığını arttırmaktadır. Akıllı fabrikalarda HFP teknolojilerinin kullanımı, tasarım serbestliğine sahip akıllı ürünlerin daha düşük maliyetler ile üretilebilmesi ve hayatımızın daha kolaylaşması anlamına gelmektedir.

II. EKLEMELİ İMALAT TEKNOLOJİLERİ

Eklemeli imalat, üç boyutlu tasarımdan yola çıkarak malzemenin tabaka tabaka eklenmesi yoluyla, fiziksel parçanın imal edilmesine dayalı üretim teknolojilerine verilen genel isimdir [12]. Eklemeli imalat teknolojileri International Organization for Standardization (ISO)/American Society for Testing and Materials (ASTM) 52900:2015'e göre yedi sınıfa ayrılmaktadır [13]. Bu sınıflandırma Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Eklemeli imalat teknolojilerinin sınıflandırılması [13].

Yukarıda yedi sınıfa ayrılmış olan eklemeli imalat teknolojileri, kullanılmış oldukları malzemelere göre; polimer, metal, seramik ve mum eklemeli imalat yöntemleri olarak da sınıflandırılmaktadır [14]. Eklemeli imalat teknolojilerinin konvansiyonel imalat teknolojilerine göre birçoğ avantajları mevcuttur. Bu avantajlarından bazıları aşağıda maddeler halinde verilmiştir [6, 13].

- Tasarımın doğrudan imal edilebilmesi
- Kompleks iç yapılaraya sahip parçaların üretilebilmesi
- Kalıp, fikstür gibi üretime yardımcı elemanlara ihtiyaç duyulmaması
- Montaj gerektiren parçaların tek parça halinde üretilebilmesi
- Farklı malzemelerin tek bir parçanın farklı bölümlerinin üretiminde kullanımına izin vermesi
- İçi boş hafif parçaların imal edilebilmesi
- Talaşlı imalat yöntemlerine göre daha az malzeme kullanımı
- Ürün geliştirme sürelerinin kısaltılabilmesi
- Konvansiyonel yöntemlere göre daha düşük üretim alanına ihtiyaç duyulması
- Talep anında üretimin yapılabilmesi
- Stok maliyetlerinin düşürülmesi

Yukarıda belirtilen avantajlarının yanında, aşağıda belirtilmiş olan dezavantajları da mevcuttur;

- Seri imalat yöntemlerine göre üretim maliyeti yüksektir
- Eklemeli imalat teknolojisine uygun malzemeler ile imalat yapılması gerekli olduğundan renk, malzeme ve yüzey işlem seçenekleri sınırlıdır
- Diğer imalat yöntemlerine göre toleransları düşüktür. Üretim sonrası parça için ek işlem gerekebilir (Örneğin, talaşlı imalat, parlatma ve boya vb.) [14, 15].

A. HAVUZ FOTOPOLİMERİZASYONU (HFP)

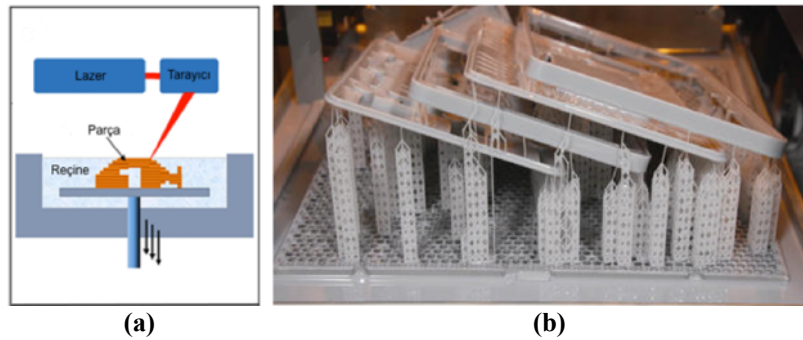
Havuz fotopolimerizasyonu (HFP), belirli bir dalga boyuna sahip ışık kaynağı ile polimerize olabilen sıvı reçinenin, lazer ya da UV ışık kaynağı kullanılarak, üç boyutlu datanın iki boyutlu kesitine göre

hareket ettirilmesi ile tabaka tabaka fiziksel parçanın imalatına dayanan bir teknolojidir. Havuz fotopolimerizasyonu ilk kez 1984 yılında Charles W. Hull tarafından keşfedilmiştir. Bu dönemde kendisi tarafından keşfedilen yöntem Stereolitography (SL) ismi verilmiştir. 3D Systems tarafından üretilen üç boyutlu yazıcılar Stereolitography Aparatüsü (SLA) ismi ile 1987 yılında ticarileşmişlerdir [16]. SL teknolojisinde parça imalatının yapılması için belirli üretim sürecinin takip edilmesi gerekmektedir. SL parça imalat süreci Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. SL parça imalat süreci.

Şekil 2’den de görüldüğü gibi SL teknolojisinde parça imalatı için öncelikle herhangi bir üç boyutlu tasarım programında hazırlanmış olan CAD data yazıcı imalat hazırlama programına STL data olarak aktarılır. STL data tüm eklemeli imalat teknolojilerinde kullanılan data formatıdır. STL data, üçgenler tarafından tanımlanan yüzeylerden oluştuğu için üç boyutlu datanın uygun şekilde bu formata çevrilmesi gerekmektedir. STL datalar makine programında üretilecekleri miktar kadar çoğaltılır ve platforma uygun oryantasyonda konumlandırılır. Dizim sonrası parçanın üretim sırasında desteklenmesi gereken bölgelerine destek (support) yapıları verilir. Destek verme işlemi sonrasında üretimde kullanılacak olan katman kalınlığına göre (0,25, 0,50, 0,10, 0,15 mm) parça ve destek yapısı aşağıdan yukarı doğru katmanlarına ayrılır. Katmanlara ayrılmış iki boyutlu geometri makine üretim programı tarafından X, Y ve Z makine koordinatlarına göre NC (Numerical Control) kodlarına çevrilir. Seçilen katman kalınlığına göre hareket eden platform üzerinde parça kesitine göre hareket eden lazer ışını sıvı reçineyi polimerize ederek katılaştırır. Sonrasında yeni bir katman için üretim platformu sıvı reçine içine batar ve yukarı doğru çıkarak üzerine katman kalınlığı kadar reçine alır. Reçine yayıcısı (Recoater) parça üzerindeki fazla reçineyi ve reçine yüzeyindeki hava kabarcıklarını vakumlama yolu ile parça yüzeyinde hareket ederek alır ve yeni serilen katmanın istenilen katman kalınlığında olmasını sağlar. Reçine yayma işlemi sonrasında yeni katmana göre lazer ışını geometrik olarak hareket ederek parça kesitini polimerize eder. Üretim işlemi, aynı şekilde tekrarlanarak tüm katmanların imalatı tamamlanana kadar devam eder. Üretim sonrası parça yüzeyinde kalan fazla reçine ve destek yapısı aseton veya alkol ile temizlenir. Temizleme sonrası üretilen parçalar mukavemetlerinin artırılması için UV lamba altında belirli bir süre kürlenir. Kürlenme sonrası elde edilen plastik parçalar, uygulamaya göre zımpara, parlatma, boya ve kaplama işlemlerine tabi tutulabilir [17]. Şekil 3’de SL sisteminin şematik gösterimi ve üretimi bitmiş parçalar gösterilmektedir [3].



Şekil 3. SL sistemi a) Yöntemin şematik görüntüsü [3] b) Bu yöntemle üretilmiş örnek parçalar [18].

SL sisteminde Şekil 3a’da görüldüğü gibi parça, fotopolimerik bir reçine ile dolu hazne içerisindeki platform üzerinde imal edilmektedir. Sistemin üst tarafına konumlandırılmış olan lazer ve lazer tarama sistemi ile lazer ışını, üretilecek parça katmanına göre yönlendirilir. Lazer tarafından polimerize olan sıvı tabakası katılarak alttaki katmana bağlanıp, CAD datanın, polimerik malzemeden imalatı sağlanır. İmalat bitiminde üretim platformu otomatik olarak hazne içerisinden çıkarak fazla reçinenin platform altındaki hazneye süzülmesi sağlanır (Şekil 3b) [3]. SL teknolojisinde çok farklı polimerik

malzemeler kullanılmaktadır. 3D Systems tarafından pazara sunulan Accura SL malzemeleri Tablo 1’de verilmiştir [19].

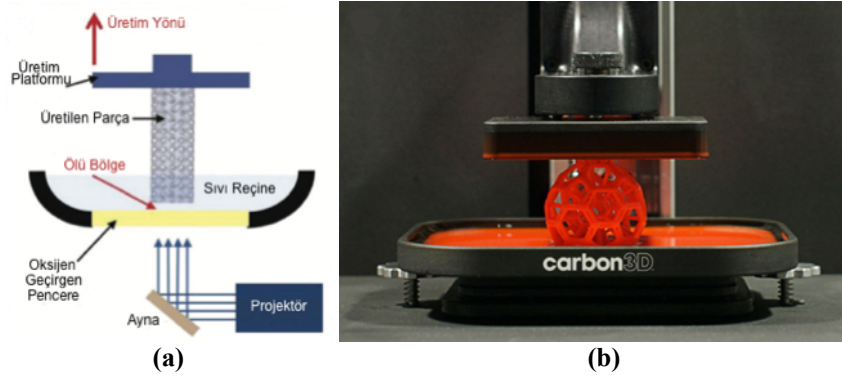
Tablo 1. SL teknolojisinde kullanılan malzemelerin özellikleri [19].

Malzeme Adı	Çekme Mukavemeti (MPa)	Elastisite Modülü (MPa)	Uzama (%)	Camsı Geçiş Sıcaklığı (°C)	Sertlik (Shore D)	Kullanım Alanı
SL C-Y 9300	45	1315	7	52	75	<ul style="list-style-type: none"> • Şeffaf • Sterilize edilebilir
SL 5530	57-63	2854-3310	2,7-4,4	82	88	<ul style="list-style-type: none"> • Yüksek mukavemet • Suya karşı dayanı • Elektrik uygulamaları • Sıcaklık dayanımı
PP White	40-42	2030-2230	7-13	56	86	<ul style="list-style-type: none"> • Esnek • Montaj uygulamaları • Silikon kalıplama • Fonksiyonel prototip
ClearVue	38-42	1940-2250	10-22	56	86	<ul style="list-style-type: none"> • Mukavemetli • Fonksiyonel prototip • Az adetli imalat
ABS White	46-48	2290-2400	8-14	63	86	<ul style="list-style-type: none"> • Mukavemetli • Fonksiyonel prototip • Az adetli imalat
ABS Black	45-47	1890-2440	6-13	62	86	<ul style="list-style-type: none"> • Mukavemetli • Fonksiyonel prototip • Az adetli imalatı
Accura Xtreme	41	1890	18	52	86	<ul style="list-style-type: none"> • Mukavemetli • Fonksiyonel prototip
Accura Sapphire	20-24	910-1110	9-16	51	72	<ul style="list-style-type: none"> • Hassas döküm
Accura Peak	57-78	4220-4790	1,3-2,5	85-90	86	<ul style="list-style-type: none"> • Isı dayanımı • Yüksek mukavemet • Nem dayanımı

Tablo 1’de ürün geliştirme, otomotiv, beyaz eşya, sağlık sektörlerinde kullanılacak fonksiyonel parçaların imalatı için geliştirilmiş sıvı fotopolimerik malzemelerin listesi verilmiştir. Accura ABS White/Black, Accura PP White genel amaçlı prototip üretimi için geliştirilmişken, Accura ClearVue ve Accura SL C-Y 9300 şeffaf prototipler için kullanılmaktadır. Accura SL 5530, Accura Xtreme ve Accura Peak yüksek mukavemet, ısı ve nem dayanımına ihtiyaç duyulan uygulamalarda kullanılmaktadır [19].

SL sisteminin ardından havuz fotopolimerizasyonu teknolojisinin geliştirilmesi üzerine yapılan çalışmalar sonucunda Digital Light Processing (DLP), Continuous Light Interphase Printing (CLIP) ve Daylight Photo Polymerization (DPP) teknolojileri geliştirilmiştir. DPP teknolojisinde fotopolimerizasyon için LCD ekran kullanılmaktadır. LCD ekranın kürlenecek alana göre ışık vermesi ile ışık gören bölge katı faza geçmekte bu sayede fiziksel parça imalatı yapılabilmektedir. LCD ekranın çözünürlük miktarına göre de üretim haznesinin büyüklüğü ve parça hassasiyeti değişmektedir. DPP teknolojisine sahip 3D printerlar ucuz ve çözünürlükleri yüksek olmakla birlikte LCD ekranların kullanım ömürleri düşük olduğundan diğer teknolojilere nazaran kısa sürede değiştirilmesi gereklidir [19]. DLP teknolojisinde ise fotopolimerizasyon için projektör kullanılmaktadır. DLP teknolojisinde kullanılan çip, 1977 yılında Dr. Larry Hornback tarafından keşfedilmiş ve 1996 yılında Texas Instruments tarafından ticari hale getirilmiştir. CLIP, DLP ve DPP teknolojileri birbirlerine benzer teknolojilerdir. CLIP teknolojisi mart 2015 de Carbon 3D şirketi tarafından geliştirilmiştir. CLIP

teknolojisinde DLP den farklı olarak hazne yüzeyi ile parça yüzeyi arasındaki yapışmayı engelleyen oksijen geçirgen pencere bulunmaktadır. Bu sayede parçaların SL teknolojisine göre 100 kat daha hızlı imal edilmesi mümkün olmaktadır. [20]. CLIP teknolojisinin şematik gösterimi Şekil 4’te verilmiştir.



Şekil 4. CLIP teknolojisi a) Şematik gösterimi b) Parça üretimi [21].

SL teknolojisinden farklı olarak DLP ve CLIP teknolojilerinde platform ters çalışmakta ve katmanlarına ayrılmış CAD datanın her bir katmanı iki boyutlu siyah beyaz resim olarak hazırlanmakta ve sırası ile makineye gönderilmektedir. Alt tarafında ışık geçirgen film olan sıvı reçine ile dolu haznenin hemen altında belirli bir dalga boyunda ışık sağlayan projektör bulunmaktadır. Katmana göre ışık gönderen projektör aynı anda tüm kesiti polimerize edebilmektedir. Polimerizasyon işlemi tamamlandıktan sonra platform yukarı ve aşağı doğru hareket ederek yeni bir katman için hazırlanır. Yeni katman tekrardan projeksiyon tarafından gönderilen ışık ile polimerize edilerek üretime devam edilir. Polimerizasyon süresi reçinenin aktivasyon enerjisine ve projektörün gücüne bağlı olarak değişmektedir. CLIP, DLP ve DPP sistemlerinde katman komple fotopolimerize edildiğinden lazer ile sıvı reçinenin taranması esasına dayanan SL sistemlere göre çok daha hızlı imalat yapılabilir. Fakat DLP projektörlerin ve LCD ekran çözünürlükleri çok küçük alanlarda yüksek olduğundan genellikle CLIP, DLP ve DPP üretim alanları SL sistemlere göre çok daha sınırlı kalmaktadır. Bu nedenle SL sistemlerinde büyük parçalar imal edilirken, CLIP, DLP ve DPP sistemlerde daha küçük ve daha detaylı parçalar imal edilebilmektedir. SL sistemlerde üretim yapabilmek için reçine haznesinin tamamen doldurulması gereklidir. Reçine viskozitesi zamanla arttığından makine haznesi içerisindeki reçinenin belirli bir süre sonra yenisi ile değiştirilmesi gerekmektedir. DLP, CLIP ve DPP sistemlerinde ise sadece üretim yapılacak parça hacmi kadar reçine sisteme yüklendiğinden işletme maliyetleri SL sistemlerine göre daha düşüktür [3, 22].

CLIP teknolojisi için, ürün geliştirme, otomotiv, sağlık, dişçilik, kuyumculuk ve modelleme alanlarında kullanılmak üzere çok farklı özelliklere sahip olan fotopolimerik malzemeler geliştirilmiştir. Bu teknolojiye parça imalatında kullanılan malzeme özellikleri Tablo 2’de verilmiştir [23].

Tablo 2. CLIP teknolojisinde kullanılan malzemelerin özellikleri [23].

Malzeme Adı	Çekme Mukavemeti (MPa)	Elastisite Modülü (MPa)	Uzama (%)	Camsı Geçiş Sıcaklığı (°C)	Sertlik (Shore A/D)	Kullanım Alanı
Loctite 3D IND405 Clear	42	1500	120	53	75 D	<ul style="list-style-type: none"> Yüksek uzama ve tokluk Üretime yardımcı ekipman Polypropylen özellikli
EPX 82	80	2800	5	130	88 D	<ul style="list-style-type: none"> Yüksek mukavemet Otomotiv ve endüstriyel uygulamalar
RPU 70	40	1700	100	60	80 D	<ul style="list-style-type: none"> Yüksek mukavemet ve tokluk Isı dayanımı

Tablo 2. (devam) CLIP teknolojisinde kullanılan malzemelerin özellikleri [23].

RPU 130	35	900	100	120	77 D	<ul style="list-style-type: none">• Polyurethane özellikli• Mukavemet ve darbe dayanımı• Sıcaklık dayanımı
MPU100	35	1200	25	50	81 D	<ul style="list-style-type: none">• Mukavemet• Biyo uyumluluk• Sterilize edilebilir
CE 221	85	3900	3	230	92 D	<ul style="list-style-type: none">• Yüksek mukavemet ve tokluk• Yüksek sıcaklık dayanımı
Fotodent Cast	100	2000	7,5	-	-	<ul style="list-style-type: none">• Hassas döküm için master model üretimi
Fotodent IBT	-	-	-	-	80 A	<ul style="list-style-type: none">• Yumuşak ve esnek• Diş ortodonti kalıpları
Surgical Guide	90	1700	10	-	-	<ul style="list-style-type: none">• Ameliyata yardımcı ekipmanların imalatı• Şeffaf ve biyo uyumlu

Tablo 2’de verilmiş olan CLIP teknolojisinde kullanılan malzemeler incelendiğinde EPX 82 ve CE 221 mukavemet ve sıcaklık gereksinimi olan uygulamalarda, MPU 100, FOTODENT IBT ve SURGICAL GUIDE biyo uyumlu ve sterilize edilebilen uygulamalarda kullanılan malzemelerdir. FOTODENT CAST ise diş köprülerinin hassas dökümünde kullanılan master modellerin üretimine uygun bir malzemedir [23].

1991 yılında SL teknolojisi için Charles W. Hull ve arkadaşları tarafından US5137662A nolu patent alınmıştır. Bu teknolojinin ticari olarak kullanım hakkı 3D Systems’e aittir [24]. Zamanla SL teknoloji patenti geçerliliğini yitirmiş ve açık kaynak kodlu ucuz SL, DLP ve DPP yazıcılar piyasaya sürülmüştür. Bu sayede ucuz HFP teknolojisine sahip olan yazıcılar evlere kadar girmiştir [22]. Günümüzde Formlabs, Anycubic Photon, Wanhao Duplicator, Micromake L2, Flash Forge Hunter DLP, Kudo 3D Titan 2 HR, Sprint Ray, Moon Ray S, B9 Core 530, Asiga Max ve Zortrax Inkspire marka ucuz DPP teknolojisine sahip yazıcılar ve malzemeleri günümüzde satışa sunulmuştur. Bu cihazlar ile üretilen parçaların kaliteleri, düşük fiyatlarına göre makul seviyelerdedir [25]. DPP teknolojisinde kullanılan malzemeler aşağıdaki tabloda verilmiştir.

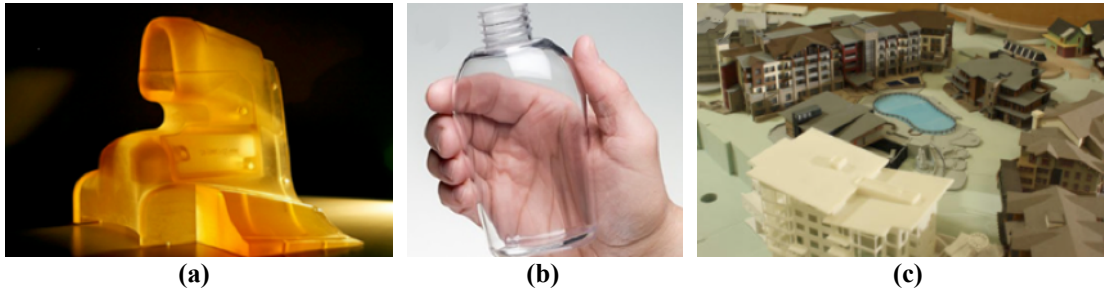
Tablo 3. DPP teknolojisinde kullanılan malzemelerin özellikleri [26].

Malzeme Adı	Çekme Mukavemeti (MPa)	Elastisite Modülü (MPa)	Uzama (%)	Sertlik (Shore A/D)	Kullanım Alanı
Trough Clear	65,3	771,3	10,4	90 D	<ul style="list-style-type: none">• Şeffaf parça üretimi• Üretime yardımcı ekipman• Kavramsal prototipleme
Resin Dough	52,5	674,8	16,8	82 D	<ul style="list-style-type: none">• Fonksiyonel parçalar• Üretime yardımcı ekipman
Crown & Bridge Resin	140	-	3,5	90 D	<ul style="list-style-type: none">• Geçici diş ve köprü imalatı
Dental Model Resin	30,3	993	4,6	80 D	<ul style="list-style-type: none">• Diş model imalatı
Blue Cast Resin	-	-	-	80 D	<ul style="list-style-type: none">• Dökülebilir parça imalatı• Kuyumculuk ve döküm için model imalatı

Tablo 3 incelendiğinde DPP teknolojisinin kullanılması ile şeffaf, mukavemetli ve son kullanıma uygun parçalar imal edilebilmektedir. Özellikle dişçilikte diş modellerinin ve geçici köprülerin yapımında bu teknoloji tercih edilmektedir. Dökülebilir reçinelerin kullanımı ile DPP teknolojisi ile kuyumculuk ve dişçilik sektörü için parçalar üretilmekte ve sonrasında hassas döküm ile metal parçalar elde edilebilmektedir. Bu sayede uzun zaman alan kalıp üretimi ortadan kaldırılabilir. SL, DLP, CLIP ve DPP tekniklerinin hepsi havuz fotopolimerizasyonuna dayalı eklemeli imalat teknolojileri olmalarına rağmen birçok avantaj ve dezavantajlara sahiptir. SL teknolojisinde kütleme lazer ışığı ile yapıldığından üretim hızı lazer tarama hızına bağlıdır. Bu nedenle diğer HFP yöntemlerine göre daha yavaş imalat yapmaktadır. Bunun yanı sıra diğer imalat yöntemlerine göre daha büyük parçaların imalatına izin vermektedir. CLIP, DLP ve DPP teknolojilerinde kütleme direkt kesite belirli dalga boyunda ışık gönderimi ile yapıldığından SL teknolojisine göre çok daha hızlı imalat yapılabilir. DLP ve CLIP teknolojilerinde pahalı projektörler kullanıldığından cihazların ilk yatırım maliyetleri yüksektir. Pahalı olmalarına rağmen, SL teknolojisine göre daha yüksek çözünürlükte ve hassasiyette parçalar imal edilebilmektedir. DLP ve CLIP teknolojisine göre daha ucuz LCD teknolojisi kullanan DPP teknolojisi ise, CLIP ve DLP ye göre çok daha ucuz fakat çözünürlükleri ve hassasiyetleri daha düşük parça imalatına izin vermektedir. DLP, CLIP ve DPP teknolojilerinin SL teknolojisine göre diğer bir avantajı; üretimin aşağıdan yukarı yapılması nedeniyle sadece üretim hacmi kadar reçine ihtiyaç duymalarıdır. SL teknolojisinde ise üretim için çok daha yüksek miktarlarda reçineye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle CLIP, DLP ve DPP teknolojilerinin üretim maliyetleri SL teknolojisine göre daha düşüktür [19].

A. 1. Havuz Fotopolimerizasyonu (HFP) Teknolojisinin Kullanım Alanları

SL, DLP ve CLIP teknolojilerinin genel ismi olan havuz fotopolimerizasyonu (HFP), hızlı prototipleme ve ürün geliştirme alanları dışında son yıllarda az adetli plastik parçaların imalatında da kullanılmaya başlamıştır. Özellikle otomotiv, havacılık, endüstriyel tasarım, beyaz eşya gibi uygulamalarda ürün geliştirme sürelerinin kısaltılması ve kullanıcı geri bildirimlerinin alınabilmesi amacıyla prototip ürün imalatlarında tercih edilmektedir. Şekil 5'de HFP teknolojisi ile ürün geliştirme amaçlı kullanılan prototip örnekleri verilmektedir.

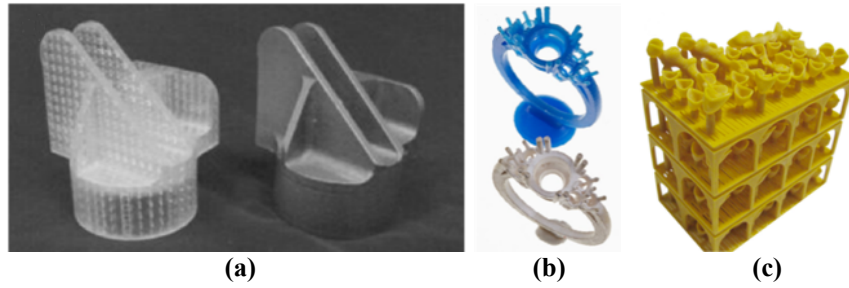


Şekil 5. HFP teknolojisi ile üretilmiş prototipler a) Formula 1 prototipi [27] b) Şişe prototipi [28] c) Mimari prototipler [29]

Şekil 5a' da Formula 1 yarışları için geliştirilen yarış arabası parçasının rüzgar tüneli testi için üretilmiş prototipi verilmiştir. Bu yöntemle, rüzgar tüneli testlerine göre sürtünme katsayısı hesaplanarak en düşük rüzgar direncine sahip olan tasarımın belirlenmesi kısa sürelerde yapılabilir. Bu sayede ürün geliştirme süreleri kısaltılabilmekte ve ürün geliştirme maliyetleri minimum seviyeye indirilebilmektedir [27]. Şekil 5b'de şeffaf malzemeden üretilmiş şişe prototipi verilmiştir. Tasarımcı tarafından geliştirilmiş olan tasarımın şeffaf prototipi ergonomik ve müşteri öngörüsü üzerinden onay almak için kullanılmaktadır. Tasarım onayı alındıktan sonra cam şişe kalıbının imalatı yapılmaktadır. Bu sayede hem ürün geliştirme süreci kısaltılmakta, doğru tasarıma karar verilmekte ve sonrasında metal kalıp imalatına geçilerek gereksiz kalıp maliyetleri önlenmektedir [28]. Şekil 5c'de renklendirilmiş mimari prototipler verilmiştir. Bu yöntemle küçük ölçeklerdeki mimari prototipler üzerinden proje onayı ve müşteri öngörülere alınabilmektedir [29].

Emisyon ve yakıt kullanımının düşürülmesinin önemli olduğu havacılık ve otomotiv sektörlerinde, Quick Cast (Hızlı Döküm) ismi ile ticarileşmiş olan üretim yöntemi ile parçalar imal edildikten sonra

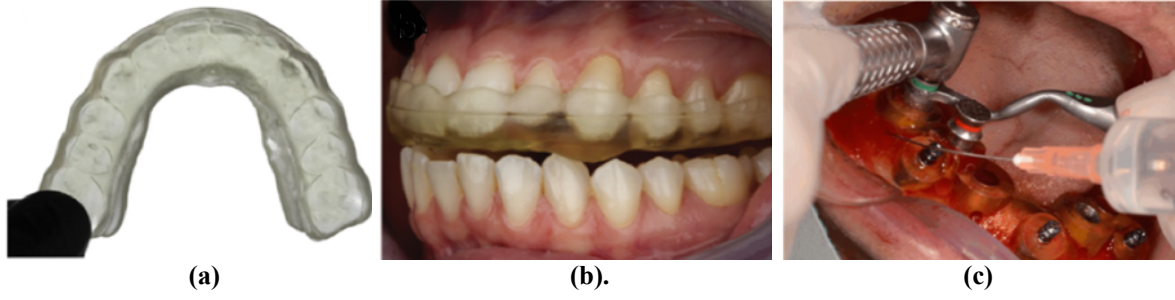
hassas döküm ile metal olarak üretilebilmektedir. Quick Cast, üretim süresinde %30-70 kısalma ve %35'e varan maliyet kazancı sağlanmaktadır. Şekil 6a' da havacılık sektöründe kullanılan bir parçanın Quick Cast ile üretilmiş hali verilmiştir [30]. Quick Cast yöntemine benzer olarak kuyumculuk sektöründe üç boyutlu tasarımlar HFP teknolojisi ile dökülebilir malzemeden üretildikten sonra alçı kalıba alınarak istenilen değerli metalden dökülebilmektedir. Bu sayede gümüş master model, kauçuk kalıplama ve mum basma süreci ortadan kaldırılarak üretim maliyetleri düşürülmektedir. Şekil 6b'de döküm ile üretilmiş kuyumculuk parçaları verilmektedir [22]. Kuyumculuk sektöründe olduğu gibi, 20' nci yüzyılın başlarında Dr. William H. Taggart ilk kez hassas döküm tekniğini diş köprüleri ve kaplamalarının üretiminde kullanmıştır. O dönemlerde hastadan alınan kalıpların mum modellere dönüştürülmesi uzun zaman almaktaydı. Günümüzde ise ağız içi üç boyutlu tarama cihazları ve MR datalarından elde edilen nokta bulutlarının 3D dataya çevrilmesi ile, kişiye özel metal diş protezleri ve köprülerin dökümü için master modellerin dökülebilir özelliğe sahip reçineden HFP teknolojisi ile imal edilmesi ve hassas dökümü daha kısa sürelerde yapılabilmektedir [31]. Şekil 6c'de Envisiontec marka SL cihazı ile dökülebilir malzemeden üretilmiş diş kaplamaları verilmiştir. Tek bir üretimde birçok diş kaplama modeli üretilebilmektedir [32].



Şekil 6. HFP teknolojisi ile üretilmiş parçalar **a)** SL yöntemi ile üretilmiş Quick Cast parça ve dökülmüş hali [30] **b)** DLP yöntemi ile üretilmiş parça ve gümüş döküm hali [33] **c)** SL yöntemi ile üretilmiş diş köprü ve kaplamaları [32].

Şekil 6a'da Quick Cast yöntemi ile üretilmiş dökülebilir parçanın hassas dökümle paslanmaz çelikten dökülmüş hali verilmiştir. Bu sayede hassas döküm için gerekli mum modelin imalatında kullanılan metal kalıba gerek olmadan az adetli parçaların hassas döküm ile imalatı mümkün olmaktadır [30]. Şekil 6b'de DLP yöntemi ile dökülebilir fotopolimerik malzemeden üretilmiş yüzük modeli ve hassas döküm yöntemi ile gümüşten dökülmüş hali verilmiştir [33]. Şekil 6c'de Envisiontec 3D yazıcı ile dökülebilir fotopolimerik malzeme kullanılarak üretilmiş diş kaplama ve köprü modelleri verilmiştir. Kişiye özel üretilmiş modeller daha sonra hassas döküm yöntemi ile metal olarak üretilmektedir. Bu yöntemle çok sayıda diş provaları ortadan kalkmış ve daha hassas diş protezlerinin daha kısa sürelerde imalatı mümkün olmuştur [32].

Ortodonti tedavilerinde doğru diş dizilimi ve baskı problemlerini gidermek de kullanılan şeffaf kalıplar HFP teknolojisi ile kişiye özel olarak imal edilerek kullanılmaktadır. Yine diş tedavisinde implantın oturacağı yerin doğru delinmesi için gerekli olan aparatlar HFP teknolojisi ile kişiye özel olarak imal edilebilmektedir. Ağız içi tarama cihazı ile alınan üç boyutlu model ile tedavi yapılacak dişin yerine konulacak implantın yeri, şekli ve konumu belirlenmektedir. İmplantın yerleştirileceği yerin doğru belirlenebilmesi için tasarlanan delme aparatı HFP teknolojisi ile hassas bir şekilde üretilmekte ve hastanın ameliyatında başarılı bir şekilde kullanılmaktadır [34]. Şekil 7a ve b'de diş baskı problemini düzeltmek amacı ile DLP teknolojisi ile NextDent Ortho Clear malzeme kullanılarak KUDO marka SLA cihazı ile kişiye özel üretilmiş olan şeffaf ortodonti tedavi kalıbı verilmektedir [35]. Şekil 7c' de ise kişiye özel üretilmiş implant delme aparatı ve uygulama yöntemi gösterilmektedir [36].

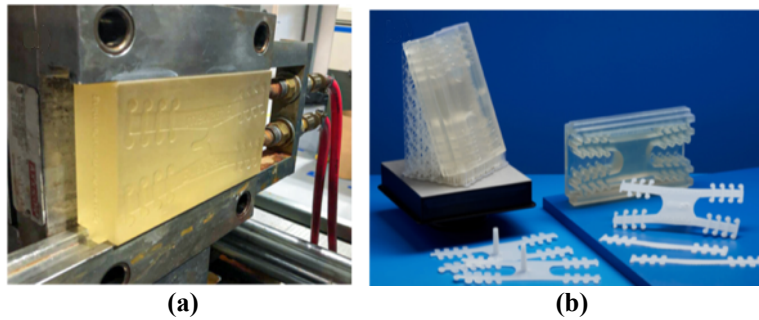


Şekil 7. HFP teknolojisi ile üretilmiş parçalar **a)** DLP ortodonti kalıbı **b)** DLP kalıbın kullanımı [35] **c)** SL teknolojisi ile üretilmiş implant delme aparatı ve uygulaması [36].

Şekil 7a' da hastanın ağız içi 3D tarama datasından alınmış olan nokta bulutuna göre yapılan tasarımın şeffaf biyo uyumlu reçine kullanılarak DLP teknolojisi ile üretilmiş hali verilmiştir. Şekil 7b'de hastanın diş yapısına göre üretilmiş ortodonti kalıbının uygulaması gösterilmektedir. Bu yöntem ile hastanın ortodonti tedavi planlaması bilgisayar üzerinden daha doğru bir şekilde yapılmakta ve tedaviye göre DLP teknolojisi ile imal edilen kalıplar ortodonti tedavisinde dişler üzerine uygulanan tel gerdirme yöntemi yerine kullanılabilir. Bu sayede hastanın diş estetiği bozulmamakta ve hasta asitli içecekleri de rahatlıkla tüketebilmektedir [35]. Şekil 7c'de üç boyutlu diş taramasına göre yapılmış ameliyat planlaması sonrası biyo uyumlu malzemeden HFP teknolojisi ile üretilen delme aparatları ile doğru bir şekilde diş implant vidasının takılacağı yer delinebilmektedir. Delme sonrası alt bağlantı parçası çeneye vidalandıktan sonra bu parçaya da diş implantı bağlanarak tedavi tamamlanmaktadır. Bu yöntem ile hasta daha güzel görümlü dişlere sahip olabilmektedir [36].

Sağlık sektörü ameliyat planlanmasında, HFP yöntemi ile üretilen organ prototipleri kullanılabilir. Hastanın CT-Scan (Computer Tomography) ya da MRI (Magnetic Resonance Imaging) datasından üretilen organ prototipleri üzerinden yapılan ameliyat planlamaları, başarı olasılığını arttırmakta ve hastanın daha kısa sürede sağlığına kavuşmasını sağlamaktadır [37].

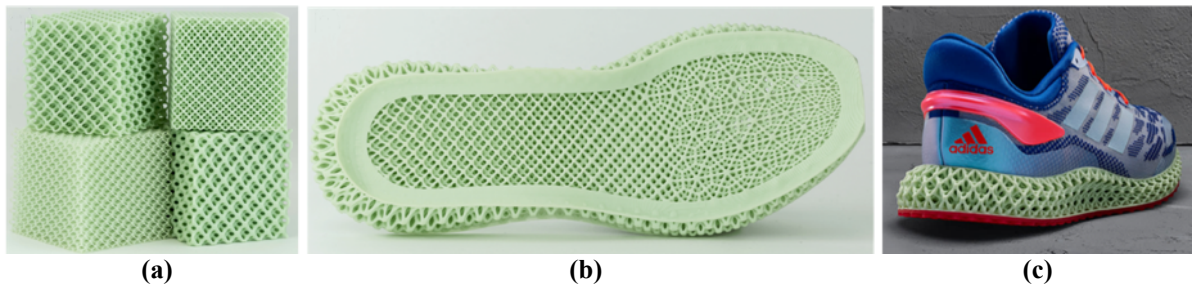
Sağlık sektöründe birçok kullanım alanı bulan HFP teknolojileri, endüstride üretime yardımcı ekipmanların imalatında da kullanılmaktadır. Bu uygulamaya en güzel örnek; az adetli plastik parçaların üretimi için enjeksiyon kalıp insertlerinin yüksek ısıya dayanıklı malzemeler kullanılarak HFP teknolojileri ile imal edilmesidir. Enjeksiyon kalıplama metal kalıplar ile yüksek adetli plastik parçaların düşük maliyetler ile imalatında kullanılan bir imalat yöntemidir. Enjeksiyon kalıplarının üretimi, pahalı tasarım programları, tecrübeli personel, talaşlı imalat, erezyon (dalma ve tel) ve parlatma teknolojilerinin kullanımını gerektirmektedir. Kalıbın kompleksliğine bağlı olarak ortalama üretim süresi 4 veya 8 hafta sürmekte ve ortalama maliyetleri ise 2.000-100.000 \$ arasında değişmektedir. Metal kalıplar ile bin adetten bir milyon adede kadar plastik parça basılabilmektedir. Uzun ve pahalı bir süreç olan enjeksiyon kalıp insertlerinin metal yerine HFP teknolojileri ile ısı ve basınca dayanıklı plastik malzemeden üretilerek çok daha kısa sürelerde ve düşük maliyetlerde az adetli imalatlar için kullanımları mümkündür. Şekil 8'de SL teknolojisi ile üretilmiş kalıp inserti ve PP (Polypropylen) malzemeden basılmış maske tutucu parçalar verilmiştir [38].



Şekil 8. SL teknolojisi ile üretilmiş **a)** Enjeksiyon kalıp inserti **b)** PP enjeksiyon baskı [38].

Şekil 8’de enjeksiyon kalıplama konusunda tecrübeli bir firma olan Braskem’in Form 3 model 3D yazıcı ile 230°C’ ye dayanıklı High Temp V2 malzeme kullanarak ürettiği maske tutucu enjeksiyon kalıp inserti ve baskı parçaları görülmektedir. Enjeksiyon baskı esnasında 5 ton kalıp basıncı, 30 s baskı süresi ile PP malzemeden 6000 adet maske tutucu parça üretilebilmiştir. Braskem 10.000-15.000 \$ harcayarak metal malzemeden 30 günde üretebileceği enjeksiyon kalıp insertini, yüksek ısıya dayanıklı plastik malzemeden SL teknolojisi ile 200\$’a bir günde üreterek maliyet ve zamandan tasarruf etmiştir [38].

HFP teknolojilerinden biri olan CLIP teknolojisinin kullanımı ile endüstriyel yastıklamanın gerekli olduğu uygulamalar için özel kafes yapıları yüksek hassasiyetle imal edilebilmektedir. Bu sayede sünger tarzı malzemelerden daha iyi destekleme sağlayan tasarımlar üretilebilmektedir. Bu uygulamaya en güzel örnek Adidas’ın koşucular için özel geliştirmiş olduğu ayakkabı tabanlarını CLIP teknolojisi ile üretmesidir. Şekil 9’ da CLIP teknolojisi ile üretilmiş kafes yapıları ve koşu ayakkabı tabanı verilmiştir [39].



Şekil 9. CLIP teknolojisi ile üretilmiş parçalar a) Kafes yapıları b) Spor ayakkabı tabanı c) Adidas spor ayakkabı [11, 39].

Şekil 9’deki ayakkabı tabanı için Adidas tasarımcıları koşu sırasında koşucunun ayak parmakları ve topuk kısmına gelen yüklerin farklı olması nedeniyle farklı kafes tasarımları kullanmışlardır (Şekil 9b). Bu sayede koşucunun ayak yapısına özel ve koşu sırasında daha iyi performans alabileceği bir spor ayakkabı üretilmiştir. Teknolojinin adapte edilmesi ile CLIP teknolojisi ile üretilmiş daha konforlu ayakkabı tabanlarına sahip spor ayakkabılar da internet sitesi üzerinden 160-200\$ fiyat aralığında perakende olarak satışa sunulmuştur [11].

III. SONUC

Eklemeli imalat teknolojilerinden biri olan HFP teknolojilerinin, konvansiyonel imalat teknolojileri ile üretilmeyen karmaşık şekilli parçaların imal edilebilmesi, gerektiği kadar malzeme kullanımı, stok maliyetlerinin olmaması ve montajlı parçaların tek parça olarak imal edilebilmesi gibi avantajları nedeniyle kullanımları hızla yaygınlaşmaktadır. HFP teknolojilerinden biri olan SL teknolojisi, 1980’li yıllarda ilk keşfi ve ticarileşmesinin ardından prototipleme amaçlı kullanılmış ve ürün geliştirme sürelerinin kısaltılmasında faydalı olmuştur. Ardından DLP ve CLIP teknolojileri ve kullanılan malzemelerin geliştirilmesi ile prototipleme ve ürün geliştirme amacı dışında birçok sektörde az adetli uygulamaya özel parçaların imalatında da kullanılmaya başlamıştır. Endüstriyel tasarım prototipleri, mimari maketler ve kavramsal prototipler bu teknolojiler ile tasarımdan direkt olarak imal edilmekte ve müşteri öngörüsüne göre ürün geliştirme süreleri kısaltılmaktadır. HFP teknolojisi ile üretilen test prototipleri havacılık ve otomotiv endüstrisinde rüzgar tünellerine sokularak tasarımın sürtünme katsayıları hesaplanabilmektedir. Bu sayede ürün tasarımına prototip aşamasında karar verilebilmektedir. Özellikle dişçilik sektöründe, HFP teknolojileri, kişiye özel diş implantlarının uygulanması için gerekli olan delme aparatlarının imalatı, ortodonti tedavisi için planlanan diş kalıplarının imalatı ve diş kaplamalarının metal dökümü için modellerin imalatı gibi uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sayede uzun süre alan prova işlemleri tek seferde bitirilmekte ve ürün maliyetleri düşürülebilmektedir. Kuyumculukta tasarımı yapılan modelin direk tasarımdan

dökülebilir reçine ile üretilip hassas döküm ile istenilen ayardaki altın alaşımlarından kalıp gerektirmeden imalatı diğer bir uygulama örneğidir. Yine Quick Cast yöntemi ile havacılık, makine ve otomotiv sektörlerinde tasarlanan metal parçanın mum kalıba gereksinin duymadan HFP teknolojileri ile üretimi, sonrasında hassas döküm ile imalatı teknoloji gelişim seviyesinin diğer bir göstergesidir. HFP teknolojileri üretime yardımcı ekipmanların imalatında da kullanılmaktadır. Buna en güzel örnek az adetli plastik parçaların enjeksiyon kalıp ile üretimlerinde ısıya dayanıklı malzeme kullanarak kalıp insertlerinin kısa sürede ve düşük maliyet ile üretilmeleridir. Parça kompleksliğine ve kullanılan enjeksiyon malzemesine bağlı olarak binlerce adet plastik enjeksiyon parça bu yöntem ile hızlı bir şekilde üretilmektedir. HFP teknolojilerinin gelmiş olduğu son nokta Adidas'ın Carbon3D firması ile ortaklaşa geliştirdiği kompleks, koşuya özel ayakkabı tabanlarının imalatıdır. Bu ayakkabı tabanları CLIP teknolojisi ile tasarımdan direkt olarak imal edilmektedir.

SL ticari patentinin düşmesi ile daha düşük maliyetli ve herkesin ulaşabileceği fiyatlardaki masa üstü SL ve DPP cihazlarının üretilmesi teknolojinin yaygınlaşması için bir fırsat yaratmıştır. Bu sayede FDM teknolojisini kullanan masa üstü yazıcıların aksine daha hassas ve yüzey pürüzlülüğü düşük parçaların ev ve ofis ortamında düşük maliyetler ile imal edilmesi mümkün olmuştur. Bu sayede teknolojinin bilinirliği de artmaktadır.

SL, DLP, CLIP ve DPP teknolojilerinin her biri HFP teknolojileri olarak sınıflandırılmalarına rağmen hız, parça hassasiyeti ve üretim maliyetleri açısından farklılıklar göstermektedir. Bu teknolojilerden en yavaş SL teknolojisi iken daha büyük parçaların imalatına izin vermektedir. Hassasiyet ve çözünürlük açısından DLP ve CLIP teknolojileri daha iyi sonuçlar verirken daha pahalıdır. Bu teknolojilere göre daha ucuz bir teknoloji olan DPP teknolojisi, daha düşük hassasiyete sahip parçaların imalatına izin vermektedir.

Hızlı prototiplemeden az adetli son kullanım için parça imalatına doğru bir teknolojik gelişim gösteren HFP teknolojileri, kullanılan malzeme özelliklerinin geliştirilmesi ve maliyetlerin düşmesi ile endüstriyel olarak yakın gelecekte daha da yaygınlaşacaktır. Bu sayede konvansiyonel imalat teknolojileri ile üretilmeyen ve hayatımızı kolaylaştırmak için tasarlanmış karmaşık akıllı ürünlerin sayısı artacak ve maliyetleri düşecektir. Otomasyona uygun olan HFP teknolojilerinin gelecekte akıllı fabrikaların temel imalat yöntemlerinden biri olarak karşımıza çıkma olasılığı oldukça yüksektir. Bu sayede yakın gelecekte, ara stokların olmadığı, üretim yerinden bağımsız, talep anında imalatın yapıldığı daha düşük maliyetli ve hayatımızı kolaylaştıran akıllı ürünlerin olduğu bir endüstri ile karşı karşıya kalacağız.

IV. KAYNAKLAR

- [1] M. B. Kumar ve P. Sathiya, "Methods and materials for additive manufacturing: A critical review on advancements and challenges," *Thin-Walled Structures*, ss. 107-228, 2020.
- [2] G. Özer, "Eklemeli üretim teknolojileri üzerine bir derleme", *Niğde Kemal Hasdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 9, s. 1, ss. 606-621, 2020,
- [3] G. A. Appuhamillage, N. Chartrain, V. Meenakshisundaram, K. D. Feller, C. B. Williams ve T. E. Long, "110th Anniversary: Vat Photopolymerization-Based Additive Manufacturing: Current Trends and Future Directions in Materials Design," *Industrial & Engineering Chemistry Research*, c. 58, s. 33, ss. 15109-15118, 2019.
- [4] L. J. Tan, W. Zhu ve K. Zhou, "Recent progress on polymer materials for additive manufacturing," *Advanced Functional Materials*, c. 30, s. 43, ss. 2003062, 2020.
- [5] C. İ. Çalışkan ve Ü. Arpacıoğlu, "Yapı Üretiminde Eklemeli İmalat Teknolojilerinin Karşılaştırmalı Değerlendirmesi", c. 25, s. 2, ss. 1117-1136, 2020.

- [6] G. C. Dumitrescu and I. A. Tanase, “3D printing-a new industrial revolution,” *Knowledge Horizons-Economics*, c.8, s.1, ss. 32-39, 2016.
- [7] K. Çelik ve A. Özkan, “Eklemeli İmalat Yöntemleri İle Üretim Ve Onarım Uygulamaları”, c. 5, s. 1, ss. 107-121, 2017.
- [8] T. Wohlers, ve T. Gornet, Wohlers Report, Wohler Associates Inc., USA, 2016.
- [9] H. K. Sürmen, “Eklemeli İmalat (3b Baskı): Teknolojiler Ve Uygulamalar”, c. 24 s. 2, ss. 373-392.
- [10] W. Piedra-Cascon, V. R. Krishnamurthy, W. Att ve M. Revilla-Leon, “3D Printing parameters, supporting structures, slicing, and post-processing procedures of vat-polymerization additive manufacturing Technologies: A narrative review”, c. 109, ss. 103630, 2021.
- [11] Adidas 4D Shoes, [Çevrimiçi]. Erişim Adresi: <https://www.adidas.com/us/4d-shoes>, Erişim Tarihi: 2 Mart, 2021.
- [12] *Additive Manufacturing, in General Principles-Terminology*, ASTM 52900:2017, 2017.
- [13] S. A. Tofail, E. P. Koumoulos, A. Bandyopadhyay, S. Bose, L. O’Donoghue ve C. Charitidis, “Additive manufacturing: scientific and technological challenges, market uptake and opportunities,” *Materials Today*, c. 21, s. 1, ss. 22-37, 2018.
- [14] U. G. Başcı, R. Yamanoglu, “Eklemeli Metal İmalat Teknolojileri Ve Uygulama Alanları,” *IMASCON*, Kocaeli, Türkiye, 2020, ss. 307-314.
- [15] B. Berman, “3-D printing: The new industrial revolution,” *Business Horizons*, c. 55, s. 2, ss. 155-162, 2012.
- [16] M. Attaran, “The rise of 3-D printing: The advantages of additive manufacturing over traditional manufacturing,” *Business Horizons*, c. 60, s. 5, ss. 677-688, 2017.
- [17] P. Wu, J. Wang and X. Wang, “A critical review of the use of 3-D printing in the construction industry,” *Automation in Construction*, c. 68, ss. 21-31, 2016.
- [18] Vault Supercharges Pre-Production with 3D Systems’s SLA, [Çevrimiçi]. Erişim Adresi: <https://www.3dsystems.com/customer-stories/vault-supercharges-pre-production-3d-systems-sla>, Erişim Tarihi: 13 Ocak, 2021.
- [19] 3D Systems SL Materials, [Çevrimiçi]. Erişim Adresi: [https://www.3dsystems.com/search?search_api_fulltext=SL%20materials&dFR\[technologies\]\[0\]=Stercolithography%20%28SLA%29](https://www.3dsystems.com/search?search_api_fulltext=SL%20materials&dFR[technologies][0]=Stercolithography%20%28SLA%29), Erişim Tarihi: 13 Ocak, 2021.
- [20] H. Quan, T. Zhang, H. Xu, S. Luo, J. Nie ve X. Zhu, “Photo-curing 3D printing technique and its challenges,” *Bioactive Materials*, c. 5, s. 1 ss. 110-115, 2020.
- [21] D. Holley, “Carbon3D Gains Google’s \$100M Backing for 3-D Printing Tech,” [Çevrimiçi]. Erişim Adresi: <https://xconomy.com/san-francisco/2015/08/20/carbon-3d-gains-googles-100m-backing-for-3-d-printing-tech/>, Erişim Tarihi: 13 Ocak 2021.
- [22] F. Cooper, “Do the new, low-cost photopolymer 3D printers now becoming available have a place in the jewelry manufacturing environment,” *Santa Fe Symposium*, New Mexico, ss. 1-20, 2016.

- [23] 3D Printing Materials for Real-World Applications, [Çevrimiçi]. Erişim Adresi: <https://www.carbon3d.com/materials/>, Erişim Tarihi: 11 Ocak 2021.
- [24] C. W. Hull, S. Clarita, B. Modrek, B. Parker, R. S. Freed, T. Almquist, S. Gabriel, S. T. Spence, S. Pasadena, D.J. Albert, D. R. Smalley, B. Park, R. A. Harlow, M. D. Rey, P. Stinebaugh, H. L. Tarnoff, V. Nuys, H. D. Nguyen, C. W. Lewis, L. Rock, T. J. Vorgitch, S. Valley, D. Z. Remba ve W. B. Vinson, "Method and apparatus for production of three-dimensional objects by stereolithography," 3D Systems, Patent Number US5137662A, United States, August, 11, 1992.
- [25] 2021 Best DLP 3D Printer – The Ultimate Buyer’s Guide, [Çevrimiçi]. Erişim Adresi: <https://pick3dprinter.com/dlp-3d-printer/>, Erişim Tarihi: 13 Ocak 2021.
- [26] Zortrax Resin Products , [Çevrimiçi]. Erişim Adresi : <https://zortrax.com/resins/>, Erişim Tarihi: 25 Ekim 2021
- [27] Lotus F1 Team and 3D Systems move together towards 3D printed race-ready mass production of parts, [Çevrimiçi]. Erişim Adresi: <https://www.3dsystems.com/learning-center/case-studies/lotus-f1-team-and-3d-systems-move-together-towards-race-ready-mass>, Erişim Tarihi: 26 Ocak 2021.
- [28] SLA Prototype produced by Somos WaterClear Ultra 10122, [Çevrimiçi]. Erişim Adresi: <https://www.spring-italia.com/product/somos-waterclear-ultra-10122/?lang=en>, Erişim Tarihi: 28 Ocak 2021.
- [29] LGM Delivers Large Scale Appearance Model in Record Time with 3D Systems On Demand, [Çevrimiçi]. Erişim Adresi: <https://www.3dsystems.com/customer-stories/lgm-delivers-large-scale-appearance-model-record-time-demand-manufacturing>, Erişim Tarihi: 26 Ocak 2021.
- [30] S. Negi, S. Dhiman ve R. K. Sharma, "Basics, applications and future of additive manufacturing technologies: A review," *Journal of Manufacturing Technology Research*, c. 5, s. 1/2, ss. 75-96, 2013.
- [31] M. Bilgin, S. Baytaroğlu, E. N. Erdem ve A. E. Dilber, "A review of computer-aided design/computer-aided manufacture techniques for removable denture fabrication," *European Journal of Dentistry*, c. 10, s. 2, ss. 286, 2016.
- [32] R. V. Noort, "The future of dental devices is digital," *Dental Materials*, c. 28, s. 1, ss. 3-12, 2012.
- [33] Jewelry 3D Printing: Basic Design Parameters, Supports, and Orientation, [Çevrimiçi]. Erişim Adresi: https://3d.formlabs.com/rs/060-UIG-504/images/Jewelry-3D-Printing-Basic-Design-Parameters-Supports-Orientation.pdf?mkt_tok=eyJpIjoiTldSbU9HSmhNRFE1WldWaSIsInQiOiJSVnh2NURxYnBlc3lqTFJWb21yWjlydHZOSVpYN2NkSTBkR014ZlZKUjNLNGt1ejgyYnV1U0FJSHdETW1BVVRiM09cL2lzd1V1SVRGNnNSNHVzQm4zbXlFM2RsVUtXZXNQdE9FaTRuVVdlTUdJVWJVN003eFFaZW96MIRRS011T20ifQ%3D%3D, Erişim Tarihi: 28 Ocak 2021, 2017.
- [34] S. K. Turbush ve I. Turkyilmaz, "Accuracy of three different types of stereolithographic surgical guide in implant placement: an in vitro study," *Journal of Prosthetic Dentistry*, c. 108, s. 3, ss. 181-188, 2012.
- [35] W. Piedra-Cascón, M. Sadeghpour, A. Wael ve M. Revilla-Leon, "A vat-polymerized 3-dimensionally printed dual-material occlusal device: A dental technique," *Journal of Prosthetic Dentistry*, <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2020.07.011>, c. 125, s. 5, ss. 1-5, 2020.

[36] W. Geng, C. Liu, Y. Su, J. Li ve Y. Zhou, “Accuracy of different types of computer-aided design/computer-aided manufacturing surgical guides for dental implant placement,” *International Journal of Clinical and Experimental Medicine*, c.8, s. 6, ss. 8442-8449, 2015.

[37] C. K. Chua, C. S. Meng, L. S. Ching, K. E. Hoe ve L. K. Fah, “Rapid prototyping assisted surgery planning,” *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, c. 14, s. 9, ss. 624-630, 1998.

[38] Low-Volume Rapid Injection Molding With 3D Printed Molds, [Çevrimiçi]. Erişim Adresi: https://info.asme.org/rs/011BZA849/images/Formlabs_LowVolume%20Rapid%20Injection.pdf?mkt_tok=eyJpIjoiTXpkaU9EbGlNelk0TWpRMCIslInQiOiJicHZiSnZnYmY1RXI0TFwvUlhLWEVUZHIwSkVqRlViOHhENkk0M0g3QVEzRHgrdW1yOG5IT1djMTJqcWtGQmts2hWMIhXV1ZOT25EXC91VXQ2TDI2czZvOTZaWEpYN2VER1cwNGZTM2p2ZVwvc1VFMzhkUWMyaTZYRkE2VVdScIVRUCJ9, Erişim Tarihi: 26 Ocak 2021.

[39] Carbon Lattice Innovation-adidas Story, [Çevrimiçi]. Erişim Adresi: <https://www.carbon3d.com/resources/whitepaper/the-adidas-story/>, Erişim Tarihi: 26 Ocak 2021.



Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

Electrochemical Enzymatic Biosensor Development by Using Different Electropolymerization Conditions of Polyaniline

 Nimet YILDIRIM TİRGİL^{a,b*},  Zeycan KALKAN^b,  Soner ÖZTÜRK^c,  Sedat SÜRDEM^d,
 Mehmet Fatih ÖKTEM^b

^a Department of Biomedical Engineering, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Ankara Yıldırım Beyazıt University, Ankara, TURKEY

^b Department of Materials Engineering, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Ankara Yıldırım Beyazıt University, Ankara, TURKEY

^c TENMAK, Boron Research Institute, Ankara, TURKEY

^d Department of Environmental Sciences, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Gazi University, Ankara, TURKEY

* Corresponding author's e-mail address: nyildirimtirgil@ybu.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.844331

ABSTRACT

Because of its excellent electrochemical properties, extreme redox performance, and ability to mediate the electron transfer between the electrode surface and the reaction site, polyaniline (PANI) is one of the most ideal and well-known conductive polymers for biosensor design. This research developed an electrochemical enzymatic biosensor system with PANI film-coated screen printed electrodes (SPE) using the one-step direct electropolymerization process. PANI electropolymerization was performed in different acidic solutions, and the effects on the electrodeposition of the potential range, potential scan rate, and cycle number are discussed depending on these acidic solutions. The surface morphologies of films prepared with different processes were characterized by using the SEM (scanning electron microscopy) technique. A sensitive and selective catechol biosensor was developed by immobilizing the tyrosinase (Tyr) enzyme into PANI film combined with glutaraldehyde as a cross-linking agent. After optimizing the biosensor performance conditions, the developed biosensor measured catechol in green tea samples.

Keywords: Conducting Polymers, Polyaniline, Enzymatic Biosensors, Catechol Analysis

Farklı Elektropolimerizasyon Koşulları Kullanılarak Hazırlanan Polianilin ile Elektrokimyasal Biyosensör Geliştirilmesi

ÖZET

Polianilin (PANI), mükemmel elektrokimyasal özellikleri, etkili redoks davranışı ve reaksiyon esnasında elektrot yüzeyine elektron transferine aracılık etme kabiliyeti nedeniyle biyosensör tasarımı için en çok tercih edilen ve bilinen iletken polimerlerden biridir. Bu çalışmada, doğrudan elektropolimerizasyon (tek aşamalı) işlemi kullanılarak hazırlanan PANI film kaplı yüzey baskılı elektrotlar (SPE) ile elektrokimyasal bir enzimatik biyosensör sistemi geliştirilmiştir. Çalışmada, PANI elektropolimerizasyonu farklı asidik çözeltilerde gerçekleştirilmiş ve potansiyel aralığın, potansiyel

tarama hızının ve döngü sayısının elektrodepozisyona etkileri gözlemlenmiştir. Farklı işlemlerle hazırlanan filmlerin yüzey morfolojileri, taramalı elektron mikroskobu (SEM) tekniği ile karakterize edilmiştir. Glutaraldehit ile çapraz bağlanma tekniği ile tirozinaz (Tyr) enziminin PANI filmine immobilize edilmesiyle oldukça kararlı ve etkili bir katekol biyosensörü hazırlanmıştır. Biyosensör performans koşullarının optimizasyonundan sonra, yeşil çay örneklerinde katekol analizi için geliştirilen biyosensör kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: İletken Polimerler, Polianilin, Eenzimatik Biyosensörler, Katekol Aanalizi

I. INTRODUCTION

Conductive polymers possess a high conductivity/weight ratio, unique chemical properties [1], well optical and electrical properties, and enable outstanding control of the electrical stimulus [2]. The main feature of a conductive polymer is that there are conjugated (sequentially ordered) double bonds along the polymer's backbone (main chain). In conjugation, the bonds between carbon atoms are arranged in alternating double and single bonds. Each bond contains a strong chemical bond, "sigma" (σ). Moreover, each double bond has a weaker (30%) and less localized "pi" π bond. However, conjugation is insufficient to make the polymer material conductive, and the conductivity can be increased by introducing dopant materials. The task of dopant materials is to increase the number of electrons and "holes" in the material. The location where there is an electron deficiency is called a hole. When such a hole is filled with an electron jumping from a neighboring location, a new hole is created, and as a result of this situation, the charge migrates over a long distance [3]. By doping with different agents, the chemical, physical, and electrical properties of conducting polymers can be changed [4], and by adding antibodies, enzymes, and other biological molecules, these properties can be adapted to the unique needs of their application [2], specifically for biosensor design. The electrochemical polymerization technique is one of the most common methods used to prepare conductive polymers [5]. Electrochemical polymerization occurs by applying an electrical current through electrodes located in a solution containing the monomer, the solvent, and the doping agent. The electrical current causes the monomer to deposit and oxidize on the positively charged working electrode, forming insoluble polymer chains. Electrochemical polymerization only permits the synthesis of a polymer if the monomer may undergo oxidation in the presence of an electrical potential [2]. The electrochemical process leads to its location, thickness, or morphology controlled by applying current or voltage [4].

One of the most known conductive polymer types is Polyaniline (PANI). Due to the discovery of its high conductivity and relatively low cost, PANI has recently captured the scientific community's attention. Researchers are actively discovering its applications, especially in biosensors, due to a range of beneficial properties like direct and simple deposition on the sensor electrode, redox conductivity and polyelectrolyte characteristics, control of thickness, chemical specificities, high surface area, long-term environmental stability [6], ease of synthesis, low cost, and the ability to switch between its conductive and resistive states electrically. PANI can be an influential mediator to electron transfer in redox or enzymatic reactions as a material for sensor and biosensor interfaces. PANI is considered an attractive polymer because it exhibits two redox couples in the correct potential range to allow the transfer of enzyme-polymer charge and thus serves as a mediator of self-contained electron transfer [6]. The various techniques can be used on the PANI surface for the immobilization of desired biomolecules. Control over PANI's shape and dimensions are likely to result in desired physical and electrochemical properties for biosensing application through varying synthesis or processing conditions. Excellent electroactivity can be preserved up to pH 12 in the PANI's significant application zone [7].

The phenolic compounds are widely used in the chemical industry and agriculture and are discharged into the environment. The organism can quickly adsorb these chemicals through skins and mucous membranes. They accumulate in the body due to the difficult removal of phenolic compounds during metabolic processes. Due to these properties, the number of phenolic compounds in natural foods should be determined within quality control. In determining phenolic compounds (HPLC- High-Performance

Liquid Chromatography, GMS-Gas Chromatography-Mass Spectrometry, etc.), traditional analytical methods are used and enzymatic methods use free and immobilized polyphenol oxidase class enzymes [8][9][10]. Electrochemical techniques are among the numerous known methods; their real-time identification of clinical samples is desirable for polyphenol determination [11]. A significant challenge is to build a biosensor for low phenolic compound detection limits, high sensitivity, quick response, efficacy, and simplicity in the tyrosinase enzyme-based amperometric biosensor [12]. It is often known as catechol oxidase or polyphenol oxidase, tyrosinase (Tyr) has two atoms of copper at its active core [13]. This essential enzyme catalyzes oxidation reactions in the presence of molecular oxygen, containing monophenols' hydroxylation into o-dihydroxy phenols and subsequently oxidation-dihydroxy phenols into o-quinones [14].

Due to various favorable features, poly conjugated conducting polymers possess excellent attention to biosensing applications mentioned above. Primarily, PANI film was synthesized from an aniline aqueous solution with various acidic media such as HCl, H₂SO₄, and perchloric acids [15]. In this paper, therefore, PANI has been used to increase the analytical efficiency of electrochemical biosensors. An electrochemical biosensor has been generated by deposition of PANI and enzyme trapping by a one-step process. This paper describes an electrochemical biosensor's manufacture and applying the resulting enzyme electrode to voltammetric detect catechol in an aqueous medium.

II. MATERIALS AND METHODS

A. MATERIALS

Tyrosinase from mushroom (Tyr, EC:1.14.18.1), Catechol, Aniline, Perchloric acid (HClO₄), Sulfuric acid (H₂SO₄), Hydrochloric acid (HCl), and Glutaraldehyde were purchased from Sigma Aldrich. Aniline was purified under vacuum before use. Phosphate buffer was prepared using potassium dihydrogen phosphate and di-potassium hydrogen phosphate. All the chemicals were used under the laboratory grade and MilliQ TKA-Lab pure water was used for the wet process.

B. METHODS

B. 1. Electropolymerization

The electrochemical measurements were recorded using screen-printed electrodes (SPE) that the SPE three-electrode system consisted of a carbon plate as the counter electrode(CE), carbon plate as the working electrode(WE), and Ag/AgCl as the reference electrode(RE). Electrochemical measurements were carried out using a potentiostat controlled by IviumSoft, software for control, and data acquisition. Fig.1 represents the SPE and potentiostat setup used in this work.

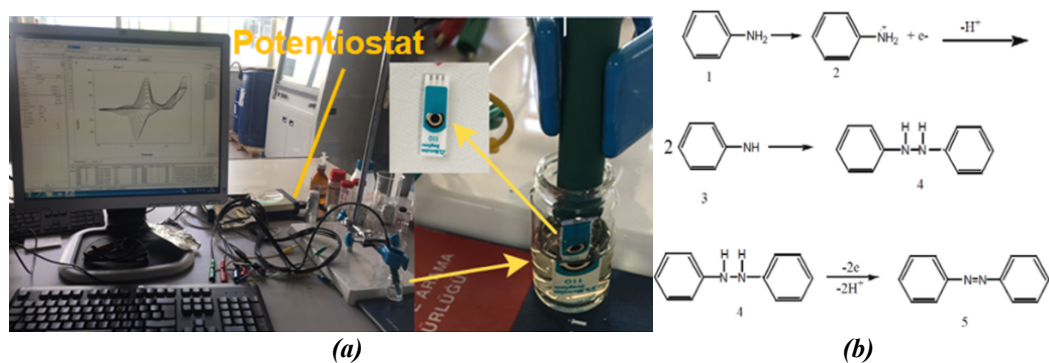


Figure 1. a) The illustration of the SPE and potentiostat setup was used in this work, b) aniline electropolymerization mechanism.

Electrochemical synthesis is an alternative way to obtain conductive polymers, making the synthetic procedure relatively straightforward. In this work, electropolymerization was carried out; the process of obtaining conductive polymers by the electrochemical method is based on obtaining the Polyaniline (PANI) on the C-SPE electrode was immersed in an aqueous solution containing 0.1 M aniline monomer and H₂SO₄, or HClO₄ or HCl. In the experiment, the screen printed electrodes (SPE) are scanned within the potential range of -0.5 V to 0.8 V in 0.5 M freshly prepared H₂SO₄ solution, 0.4 V to 0.8 V in 0.5 M HClO₄ solution, and -0.2 V to 1.0 V in 0.5 M HCl solution, respectively until stable curves of cyclic voltammograms are obtained. Cyclic voltammograms (CVs) were recorded in these different potential ranges in different acidic solutions at a scan rate of 100 mV/s. The current is passed through the solution, and the polymer accumulates on the positively charged working electrode. During the oxidation process to form radical cations that react with other monomers, monomers on the working electrode surface form insoluble polymer chains on the electrode surface. After the aniline's electropolymerization, these PANI modified electrodes were washed with H₂SO₄ and distilled water, respectively. The surface activity and conductivity of the electrode are ascertained with K₃[Fe(CN)₆]/K₄[Fe(CN)₆] system and were carried out -0.2 V to 0.8 V in 5 mM Fe(CN)₆³⁻/Fe(CN)₆⁴⁻ containing 0.1 M KCl solution.

The surface characterization of the polyaniline modified SPEs based on different acidic solutions were evaluated by scanning electron microscope (SPE).

B. 2. Enzyme immobilization

After the polyaniline modification on the SPEs, enzyme immobilization was performed using glutaraldehyde as a cross-linking agent during Tyr immobilization. For enzyme immobilization, a mixture of 50 μl from 1 mg / mL Tyr in a 50mM phosphate buffer solution (pH 7.0) and 4 μl glutaraldehyde was prepared. Afterward, 8 μL of mixture dispersion was cast onto the SPE surface so that the solvent was allowed to evaporate at room temperature for approximately 1.5 hours.

B. 3. Catechol biosensor preparation

A sensitive and selective catechol biosensor was developed by immobilizing tyrosinase (Tyr) enzyme into PANI film combined with glutaraldehyde as a cross-linking agent. In Fig. 2, a diagram shows the tyrosinase enzyme's working mechanism and the electrochemical activity of the final product formed by the catechol component's enzymatic reaction. The ultimate product of catechol, o-quinone is an electroactive molecule with electrochemical oxidation and reduction activity. In this mechanism, the enzyme played a key role. An immobilization method in which the enzyme activity was kept at maximum adds value to the biosensor system to be developed.

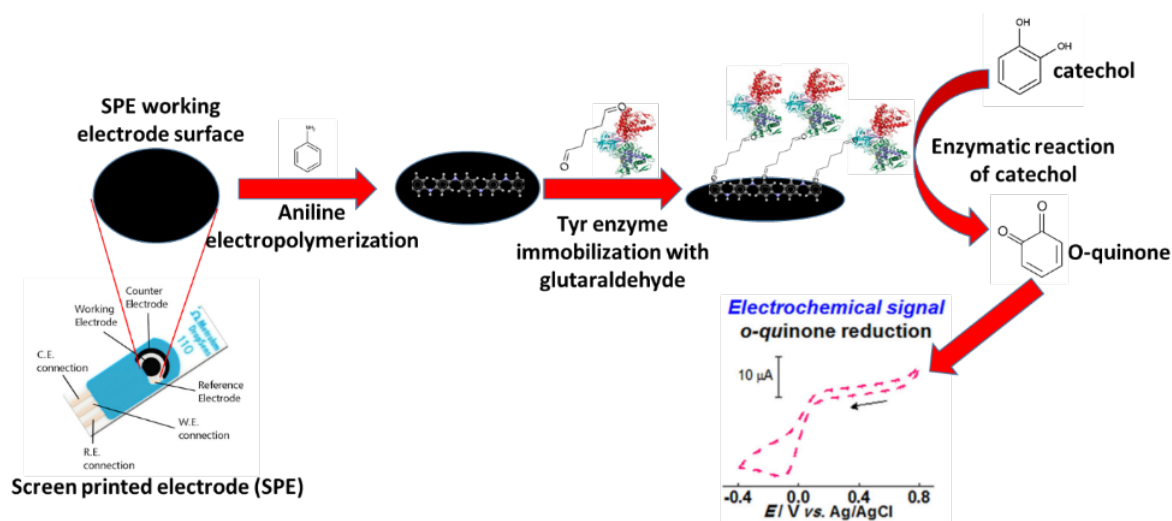


Figure 2. The diagram shows the tyrosinase enzyme's working mechanism and the electrochemical activity of the final product formed by the catechol component's enzymatic reaction of the catechol component [16].

The biosensor was performed to detect catechol by voltammetric measurements at the applied potential range of -0.9 V to 0.8 V in the steady-state condition in different amounts of catechol 10, 25, 50, 100, 200, 300 μM , respectively in 50 mM pH buffer solution. To obtain optimum conditions the enzymatic biosensor system was tested in different pH solutions of PBS (pH 6 to 8), including 200 μM of catechol. The developed enzymatic biosensor system's selectivity performance was tested with different phenolic compounds for biosensor selectivity observation in addition to these experiments. 200 μM of catechol, gallic acid, hydroquinone, n-nitrophenol were tested, and percentage signals were calculated depending on the biosensor signal with 200 μM of catechol, respectively.

After optimizing the working conditions of the developed biosensor system to calculate the potential matrix effect of real samples on the biosensor performance, we evaluated spiked green tea samples containing different concentrations of catechol (50 μM , 100 μM , and 200 μM).

III. RESULTS AND DISCUSSION

A. RESULTS

A. 1. Electropolymerization of aniline in different acidic solutions

SPEs were immersed in the solution of 0.1 M aniline and different acidic solutions of 0.5 M H_2SO_4 , 0.5 M HClO_4 , and 0.5 M HCl solution. SPEs were scanned between the potential range of -0.5 V to 0.8 for H_2SO_4 solution, 0.4 V to 0.8 V for HClO_4 solution, and -0.2 V to 1.0 V for HCl solution until stable curves of cyclic voltammograms (CVs) are obtained as shown in Fig.3. (a) in HCl solution (b) H_2SO_4 solution (c) in HClO_4 . Comparing the CVs of these in different solutions, it is found that both anodic and cathodic peak currents increased abruptly in the case of aniline monomer in different acidic mediums, especially for HClO_4 , which demonstrates that it expands the electron transfer rate for PANI formed onto SPE.

After the electropolymerization, the electrode's surface activity and conductivity are ascertained by performing cyclic voltammograms between -0.2 V and 0.8 V in the solution of 0.1 M KCl containing 5 mM $\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-}/\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}$ redox molecule. As shown in Fig.2(d), electrode surface conductivity analysis with $\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-}/\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}$ redox molecule results indicate that electrode surface conductivity after electropolymerization of aniline in HClO_4 solution has the highest voltammogram peak height, which is the evidence of high surface conductivity and this green curve coming from HClO_4 is the best. Blue curve coming from HCl shows that the Oxidation peak was shifted more positive potential range, showing that the electrode surface was disrupted. So we quit testing HCl after this point. The more conductive the surface becomes, the better the $\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-}/\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}$ redox molecule oxidation and reduction peaks.

The surface morphology of the bare and polyaniline modified SPEs based on different acidic solutions was characterized by SEM studies (Figure 4a–e). Depending on the SEM images for different acidic solutions, Figure (4, a) represented bare SPE as a homogeneous surface, Figure (4,b) as not dense but homogeneous, Figure (4,c) the surface is very dense, nonhomogeneous, and quite dense, so it affects electrode surface conductivity, Figure (4,d) HClO_4 based modification represented the densest and most homogeneous surface and Figure (4,e) the results indicate that enzyme particles attached to the surface. Morphology permits the Tyrosinase enzyme uniformly entrapped on the surface, and the porous structure disappeared utilizing the Tyrosinase enzyme.

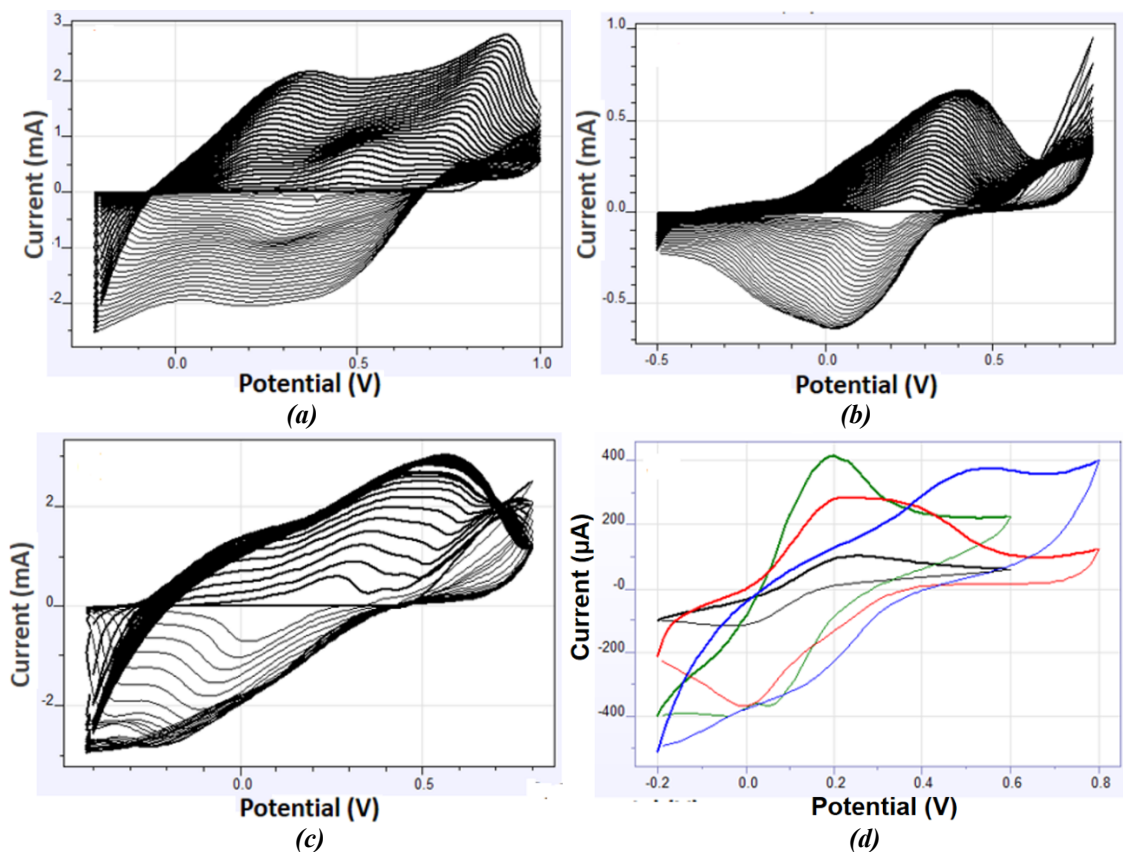


Figure 3. The polymerization solutions contain of 0.1 M aniline monomer dissolved in 0.5 M different supporting electrolytes. Aniline electropolymerization (a) in HCl solution (b) H_2SO_4 solution (c) in $HClO_4$ solution (d) Electrode surface conductivity analysis with 5 mM Potassium $Fe(CN)_6^{3-}/Fe(CN)_6^{4-}$ redox molecule in KCl solution (Black: bare SPE, Blue: HCl electropolymerization, Red: H_2SO_4 electropolymerization, Green: $HClO_4$ electropolymerization).

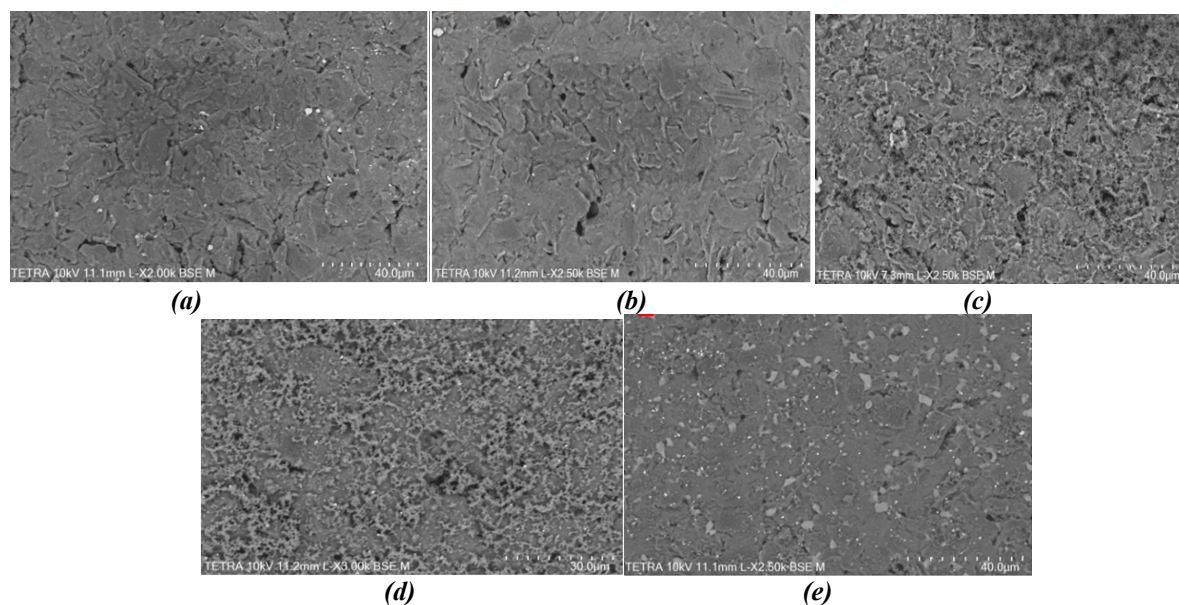


Figure 4. SEM images aniline electropolymerization in acidic solutions (a) bare SPE (b) H_2SO_4 (c) HCl (d) $HClO_4$ (e) Enzyme immobilized SPE electrodes after aniline electropolymerization.

A. 2. Biosensor Performance development

A.2.1. pH Optimization

200 μM concentration of catechol was tested using different acidic solution-based polyaniline modified and enzyme immobilized SPEs in different pH solutions of PBS including pH 6, pH 6.5, pH 7, pH 7.5, and pH 8. As represented in figure 5, for both acidic solutions based on electropolymerized SPE, the optimum pHs were observed as pH 6.5.

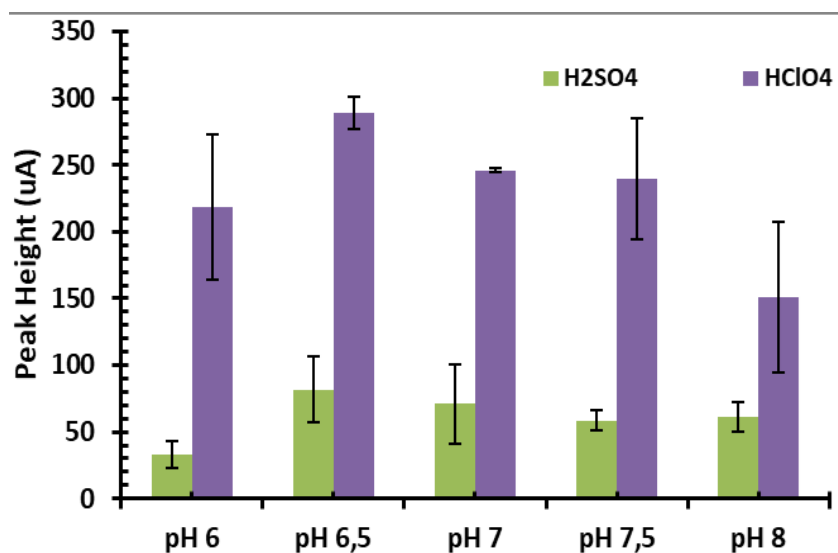


Figure 5. The effect of the detection solution's pH on the biosensor's performance was evaluated by incubating the electrode in 200 μM catechol solution prepared at the PBS with the pH range of 6–8.

A.2.2. Dose-response curve

Different concentrations of catechol (10,25,50,100,200,300 μM) were added onto 50 mM pH 6.5 buffer solution, and the voltammetric measurements at the applied potential range of -0.9 V to 0.8 V were performed. The reduction peak for the O-quinone product of the enzymatic reaction of catechol was observed, and the peak heights were calculated for each concentration. The linear range was identified for both acidic solutions based on aniline modified SPEs between 10 μM and 300 μM where the HClO₄ based enzymatic biosensor system had higher signals and therefore sensitive response as shown in Fig.6.

A.2.3. Biosensor specificity

To determine the specificity of the developed enzymatic biosensor for analyzing catechol, different phenolic compounds such as catechol, gallic acid, hydroquinone, n-nitrophenol were evaluated at the concentration level of 200 μM . The biosensor system's responses for these compounds were compared with the results of 200 μM of catechol detection. The results in Fig. 7 clearly show that non-specific phenolic compounds do not generate any significant peak at the voltage where O-quinone's reduction peak is located. Therefore, the developed biosensor system is quite specific for only catechol detection.

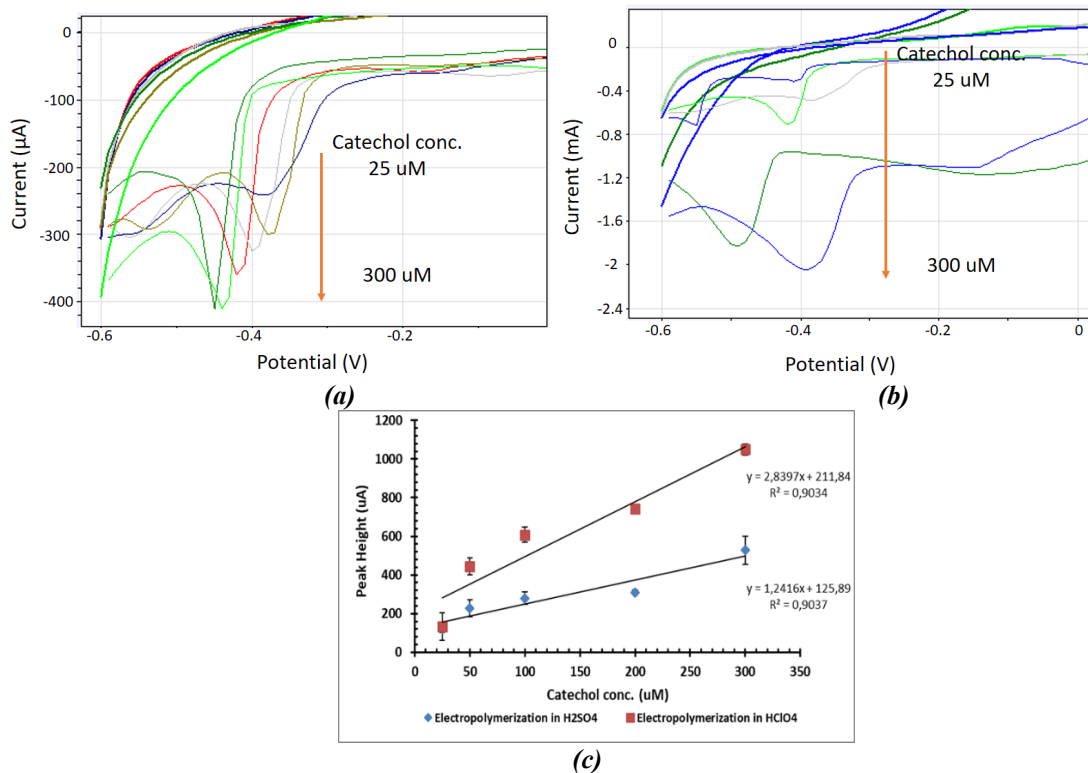


Figure 6. Catechol detection(25,50,100,200,300 μM) in H_2SO_4 (a) and HClO_4 (b) polymerization, and the dose response curves for these polymerization conditions (c).

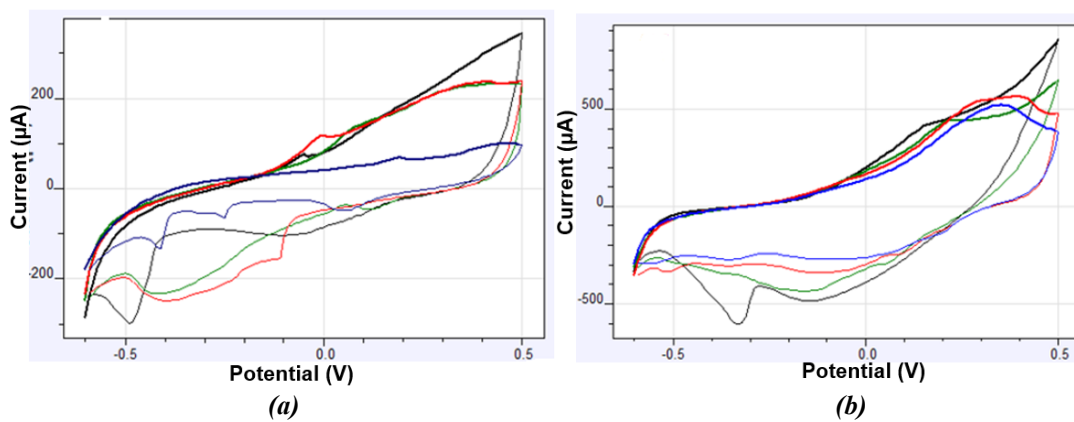


Figure 7. (a) H_2SO_4 aniline electropolymerized SPE (b) HClO_4 aniline electropolymerized SPE. (Black: catechol, Blue: gallic acid, Green: N-nitrophenol, Red: Hydroquinone)

A.3. Real Sample Testing

To demonstrate the biosensor's ability to detect catechol in tea samples under the optimized conditions. 50 μM , 100 μM , and 200 μM spiked tea samples were tested with developed enzymatic biosensor systems in Figure 8. The results are briefly presented in Table 1. The percentage recovery results of all measured samples were between 93% and 110%, and the parallel tests showed sd% deviation results between 2% and 9%. These results showed that the potential interference from the background composition of real samples was within 16% and is considered acceptable for food quality monitoring tests.

Table 1. Catechol spiked green tea samples result with developed polyaniline based enzymatic biosensor system.

Aniline Electropolymerization in HClO ₄				Aniline Electropolymerization in H ₂ SO ₄			
Added	Found	Recovery (%)	sd (%)	Added	Found	Recovery (%)	sd (%)
50	55,28455	110,5691	5,942074	50	55,84989	111,6998	18,57475
100	93,73984	93,73984	2,192579	100	103,3113	103,3113	11,24118
200	205,6911	102,8455	9,198137	200	221,4128	110,7064	14,9494

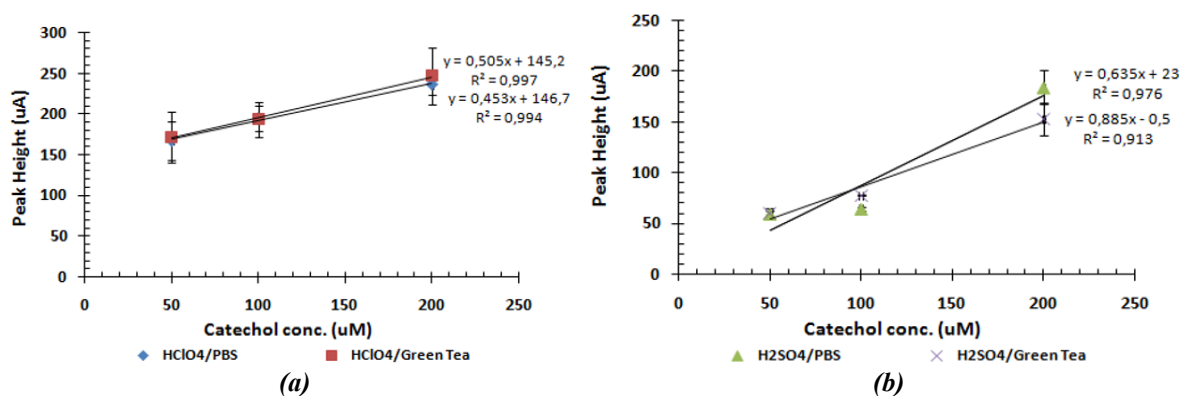


Figure 8. Catechol spiked green tea samples' testing results with developed polyaniline-based enzymatic biosensor system (a) HClO₄ solution, (b) H₂SO₄ solution.

B. DISCUSSION

In this work, we modified SPEs with conductive PANI films using different acidic solution-based electropolymerization of aniline. SPEs were scanned within the potential range of -0.5 V to 0.8 for H₂SO₄ solution, 0.4 V to 0.8 V for HClO₄ solution, and -0.2 V to 1.0 V for HCl solution until steady curves of cyclic voltammograms (CVs) were obtained. Comparing the CVs of these in different solutions, it is found that the HClO₄ solution increases the electron transfer rate for PANI formed onto SPE. Electrode surface conductivity analysis with Fe(CN)₆³⁻/Fe(CN)₆⁴⁻ redox molecule results also support this conclusion, which has the highest voltammogram peak height with HClO₄ based electropolymerization. On the SEM images of SPEs with PANI modification in different acidic solutions, we can see the significant influence of HClO₄ based modification. Hence the SPE surface with HClO₄ based modification lead to a more uniform and dense PANI film.

After the electropolymerization steps, a Tyr enzyme-based biosensor system was developed for catechol detection. Tyr enzyme was immobilized onto the PANI modified SPE surface, which was also observed by SEM images. The biosensor systems' linear ranges were identified for all acidic solutions based on electropolymerization between 10 μ M and 300 μ M, where the HClO₄ based enzymatic biosensor system had higher signals and, therefore, sensitive response. The phenolic component in natural foods was tested in the linear range of ≈ 5 μ M to $1\approx 65$ μ M with similar systems [17][18][19]. Considering these references, we aimed to make determinations at similar intervals to the developed biosensor system. The biosensor system was also having quite a specificity for catechol detection compared to other phenolic compounds. Additionally, the developed enzymatic biosensor system was successfully tested with real tea samples with 93% to 110% recovery and 2% and 9% sd% deviation results. Thus, these results exhibited that the potential interference from the background of real samples was within 16% and is considered acceptable for food quality monitoring tests.

IV. CONCLUSION

In view of its excellent electrochemical properties, polyaniline (PANI) is one of the most favored and well-known conductive polymers for biosensor design. Using the direct electropolymerization (one-step) method, this paper developed an electrochemical enzymatic biosensor system with PANI film-coated screen-printed electrodes (SPE). Electropolymerization of PANI was performed in various acidic solutions. SEM characterized the film surface morphologies prepared with different processes. A stable and efficient catechol biosensor was developed by immobilizing tyrosinase (Tyr) enzymes into the PANI film in combination with cross-linking with glutaraldehyde. The developed biosensor was used to detect catechol in green tea samples after optimization of biosensor performance conditions. Using the portable potentiostat and SPEs, this developed enzymatic biosensor system has the potential for on-site analysis of catechol detection in real samples. Thus, the study's future perspective could be developing a portable, easy-to-use prototype product for real sample testing.

ACKNOWLEDGEMENTS: This work is supported by TENMAK - National Boron Research Institute Scientific Project (Project no: 2020-31-06-20B-002) and Ankara Yıldırım Beyazıt University Department of Scientific Research Project (BAP-FYL-2020-2130).

V. REFERENCES

- [1] G. G. Wallace, M. Smyth, and H. Zhao, "Conducting electroactive polymer-based biosensors," *TrAC Trends Anal. Chem.*, vol. 18, no. 4, pp. 245–251, 1999.
- [2] R. Balint, N. J. Cassidy, and S. H. Cartmell, "Conductive polymers: Towards a smart biomaterial for tissue engineering," *Acta Biomater.*, vol. 10, no. 6, pp. 2341–2353, 2014.
- [3] F. Can, "Glukoz oksidaz enziminin iletken polimerlere immobilizasyonu ve karakterizasyonu." Yüksek Lisans Tezi, Kimya Ana Bilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mustafa Kemal Üniversitesi, Antakya, Türkiye, 2010.
- [4] B. Lakard *et al.*, "Effect of ultrasounds on the electrochemical synthesis of polypyrrole, application to the adhesion and growth of biological cells," *Bioelectrochemistry*, vol. 75, no. 2, pp. 148–157, 2009.
- [5] Y. Abdüloğlu, "Diazo grup içeren iletken polimerlerin elektrokimyasal ve elektrokromik özelliklerinin incelenmesi." Yüksek Lisans Tezi, Kimya Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye, 2018.
- [6] C. Dhand, M. Das, M. Datta, and B. D. Malhotra, "Recent advances in polyaniline based biosensors," *Biosens. Bioelectron.*, vol. 26, no. 6, pp. 2811–2821, 2011.
- [7] Y. Jiang, A. Wang, and J. Kan, "Selective uricase biosensor based on polyaniline synthesized in ionic liquid," *Sensors Actuators B Chem.*, vol. 124, no. 2, pp. 529–534, 2007.
- [8] M. Ciulu, N. Spano, M. I. Pilo, and G. Sanna, "Recent advances in the analysis of phenolic compounds in unifloral honeys," *Molecules*, vol. 21, no. 4, p. 451, 2016.
- [9] F. Della Pelle and D. Compagnone, "Nanomaterial-based sensing and biosensing of phenolic compounds and related antioxidant capacity in food," *Sensors*, vol. 18, no. 2, p. 462, 2018.
- [10] K. Tzima, N. P. Brunton, and D. K. Rai, "Qualitative and quantitative analysis of polyphenols in Lamiaceae plants—A review," *Plants*, vol. 7, no. 2, p. 25, 2018.
- [11] D. Šatínský, J. Huclová, R. L. C. Ferreira, M. C. B. S. M. Montenegro, and P. Solich,



- “Determination of ambroxol hydrochloride, methylparaben and benzoic acid in pharmaceutical preparations based on sequential injection technique coupled with monolithic column,” *J. Pharm. Biomed. Anal.*, vol. 40, no. 2, pp. 287–293, 2006.
- [12] S. K. Ozoner, M. Yalvac, and E. Erhan, “Flow injection determination of catechol based on polypyrrole–carbon nanotube–tyrosinase biocomposite detector,” *Curr. Appl. Phys.*, vol. 10, no. 1, pp. 323–328, 2010.
- [13] B. C. Janegitz, R. A. Medeiros, R. C. Rocha-Filho, and O. Fatibello-Filho, “Direct electrochemistry of tyrosinase and biosensing for phenol based on gold nanoparticles electrodeposited on a boron-doped diamond electrode,” *Diam. Relat. Mater.*, vol. 25, pp. 128–133, 2012.
- [14] D. Fiorentino, A. Gallone, D. Fiocco, G. Palazzo, and A. Mallardi, “Mushroom tyrosinase in polyelectrolyte multilayers as an optical biosensor for o-diphenols,” *Biosens. Bioelectron.*, vol. 25, no. 9, pp. 2033–2037, 2010.
- [15] W. W. Focke, G. E. Wnek, and Y. Wei, “Influence of oxidation state, pH, and counterion on the conductivity of polyaniline,” *J. Phys. Chem.*, vol. 91, no. 22, pp. 5813–5818, 1987.
- [16] Z. Kalkan *et al.*, “Boronic Acid Substituted Polyaniline Based Enzymatic Biosensor System for Catechol Detection,” *Electroanalysis*, vol. 34, no. 1, pp. 33–42, 2022.
- [17] V. Sethuraman, P. Muthuraja, J. A. Raj, and P. Manisankar, “A highly sensitive electrochemical biosensor for catechol using conducting polymer reduced graphene oxide–metal oxide enzyme modified electrode,” *Biosens. Bioelectron.*, vol. 84, pp. 112–119, 2016.
- [18] F. B. Zoral and Ö. Turgay, “Çeşitli gıda atıklarının toplam fenolik madde içeriğinin, antioksidan ve antimikrobiyel aktivitelerinin araştırılması,” *KSÜ Doğa Bil. Derg.*, c.17, s. 2, ss. 24-33, 2014.
- [19] S. Mu, “Catechol sensor using poly (aniline-co-o-aminophenol) as an electron transfer mediator,” *Biosens. Bioelectron.*, vol. 21, no. 7, pp. 1237–1243, 2006.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

OBPSO Kullanılarak Dağıtık Güneş Enerji Sistemlerinin Optimum Bağlantı Gücü ve Yerinin Belirlenmesi

 Mehmet ÇEÇEN^{a, b, *},  Cenk YAVUZ^b

^a Elektrik ve Enerji Bölümü, İlgın Meslek Yüksekokulu, Selçuk Üniversitesi, Konya, TÜRKİYE

^b Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: mehmet.cecen@selcuk.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.953283

ÖZ

Bu çalışmada, dağıtık üretim (DÜ) sistemlerinin optimum şebeke entegrasyonu probleminin çözümü için zıtlık tabanlı parçacık sürü optimizasyonu (OBPSO) kullanımı önerilmektedir. Önerilen OBPSO yöntemi, DÜ'nün optimum yer ve büyüklük değerlerini bulurken çok amaçlı optimizasyon yaklaşımı kullanmaktadır. Ayrıca yük değişimlerine karşı duyarlılık analizi yöntemi ortaya konmuş ve yeni bir amaç fonksiyonu olarak da kullanılmıştır. Amaç fonksiyonları, aktif güç kaybı, gerilim değişimi ve duyarlılık analizi minimizasyonundan oluşmaktadır. DÜ kaynağı olarak fotovoltaik tabanlı güneş enerji sistemleri (DGES) esas alınmıştır. Birim güç faktörü ile işletilen 3 adet DGES eklendiği durumlar değerlendirilmiş ve amaç fonksiyonlarının değişimleri analiz edilmiştir. Önerilen metodun etkinliği standart test sistemlerinden IEEE 33 baralı dağıtım sistemi kullanılarak araştırılmıştır. Yük akışı analizi için MATPOWER paket programı kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar literatürde bulunan diğer çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Neticede, OBPSO yönteminin iyi sonuç verdiği ve karşılaştırılan diğer optimizasyon tekniklerine karşı üstünlükleri olduğu gözlenmiştir. Ayrıca, DGES'nin optimum değerler dikkate alınarak yapılan entegrasyonlarda amaç fonksiyonlarında belirgin iyileşmeye sağladığı gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: OBPSO, Dağıtık güneş enerji sistemi, Aktif güç kaybı minimizasyonu, Gerilim değişimi, Duyarlılık analizi

Determining the Optimum Size and Siting of Distributed Solar Energy Systems Using OBPSO

ABSTRACT

In this study, OBPSO is proposed to solve optimal grid integration of distributed generation (DG) systems. While the proposed OBPSO method finds the optimum location and size values of DG, three different singular objective functions are considered. Additionally vulnerability analysis method to load changes is proposed and used as a new objective function. Objective functions consist of active power loss, voltage variation and vulnerability analysis minimization. Photovoltaic solar energy systems (DPVG) are considered as a source of DG. The cases where 3 DGES are added with the unit power factor are considered and the changes of the objective functions are evaluated. The efficiency of the proposed method is achieved by using IEEE 33 bus distribution system, which is one of the standard test systems. MATPOWER package program is used for load flow analysis. Then, the effectiveness of the proposed method is compared with other studies in the literature. The results obtained showed that OBPSO is effective and give better results against other optimization techniques compared in the study. It has been observed that DGES systems provide significant improvement in the purpose functions in the integrations made by considering the optimum values.

Keywords: OBPSO, DPVG, Real power loss minimization, Voltage deviation, Vulnerability analysis

I. GİRİŞ

Dünya genelinde elektrik enerjisine olan talep artan nüfus, büyüyen ekonomi, gelişen teknoloji vb. nedenlerle sürekli artmaktadır. Yükselen talebin karşılanabilmesi için yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarından daha fazla faydalanılmaya çalışılmaktadır. Bu kaynakların başında fotovoltaik tabanlı güneş enerji sistemleri ve rüzgar enerji sistemleri gelmektedir. Buna bağlı olarak DÜ santrallerinin güç sistemlerindeki sayıları hızla artmaktadır [1].

Dağıtım sisteminden şebekeye bağlanan elektrik üretim sistemleri dağıtık üretim santrali olarak tanımlanmaktadır [1], [2]. Dağıtık üretim teknolojileri elektrik güç sistemleri için yeni değildir ancak, yenilenebilir enerji kaynaklarının şebeke entegrasyonunun artmasıyla tekrar güncel konulardan biri haline gelmiştir. Dağıtık üretim esas itibarıyla, elektrik üretmek için son kullanıcıya yakın, birkaç kW'tan 50 MW'a kadar olan küçük güçlü üretim teknolojilerini tanımlayan bir yaklaşımdır [3].

DÜ birimlerinin dağıtım sistemine entegrasyonunun şebeke parametreleri üzerinde birçok etkisi vardır. Belirtilen avantajları elde edebilmek için, optimum büyüklük ve yer hesaplamasının yapılması, elde edilen faydayı maksimize ederken, aksi durumda yapılan entegrasyonlar istenmeyen negatif etkilere neden olabilmektedir [4], [5]. Doğru yapılan DÜ entegrasyonları sayesinde güç kalitesinin artması, gerilim profilinin gelişmesi, güç kayıplarının azalması, ilave hat ihtiyacının azalması ve sistem kapasite artış gerekliliğinin ertelenmesi gibi pozitif etkilere ulaşılabilir. DÜ'lerin yer ve büyüklüklerinin uygun olmayan şekilde seçilmesi, DÜ kapasitesinin tam kullanılmaması, güç kayıplarının artması ve gerilim profilinin bozulması gibi temel bozucu etkilere neden olabilmektedir [6], [7].

Önceki çalışmalarda, radyal dağıtım sisteminde DÜ büyüklüğü ve yeri için analitik metotlar önerilmiş, güç kaybı minimizasyonu ile optimum değerler elde edilmiştir [8], [9]. DÜ sistemlerinin optimal büyüklük ve yerinin belirlenmesi için lineer olmayan optimizasyon ve genetik algoritmanın (GA) karşılaştırılması da denen bir yöntem olmuştur [10]. Bir diğer çalışma, zorlanmış öğrenme yöntemiyle, dengesiz dağıtım sistemlerinde fotovoltaik (PV) sistemlerin optimum büyüklüğü elde edilerek, sistem entegrasyonunu yapılmaktadır [11]. Maliyet-fayda analizi ile DÜ sistemlerinin dağıtım sisteminde dahil olduğunda gerilim profili ve hat kayıplarına etkisi değerlendirilen başka bir konu olmuştur [12]. Gerilim profilini arttırmak ve hat kayıplarını azaltmak için en uygun yer ve büyüklük, insan düşünce dinamiği optimizasyon tekniği kullanılarak da belirlenmiştir [13]. Değiştirilmiş ateş böceği optimizasyonu kullanılan bir başka çalışma dağıtım şebekesindeki DÜ'lerin optimal planlamasını irdelenmiştir [14]. Şebeke parametrelerini iyileştirmek ağırlık kapsamlı arama optimizasyonu ile DÜ'lerin optimum büyüklük ve yerinin belirlenmesi başka bir yöntem olarak ön plana çıkmıştır [15]. Chen ve arkadaşları güç sistemlerinde gerilim değişimi ve güç kayıplarının minimizasyonu için parçacık sürü optimizasyonu (PSO) algoritmasıyla arttırılmış çoklu-amaç fonksiyonun optimizasyonu kullanmışlardır [16]. Ali ve arkadaşları ise, karınca aslan optimizasyon algoritması (ALOA) ile, dağıtım şebekesi için yenilenebilir enerji tabanlı DÜ'lerin optimum büyüklük ve yerinin belirlenmesi üzerine çalışmışlardır [17]. Karınca koloni ve harmoni arama optimizasyonları ile şebeke yeniden yapılandırma problemini çözmeye çalışan çalışmalar da literatürde mevcuttur [18]. Alçak ve orta gerilim dağıtım şebekesinde çoklu DÜ birimi entegrasyonuna ulaşmanın iki yolu ilgili birçok parametre optimizasyonu Driesen ve Belmans'ın tartışmaya açtığı bir konu olmuştur [19]. DÜ birimlerinin optimal büyüklük ve yeri için GA ve PSO'nun bir kombinasyonunun yapıldığı [20] ve çoklu DÜ biriminin optimal büyüklük ve yerinin belirlenmesinde çoklu amaç fonksiyonunun tasarımı için bulanık programlama ile kombine edilmiş GA'nın kullanıldığı araştırmalar [21] numaralı çalışmada mevcuttur.

Dağıtım sistemlerinin zaman içerisinde genişlemesi ve yüklerinde artış meydana gelmesi sıklıkla karşılaşılan bir durumdur. DGES şebeke entegrasyon planlaması yapılırken bara yük değişimlerini hesaba katmak daha doğru bir yaklaşım olacaktır. Bunun için bu çalışma kapsamında duyarlılık analizi yöntemi önerilmiştir. Önerilen yöntem ile yük değişimine duyarlı baralar belirlenerek, duyarlılıklarına göre sıralanmaktadır. Bu sayede DGES ilavesi için öncelik belirlenmesi yapılmış olacaktır. Önerilen yöntem çalışmada amaç fonksiyonu olarak kullanılmıştır.

Bu çalışmada özetle, DGES entegrasyonunun yapılacağı sistemin teknik parametrelerini düzeltmek için optimum büyüklük ve optimum bağlantı yerini elde etmeye yarayan yeni bir yöntem önerilmektedir. Önerilen yöntemin etkinliği IEEE 33 baralı test sisteminde MATPOWER ve Matlab araç kutuları kullanılarak test edilmiştir [22], [23]. Elde edilen sonuçlar, birim güç faktöründe 3 DGES'nin eklendiği durumlar için üretilmiştir. Daha sonra önerilen metodun etkinliği yapılan diğer çalışmalarla karşılaştırılmıştır ve üstünlüğü gösterilmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde optimizasyon yapılacak probleme ait amaç fonksiyonları ve kısıtlar verilmiştir. Üçüncü bölümde önerilen yöntem detaylandırılarak açıklanmıştır. Dördüncü bölümde durum çalışmaları sonuçları paylaşılmış, önerilen metodun geçerliliği test edilmiştir. Son bölümde ise sonuçlar ve öne çıkan değerlendirmeler yapılmıştır.

II. PROBLEM FORMÜLASYONU

A. DUYARLILIK ANALİZİ

Dağıtım sisteminin aktif güç kayıplarını azaltmak için, DGES'in sisteme ekleneceği barayı belirlemek çok önemlidir. Gerçek dünyada zaman içerisinde dağıtım sistemleri genişlemekte ve toplam yük artmaktadır. Bundan dolayı DGES bağlantısı optimum değerleri hesaplanırken, bara yüklerinde meydana gelecek değişimi dikkate almak önemli bir detaydır. Yüklerde meydana gelen artışa bağlı olarak aktif güç kaybında meydana gelen değişimi belirleyebilmek için, her bir baranın yük artışına duyarlılığı hesaplanır. Duyarlılık analizi olarak adlandırılan bu işlem, güç kayıpları açısından şebeke performansını en çok etkileyen baraların tespit edilmesini sağlamaktadır. Yük artışına duyarlı baralar tespit edildikten sonra, duyarlılıklarına göre sıralanır ve amaca uygun olarak kullanılabilir. Duyarlılık analizi hesaplaması aşağıdaki gibi yapılır:

- 1- Başlangıç durumu için, sistemin orijinal hali ile toplam güç kaybı elde edilir $S_{kayıp}$.
- 2- Diğer tüm baraların ilk güç değerleri sabit kalmak şartıyla, seçilen bir baraya ΔS_i kadar yük ilave edilir.
- 3- Tüm dağıtım hattı için, başlangıç durumuna göre güç kayıplarında meydana gelen değişim, $\Delta S_{kayıp}$ elde edilir.
- 4- Baraların duyarlılık analizi (DA) 1 numara ile verilen eşitlikle yapılır.
- 5- Son olarak baralar, duyarlılık analizine göre en büyükten küçüğe doğru sıralanır.

$$DA_i = \frac{\Delta S_{kayıp}}{100}, i=1,2,..,N_B \quad (1)$$

N_B bara sayısını, DA_i i. baranın duyarlılık analizini, ΔS_i şebekeye verilen toplam görünür gücü, $\Delta S_{kayıp}$ ise başlangıç durumuna göre güç kaybı değişimini ifade etmektedir.

Duyarlılık analizi yapılmasında temel amaç, bara yük değişimlerini dikkate alarak, güç sistemi kayıplarını azaltmak için eklenecek DGES'nin bağlanabileceği optimum noktaların belirlenmesidir. Duyarlılığı yüksek baralardan başlanarak sisteme yeni kaynaklar eklenebilir ve böylece güç kayıplarının azaltılması sağlanabilir. Şekil 1 ile işlem adımları verilmiştir.

B. AMAÇ FONKSİYONLARI

Bu makalede, amaç fonksiyonu olarak aktif güç kayıplarının, gerilim değişiminin ve bara duyarlılık analizinin en aza indirgenmesi hedeflenmiştir. DÜ optimum bağlantı gücü ve yerini elde edebilmek için amaç fonksiyonları, kısıtlar dikkate alarak optimize edilmiştir.

$$\text{Min } (FI) \quad (2)$$

$F1$ fonksiyonu birinci amaç fonksiyonudur, dağıtım sistemi toplam güç kayıplarını göstermektedir ve Eş. 3 ile verilmiştir.

$$F1 = \text{Toplam } P_{\text{Kayıp}} = \sum_{L=1}^{NL} P_{\text{Kayıp}} \quad L=1,2,3,\dots, NL \quad (3)$$

$\text{Toplam } P_{\text{Kayıp}}$ dağıtım sistemi toplam aktif güç kayıplarını, NL ise dağıtım sistemi hat sayısını göstermektedir.

$F2$ ikinci amaç fonksiyonudur, yük baralarının gerilim değişimini göstermektedir.

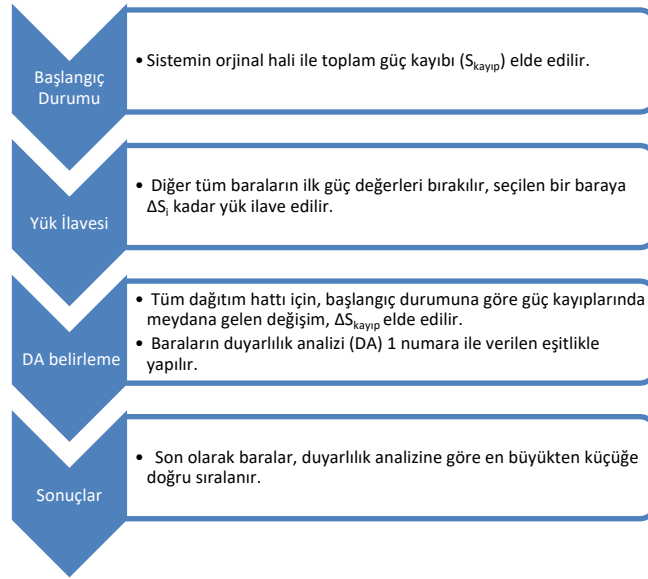
$$\text{Min } (F2) \\ F2 = VD(x, u) = \sum_{i=1}^{Nd} |V_i - 1.0|^2 \quad (4)$$

Nd ise yük baralarının sayısıdır. V_i , i . baranın gerilimi ve 1.0 pu ise referans gerilim değeridir.

$F3$ üçüncü amaç fonksiyonudur, duyarlılık analizinin minimizasyonu amaçlanmıştır.

$$\text{Min } (F3) \\ F3 = DA_i = \frac{\Delta S_{\text{kayıp}}}{100}, i=1, 2, \dots, N_B \quad (5)$$

N_B bara sayısını, DA_i i . baranın duyarlılık analizini, ΔS_i şebekeye verilen toplam görünür gücü, $\Delta S_{\text{kayıp}}$ ise başlangıç durumuna göre güç kaybı değişimini ifade etmektedir.



Şekil 1. DA uygulama akış şeması

B. 1. Kısıtlar

Sisteme ait kısıtlar aşağıda verildiği gibidir.

B. 1. 1. Bara Gerilim Limitleri

$$V_i^{\min} \leq V_i \leq V_i^{\max}, \quad i=1,2,\dots,m \quad (6)$$

V_i i. bara gerilimini, V_i^{min} ve V_i^{mak} i. baranın minimum ve maksimum gerilim limit değerlerini, m ise bara sayısını ifade etmektedir. Bara gerilim değerleri, $V_i^{min}=0.95$ pu ve $V_i^{mak}=1.05$ pu aralığında olmalıdır.

B. 1. 2. Hat Kapasitesi

$$S_{ij} \leq S_{ij}^{mak}, i, j=1,2,\dots,n \quad (7)$$

S_{ij} i barasından, j barasına bağlanan hattın geçen güç akışıdır. S_{ij}^{mak} hat için müsaade edilen maksimum güç limitini, n ise hat sayısını göstermektedir ve 33 baralı sistem için bu değer 0.2 MVA'dır.

B. 1. 3. DGES Limitleri

$$P_{PV,i}^{min} \leq P_{PV,i} \leq P_{PV,i}^{mak} \quad i=1,2,\dots,nPV \quad (8)$$

$P_{PV,i}^{min}$ ve $P_{PV,i}^{mak}$ sırasıyla i. DGES minimum ve maksimum değerlerini, nPV ise dağıtım sistemine eklenecek toplam DGES sayısını göstermektedir. $P_{PV,i}^{min}=0$ ve $P_{PV,i}^{mak} \leq P_{Yük}^{Top}$ aralığında olacak şekilde seçilmiştir.

B. 1. 4. Toplam Aktif Güç Entegrasyon Limitleri

$$P_{PV}^{Top} \leq 3 * P_{Yük}^{Top} \quad (9)$$

P_{PV}^{Top} , dağıtım sistemine bağlanacak toplam DGES gücünü, $P_{Yük}^{Top}$ ise dağıtım sistemi toplam yükünü göstermektedir.

III. ÖNERİLEN OPTİMİZASYON ALGORİTMASI

Bu bölümde, öncelikle parçacık sürü optimizasyonu açıklanmıştır. Daha sonra zıtlık tabanlı öğrenme ile geliştirilmiş OBPSO detaylandırılmıştır. Son olarak, önerilen OBPSO yönteminin DGES ilavesi için optimum yer ve büyüklüğün bulunmasında kullanımı paylaşılmıştır.

A. PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYONU (PSO)

PSO algoritması ilk olarak Kennedy ve Eberhart tarafından önerilmiştir [24]. PSO fikri, bir kuş veya balık sürüsü gibi sosyal sistemin basitleştirilmiş halidir. PSO popülasyon tabanlı bir algoritmadır, her bir parçacık problemin tek bir çözümü olarak görülebilir. Her parçacığın konumu X ile ifade edilir. PSO ilk çözümler rastgele seçilir ve ardından PSO her iterasyonda çözümleri güncelleyerek sürekli olarak optimum değeri arar. Parçacığın uygunluk değeri, amaç fonksiyonu ile ilişkilidir. Parçacıkların hızı V ile gösterilir ve global en iyi pozisyon ve yerel en iyi pozisyon bileşenlerinden oluşmaktadır. Hız, bir sonraki iterasyon için tüm parçacıkların yönlerini gösterir. Yerel olarak en iyi bilinen pozisyon, o ana kadar her bir parçacık arasında elde edilen en iyi çözümdür. Global olarak en iyi bilinen pozisyon ise, elde edilen tüm çözümler arasında en iyi çözümdür. Parçacıkların hız ve pozisyonları aşağıda verilen eşitliklere göre değişmektedir.

$$V_i^{t+1} = wV_i^t + c_p r_p (pbest_i^t - x_i^t) + c_g r_g (gbest^t - x_i^t) \quad i=1,\dots,N \quad (10)$$

$$X_i^{t+1} = X_i^t + V_i^{t+1} \quad (11)$$

V_i ve X_i sırasıyla i. parçacığın hız vektörü ve pozisyon vektörüdür. N ise sürü büyüklüğünü göstermektedir. c_p ve c_g sırasıyla bilişsel katsayılar ve sosyal katsayılarıdır. $c_g=c_p=2$, r_p ve r_g [0,1]

aralığında değişen rastgele sayılardır. Yukarıda verilen başlangıç ağırlık değeri w ise aşağıdaki şekilde iterasyona bağlı değişmektedir.

$$w = w_{Mak} - 1 * \left(\frac{w_{Mak} - w_{Min}}{iter} \right) \quad (12)$$

Bu çalışma için w_{Mak} ve w_{Min} sırasıyla 0.9 ve 0.4 olarak alınmış olup, $iter$ ise iterasyon sayısını göstermektedir.

B. ZITLIK TABANLI PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYONU (OBPSO)

Zıtlık tabanlı öğrenme (opposition based learning-OBL) ilk olarak Tizhoosh tarafından önerilmiştir [25]. OBL popülasyon tabanlı algoritmalar için uygulanması kolay bir tekniktir. PSO geliştirilmesi için OBL yöntemi kullanılmış ve zıtlık tabanlı parçacık sürü optimizasyonu (opposition-based particle swarm optimization (OBPSO)) elde edilmiştir. OBL şu anki mevcut arama alanına zıt yönünde bir alanda optimal nokta için arama yapar. Temel mantığı bir yönde çözüm araştırılırken, zıt yöndeki çözümlerin de dikkate alınması şeklindedir. OBL yaklaşımı zıt sayılar tanımı üzerinedir ve aşağıdaki eşitlikle verilmiştir.

$$\check{x} = a + b - x \quad (13)$$

x [a,b] arasında değişen bir reel sayıdır. \check{x} ise x 'in zıt sayısıdır.

C. OBPSO ile DGES OPTİMUM YER ve BÜYÜKLÜĞÜN BULUNMASI

Önerilen OBPSO metodunu DGES optimum büyüklük ve yerini bulmak için etkili bir yöntemdir. Sistem sınırları dikkate alınarak, amaç fonksiyonunun minimum değerini veren en uygun kontrol değişkenlerinin değerlerini bulunmasını hedeflemektedir. Şekil 2 ile verilen, metodun probleme uygulama adımları aşağıda verildiği gibidir:

1. PSO için başlangıç değerleri tanımlanır. N adet parçacıktan oluşan sürü tanımlanır. Her bir parçacık amaç fonksiyonunu minimum yapacak, DGES sayısına göre bağlantı barası ve bağlantı büyüklüğü bilgilerini içerir. Başlangıç sürüsünden hız, pozisyon ve amaç fonksiyon değerleri oluşturulur. Aynı şekilde OBL metodu için verilen 13 numaralı eşitlik kullanılarak, N adet parçacıktan oluşan zıt parçacık sürüsü oluşturulur. Zıt sürü içinde, standart sürü gibi hız, pozisyon ve amaç fonksiyonu başlangıç değerleri oluşturulur.
2. Her iterasyon için yük akışı yapılır. Standart sürü ve zıt sürü için amaç fonksiyonu değerleri elde edilir. İterasyon bitmeden standart sürü amaç fonksiyonu ve zıt sürü amaç fonksiyonları karşılaştırılır. Karşılaştırmadan sonra değeri daha küçük olan parçacığın değerleri hız, pozisyon ve amaç fonksiyonu olarak belirlenir.
3. İterasyonlar boyunca standart PSO işlemleri devam eder, yani Pbest ve Gbest değerlerinde iyileşme varsa güncelleme işleme yapılır, eğer iyileşme yoksa bir sonraki adıma geçilir.
4. Maksimum iterasyona ulaşılmışsa program sonlandırılır ve sonuçlar elde edilir, ulaşılmamışsa 2. adımdan işlemlere maksimum iterasyona ulaşana kadar devam edilir.

IV. UYGULAMA

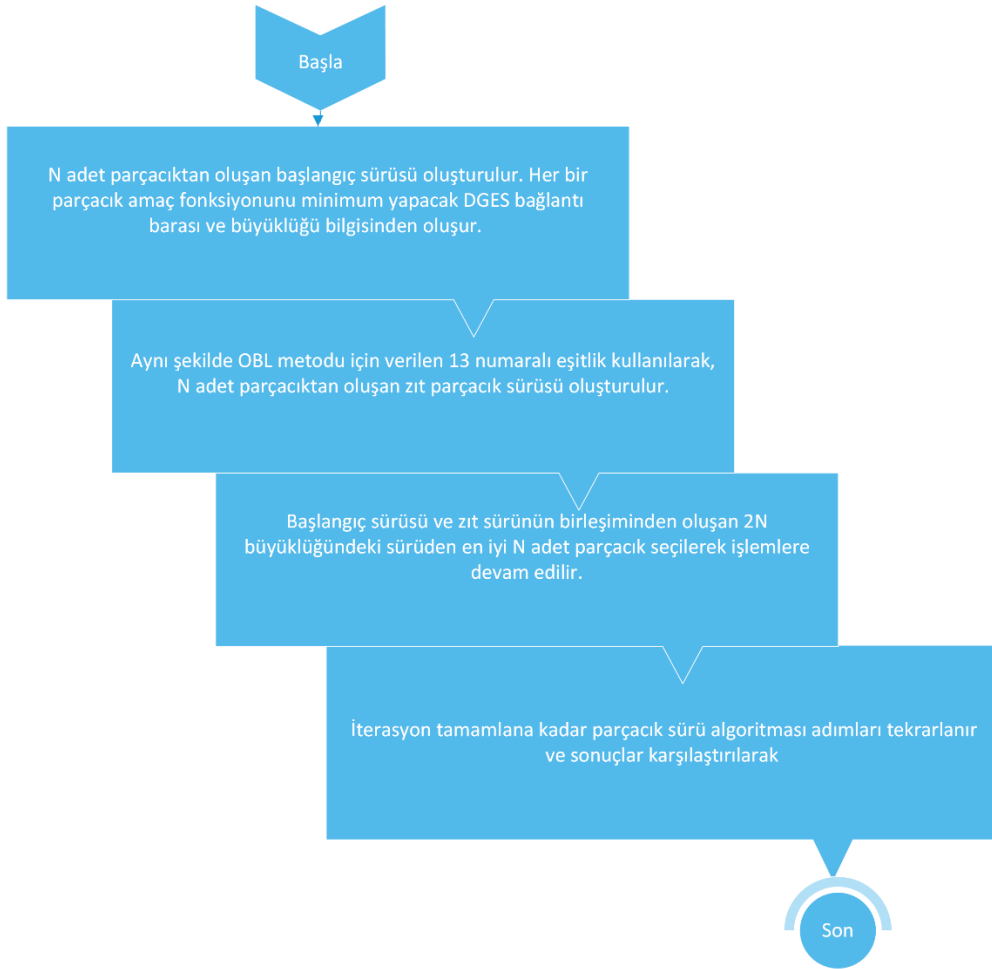
OBPSO yönteminin DGES optimum büyüklük ve yer buluma etkinliğini göstermek için, Intel® Core™ i7-3630QM CPU @ 2.40GHz 8GB RAM Windows 8.1 üzerine kurulu bir bilgisayar kullanılmıştır. MATLAB kullanılarak simülasyonlar ve optimizasyon sonuçları elde edilmiştir. IEEE 33 baralı dağıtım sistemi OBPSO yönteminin etkinliğini göstermek için kullanılan standart test sistemidir. Test sistemi

yük akış sonuçlarını elde etmek için Zimmerman ve arkadaşları tarafından geliştirilen MATPOWER paket programı kullanılmıştır [23]. PSO ve OBPSO için parçacık sayısı 50, iterasyon sayısı 100 olarak seçilmiştir. Sisteme eklenecek DGES'lerin güçlerinin maksimum 2MW olduğu ve birim güç faktöründe ($pf=1$) işletildiği varsayılmıştır.

Önerilen yöntemin etkinliğini göstermek için IEEE 33 baralı dağıtım sistemi kullanılarak aşağıdaki iki durum ele alınmıştır.

Durum 1: Başlangıç yani DGES ilavesinin olmadığı durum için aktif güç kaybı, gerilim değişimi ve duyarlılık analizi değerlerinin elde edilmesi.

Durum 2: 3 adet DGES ilavesi ile aktif güç kaybı, gerilim değişimi ve duyarlılık faktörü değişimlerinin elde edilmesi.



Şekil 2. OBPSO akış şeması

A. TEST SİSTEMİ SONUÇLARI

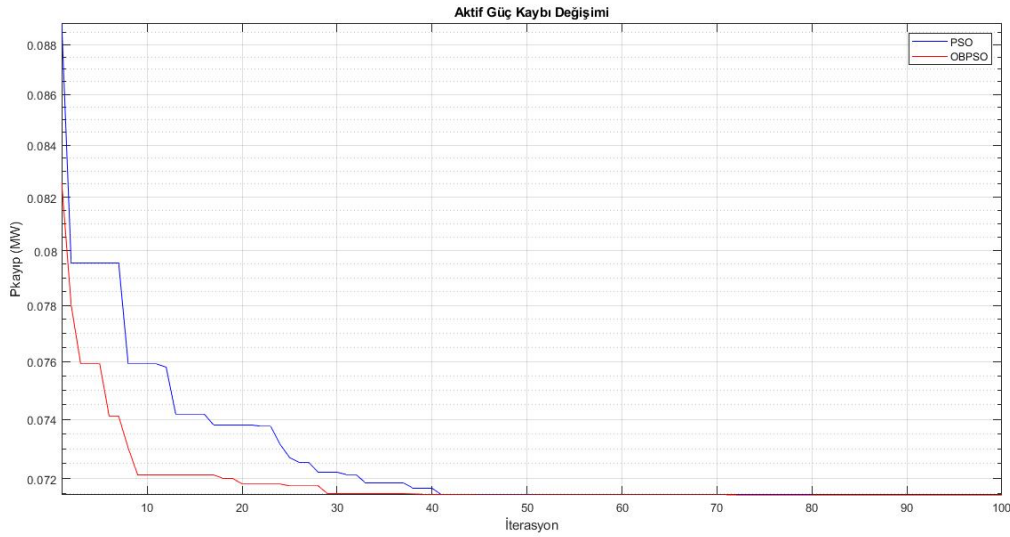
A. 1. Durum 1 Sonuçları

IEEE 33 baralı test sistemi radyal dağıtım sistemidir. 3.715 MW aktif ve 2.3 MVAR reaktif yüke sahip bir sistemdir. Başlangıç durumu için 211 kW aktif güç kaybına sahiptir. Gerilim değişim değeri 0.1171, duyarlılık analizi ise 4.0807 olarak elde edilmiştir. Bara ve hat bilgileri için MATPOWER paket programı ve literatürdeki önemli bir kaynaktan yararlanılmıştır.

A. 2. Durum 2 Sonuçları

Bu durumda sisteme 3 adet DGES ilavesi planlanmıştır. Sisteme eklenecek dağıtık üretim birimleri birim güç faktörü ile işletilmektedir. 3 adet DGES ilavesi seçilme nedeni literatürde bulunan diğer uygulamalarla karşılaştırma yaparak OBPSO yönteminin etkinliğini gösterebilmek içindir. Karşılaştırmalar, Genetik algoritma [20], Teaching–Learning Based Optimization (TLBO) ve Quasi Opposition Teaching–Learning Based Optimization (QOTLBO) çalışmaları ile yapılmıştır [26]. Optimizasyon algoritması için amaç fonksiyonları tekildir ve sırasıyla DGES ilavesi yapılarak sonuçlar elde edilmiştir.

İlk olarak, birinci amaç fonksiyonu aktif güç kaybı minimizasyonu seçilmiştir. DGES’lerin optimum büyüklükleri ve yerleri önerilen OBPSO metodu kullanılarak elde edilmiştir. Başlangıç durumunda dağıtım sisteminin toplam 211 kW aktif güç kaybına sahiptir. 3 adet DGES’in dağıtım sistemine ilave edilmesiyle, başlangıç durumuna göre aktif güç kayıplarında %66.13’lük iyileşme sağlanarak 71.457 kW’a kadar gerileme sağlanmıştır. OBPSO metodu ile aktif güç kayıplarını minimum değere getirmek için 24, 14, 30 numaralı baralar ve 1.09944, 0.75398, 1.07142 MW güçleri optimum değerler olarak bulunmuştur. DGES ilavesiyle aktif güç kaybında meydana gelen olumlu değişim Şekil 3’te net olarak görülmektedir. Elde edilen sonuçlar ise Tablo 1’de verilmiştir. Başlangıç durumu aktif güç kaybı 211 kW iken, bu değer, TLBO metodu ile %64.19 azalarak 75.540 kW’a, QOTLBO metodu ile % 50.99 azalarak 103.409 kW’a, GA metodu ile %49.62 azalarak 106.30 kW’a düşmüştür. Önerilen OBPSO metodu ile ise % 66.13 azalarak 71.475 kW değerine düşmüştür. PSO algoritması önerilen OBPSO yöntemine benzer sonuç vermiştir.



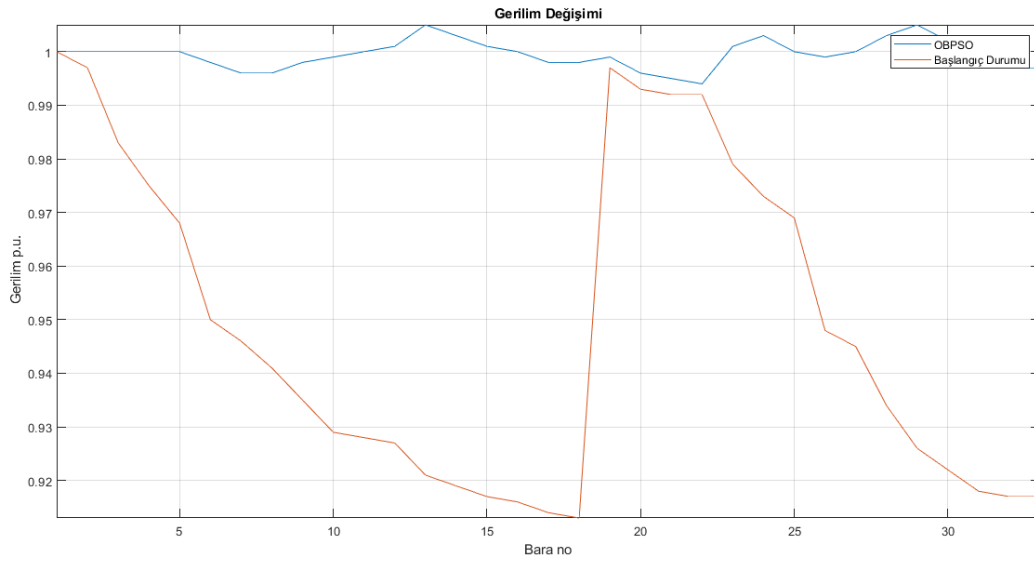
Şekil 3. IEEE 33 baralı sistem aktif güç kaybı değişimi

Tablo 1. 3 adet DGES ile aktif güç kaybı değişimi

	Başlangıç Durumu	TLBO [26]	QOTLBO [26]	GA [20]	PSO	OBPSO
Toplam kayıplar (kW)	211	124.695	103.409	106.30	71.457	71.457
Azalma (%)		40.9	50.99	49.62	66.13	66.13
DGES büyüklüğü (MW)		1.1826	1.0834	1.5	0.75398	1.09944
(Bara no)		(12)	(13)	(11)	(14)	(24)
		1.1913	1.1876	0.4228	1.07142	0.75398

(28)	(26)	(29)	(30)	(14)
1.1863	1.1992	1.0714	1.09944	1.07142
(30)	(30)	(30)	(24)	(30)

İkinci olarak, gerilim değişimi minimizasyonu amaç fonksiyonu kullanılmıştır. İlave edilecek DGES'ler için optimum büyüklükler ve yerleri OBPSO metodu ile 13, 24, 29 numaralı baralar ve sırasıyla 1.06839, 1.51092, 2 MW olarak elde edilmiştir. Başlangıç durumuna göre gerilim değişiminde %81'lik bir azalma meydana gelerek 0.000223 değerine gerilemiştir. DGES ilavesiyle başlangıç durumuna göre bara gerilimlerinde meydana gelen değişim Şekil 4'te görülmektedir. Elde edilen sonuçlar Tablo 2'de verilmiştir. Gerilim değişimleri, TLBO ve QOTLBO yöntemleriyle % 99.06'lık bir iyileşme sağlanarak 0.0011'e gerilemiştir. GA metodu ile ise % 65.24'lük bir iyileşme sağlayarak 0.0407'e gerilemiştir. Önerilen OBPSO yöntemi karşılaştırıldığı diğer yöntemlere göre daha iyi sonuç vermiştir.



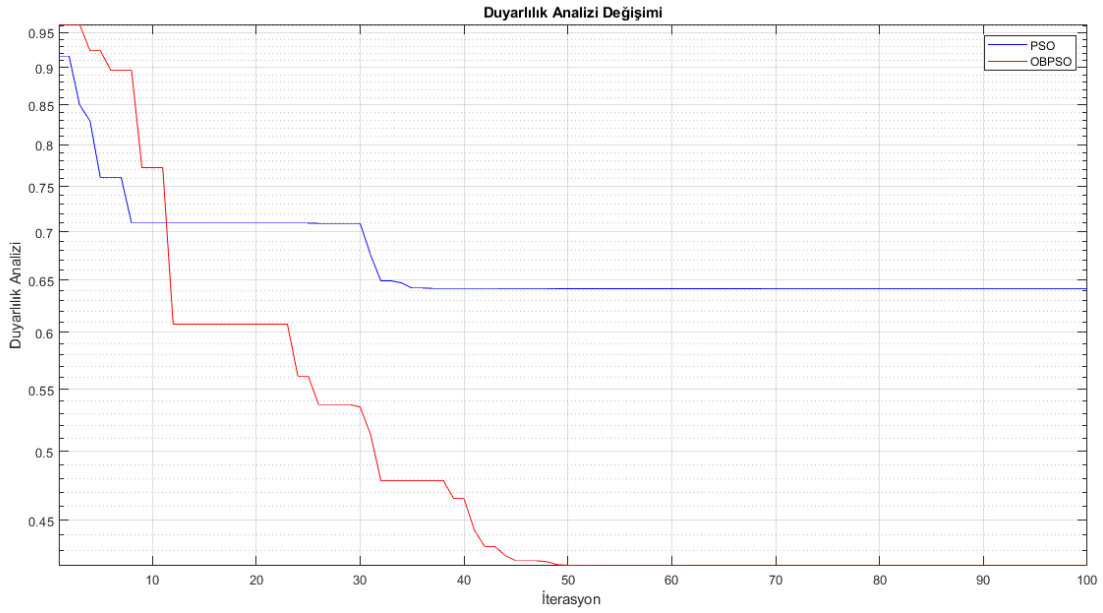
Şekil 4. IEEE 33 baralı sistem gerilim değişimi

Tablo 2. 3 adet DGES ile gerilim değişimi

	Başlangıç Durumu	TLBO [26]	QOTLBO [26]	GA [20]	OBPSO
Gerilim değişimi Azalma (%)	0.1171	0.0011	0.0011	0.0407	0.000223
		99.06	99.06	65.24	99.81
DGES büyüklüğü (MW)		1.1826	1.0834	1.5	1.06839
(Bara no)		(12)	(13)	(11)	(13)
		1.1913	1.1876	0.4228	1.51092
		(28)	(26)	(29)	(24)
		1.1863	1.1992	1.0714	2
		(30)	(30)	(30)	(29)

En son amaç fonksiyonu olarak duyarlılık analizi minimizasyonu seçilmiştir. İlave edilecek DGES'ler için optimum büyüklükler ve yerleri OBPSO yöntemi ile 33, 22, 18 numaralı baralar ve sırasıyla 1.43302, 2, 1.32982 MW güç değerleri olarak belirlenmiştir. Başlangıç durumuna göre duyarlılık analizi %89.71'lik bir azalma meydana gelerek 0.41976 değerine gerilemiştir. PSO algoritması ile 1, 18, 33 numaralı baralar ve sırasıyla 0.932923, 1.85347, 1.18782 MW güçleri optimum değerler olarak bulunmuştur. Bu değerler ile PSO algoritması %86.28'lik bir iyileşme sağlamıştır. Burada önerilen yöntem yine PSO algoritmasına göre daha iyi sonuç vermiştir. DGES ilavesiyle iterasyon boyunca

duyarlılık analizinde meydana gelen değişim Şekil 5'te görülmektedir. Elde edilen sonuçlar Tablo 3'te verilmiştir.



Şekil 5. IEEE 33 baralı sistem DA değişimi

Tablo 3. 3 adet DGES ilavesi ile duyarlılık analizi değişimi

	Başlangıç Durumu	PSO	OBPSO
Duyarlılık analizi Azalma (%)	4.0807	0.64155	0.41976
DGES büyüklüğü (MW)		0.932923	1.43302
(Bara no)		(1)	(33)
		1.85347	2
		(18)	(22)
		1.18782	1.32982
		(33)	(18)

Durum 2 ile elde edilen sonuçlardan görüleceği üzere, OBPSO karşılaştırıldığı diğer yöntemlere göre aktif güç kayıplarını, gerilim değişimini ve duyarlılık analizini azaltmada daha iyi performans göstermiştir. Önerilen OBPSO yönteminin karşılaştırıldığı yöntemlere nazaran daha verimli bir yöntem olduğu görülmüştür.

V. SONUÇ

Bu çalışmada, dağıtım şebekelerine DGES ilavesinin yapılacağı durumlar için, optimum değerlerin OBPSO yönteminin kullanılarak bulunması önerilmektedir. Önerilen yöntem, yeni, uygulaması kolay ve verimli bir yöntem olarak ön plana çıkan OBPSO algoritması kullanımınıdır. Yöntem, parçacık sürü optimizasyon algoritmasının (PSO) zıtlık tabanlı öğrenme ile geliştirilmesi ile oluşturulmuştur. Çalışma kapsamında birim güç faktörü ile işletilen 3 adet DGES eklendiği durumlar çalışılmış ve sonuçları

karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmalar, optimum büyüklük ve yer dikkate alınarak yapılan çalışmalarda belirlenen amaç fonksiyonları için sistem performansının arttığını göstermektedir.

Yük değişim durumlarını dikkate alarak duyarlı baraların belirlenmesine yarayan duyarlılık analizi yeni bir yöntem olarak önerilmiştir. Çalışma ile duyarlılık analizi yeni bir amaç fonksiyonu olarak kullanılmış ve bu sayede yük değişimlerini dikkate alan optimum değerler elde edilmiştir. Önerilen OBPSO metodu literatürde bulunan diğer çalışmalarla da karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonuçlarına göre aktif güç kaybı, gerilim değişimi ve duyarlılık analizi minimizasyonu için OBPSO diğer çalışmalara göre daha iyi sonuç vermiştir. Gelecek çalışmalar için, OBPSO verimli bir optimizasyon aracı olarak optimum kapasitör yerleştirme, reaktif güç optimizasyonu gibi elektrik güç sistemleri ile ilgili diğer optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılabilecek bir yöntem olarak önerilmektedir.

TEŞEKKÜR: Değerli destek ve faydalı eleştirilerinden dolayı Sayın Dr. Talha Enes Gümüş'e teşekkür ederiz.

VI. KAYNAKLAR

- [1] J. L. "Sawin *et al.*, *Renewables 2013. Global status report 2013.* ; Renewable Energy Policy Network for the 21st Century - REN21, 15 rue de Milan, 75441 Paris Cedex 9 (France), 2013.
- [2] J. Von Appen, M. Braun, T. Stetz, K. Diwold, and D. Geibel, "Time in the sun: the challenge of high PV penetration in the German electric grid," *IEEE Power and Energy magazine*, vol. 11, no. 2, pp. 55-64, 2013.
- [3] G. Pepermans, J. Driesen, D. Haeseldonckx, R. Belmans, and W. D'haeseleer, "Distributed generation: definition, benefits and issues," *Energy policy*, vol. 33, no. 6, pp. 787-798, 2005.
- [4] Ö. Alkan, A. Öztürk, S. Tosun, "Rüzgar ve Güneş santrallerinde kısa dönem enerji üretim tahmini için matematiksel modellerin oluşturulması," *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, vol. 6, no. 1, pp. 188-195, 2018.
- [5] A. Peker, N. Yörükeren, and A. B. Arsoy, "Dağıtım Sisteminde Harmonik Analizi ve Etkilerinin Dağıtılmış Üretim Kullanılarak Azaltılması," *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, vol. 5, no. 1, pp. 23-33.
- [6] D. Q. Hung, N. Mithulanathan, and R. Bansal, "Analytical expressions for DG allocation in primary distribution networks," *IEEE Transactions on energy conversion*, vol. 25, no. 3, pp. 814-820, 2010.
- [7] J. Subrahmanyam and C. Radhakrishna, "Distributed generator placement and sizing in unbalanced radial distribution system," *International Journal of Electrical Power and Energy Systems Engineering*, vol. 2, no. 4, pp. 232-239, 2009.
- [8] N. Acharya, P. Mahat, and N. Mithulanathan, "An analytical approach for DG allocation in primary distribution network," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 28, no. 10, pp. 669-678, 2006.
- [9] T. Gözel and M. H. Hocaoglu, "An analytical method for the sizing and siting of distributed generators in radial systems," *Electric power systems research*, vol. 79, no. 6, pp. 912-918, 2009.

- [10] I. Pisica, C. Bulac, and M. Eremia, "Optimal distributed generation location and sizing using genetic algorithms," in *2009 15th International Conference on Intelligent System Applications to Power Systems*, 2009: IEEE, pp. 1-6.
- [11] M. KN and J. EA, "Optimal integration of distributed generation (DG) resources in unbalanced distribution system considering uncertainty modelling," *International Transactions on Electrical Energy Systems*, vol. 27, no. 1, p. e2248, 2017.
- [12] A. Mohanty and P. Modi, "Optimal location and sizing of distributed generation in a power distribution system," *Cogeneration and Distributed Generation Journal*, vol. 25, no. 4, pp. 20-39, 2010.
- [13] S. Mahajan and S. Vadhera, "Optimal location and sizing of distributed generation unit using human opinion dynamics optimization technique," *Distributed Generation & Alternative Energy Journal*, vol. 33, no. 2, pp. 38-57, 2018.
- [14] A. Y. Abdelaziz, Y. G. Hegazy, W. El-Khattam, and M. M. Othman, "Optimal planning of distributed generators in distribution networks using modified firefly method," *Electric Power Components and Systems*, vol. 43, no. 3, pp. 320-333, 2015.
- [15] M. Pesaran, A. A. Mohd Zin, A. Khairuddin, and O. Shariati, "Optimal sizing and siting of distributed generators by a weighted exhaustive search," *Electric Power Components and Systems*, vol. 42, no. 11, pp. 1131-1142, 2014.
- [16] G. Chen, L. Liu, Y. Guo, and S. Huang, "Multi-objective enhanced PSO algorithm for optimizing power losses and voltage deviation in power systems," *COMPEL: The International Journal for Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering*, 2016.
- [17] E. Ali, S. Abd Elazim, and A. Abdelaziz, "Ant lion optimization algorithm for renewable distributed generations," *Energy*, vol. 116, pp. 445-458, 2016.
- [18] A. Y. Abdelaziz, R. A. Osama, and S. M. Elkhodary, "Distribution systems reconfiguration using ant colony optimization and harmony search algorithms," *Electric Power Components and Systems*, vol. 41, no. 5, pp. 537-554, 2013.
- [19] E. Haesen, J. Driesen, and R. Belmans, "Robust planning methodology for integration of stochastic generators in distribution grids," *IET Renewable power generation*, vol. 1, no. 1, pp. 25-32, 2007.
- [20] M. H. Moradi and M. Abedini, "A combination of genetic algorithm and particle swarm optimization for optimal DG location and sizing in distribution systems," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 34, no. 1, pp. 66-74, 2012.
- [21] K. H. Kim, K. B. Song, S. K. Joo, Y. J. Lee, and J. O. Kim, "Multiobjective distributed generation placement using fuzzy goal programming with genetic algorithm," *European Transactions on Electrical Power*, vol. 18, no. 3, pp. 217-230, 2008.
- [22] V. Matlab, "7.10. 0 (R2010a)," *The MathWorks Inc., Natick, Massachusetts*, 2010.
- [23] R. D. Zimmerman, C. E. Murillo-Sánchez, and R. J. Thomas, "MATPOWER: Steady-state operations, planning, and analysis tools for power systems research and education," *IEEE Transactions on power systems*, vol. 26, no. 1, pp. 12-19, 2010.
- [24] J. Kennedy and R. Eberhart, "Particle swarm optimization," in *Proceedings of ICNN'95-international conference on neural networks*, 1995, vol. 4: IEEE, pp. 1942-1948.

- [25] H. R. Tizhoosh, "Opposition-based learning: a new scheme for machine intelligence," in *International conference on computational intelligence for modelling, control and automation and international conference on intelligent agents, web technologies and internet commerce (CIMCA-IAWTIC'06)*, 2005, vol. 1: IEEE, pp. 695-701.
- [26] S. Sultana and P. K. Roy, "Multi-objective quasi-oppositional teaching learning based optimization for optimal location of distributed generator in radial distribution systems," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 63, pp. 534-545, 2014.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Tarihi Yapılarda Avlunun Üst Örtü ile Kapatılmasının Değerlendirilmesi

 Hicran Hanım HALAÇ^a,  Özgecan CANARSLAN-TAKTAK^{b*}

^a Eskişehir Teknik Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Eskişehir, TÜRKİYE

^b Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Eskişehir, TÜRKİYE

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

DOI: 10.29130/dubited.952595

ÖZ

Tarihi eserlerin korunması, kültürel ve tarihsel belleğin aktarımına katkıda bulunarak toplum kimliğinin oluşmasında ve devamlılığının sağlanmasında önemli yer tutmaktadır. Tarihi yapıların restorasyonu sırasında veya sonrasında yapının yeni işlevine uyum sağlaması veya kullanıcı ihtiyaçlarını karşılaması için çağdaş ekler yapılabilmektedir. Bu ekler yapıldıktan sonra karşılaşılabilecek sorunları en aza indirmek için, tasarım aşamasında yapıya etkilerinin ortaya konulması gerekmektedir. Bu çalışmada son yıllarda tarihi yapılarda sıklıkla görülen açık avluların kapatılması uygulamaları ele alınmaktadır. Medrese ve hanlarda görülen avluların üst örtü ile kapatılmasında karşılaşılan sorunların ortaya konulması amaçlanmaktadır. Çalışma kapsamında Kütahya'da bulunan İshak Fakih Medresesi ve Afyonkarahisar'da bulunan Taşhan üzerinden yapılan okumalarla uygulama sonrasında karşılaşılan sorunlar değerlendirilmektedir. Bu değerlendirmeler doğrultusunda bundan sonra yapılacak uygulamalara yol göstermesi amacıyla öneriler geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tarihi yapı, Üst örtü, Çağdaş Ek, Avlu, Medrese.

Evaluation of Covering the Counter with Top Cover in Historical Buildings

ABSTRACT

Preservation of historical artifacts plays an important role in the formation and continuity of social identity by contributing to the transfer of cultural and historical memory. During or after the restoration of historical buildings, contemporary additions can be made to adapt to the new function of the building or to meet the needs of the user. In order to minimize the problems that can be encountered after these additions are made, it is necessary to reveal their effects on the structure at the design stage. The applications of closing open courtyards, which are frequently seen in historical buildings in recent years, are discussed in this study. The aim of the study is to reveal the problems encountered in covering the courtyards in madrasas and inns with a top cover. Within the scope of the study, the problems encountered after the application are evaluated with the readings made through İshak Fakih Madrasah in Kütahya and Taşhan in Afyonkarahisar. In line with these evaluations, suggestions have been developed to guide future practices.

Keywords: Historical building, Cover, Contemporary work, Courtyard, Madrasah.

I. GİRİŞ

İnsanoğlu yaptığı eserleri ve bulunduğu zamana ait izleri geleceğe taşımak için yapıtlarını koruması gerektiğini fark etmiştir. Korumaya yönelik yaklaşımlar döneminin sosyal, siyasal ve ekonomik durumuna göre her devirde farklılık gösterse de toplumların geçmişine ve geleceğe değer vermeye başlamasından sonra koruma kavramı da gelişim göstermiştir [1].

Milattan önceki dönemde yalnızca kutsal mekanların korunmasına önem verilirken, özellikle Avrupa’da 18. yüzyılda korumaya yönelik çabaların arttığı, 19. yüzyılda restorasyon çalışmalarının hız kazandığı ve üniversitelerde koruma kürsülerinin açılmasıyla bilimsel yaklaşımların oluşmaya başladığı görülmektedir [1]. 19. Yüzyıldaki çalışmaların devamı olarak 20. yüzyıldan itibaren de koruma bir disiplin haline gelmiş, 1964 yılında yayınlanan Venedik Tüzüğü de kültür varlıklarının korunması ve restorasyonuna ait uluslararası bir belge olarak kabul görmüştür [1].

Yapı malzemelerindeki teknolojilerin gelişmesine paralel olarak restorasyon uygulamalarında çağdaş malzeme kullanımı da sıklıkla görülmeye başlanmıştır. Tarihi yapılarda çağdaş malzeme kullanımı ve ek yapıyı ile ilgili müdahalelere ilişkin kararlar uluslararası sözleşme ve tüzüklerde belirlenmiştir. Venedik Tüzüğü (1964) Madde 10’a göre “Geleneksel tekniklerin yetersiz kaldığı yerlerde, koruma ve inşa için bilimsel verilerle ve deneylerle geçerliliği saptanmış herhangi çağdaş bir teknik kullanılarak kültür varlığı sağlanabilir” [2]. Icomos Geleneksel Mimari Miras Tüzüğü (1999) Koruma İlkeleri, ikinci maddesi “Geleneksel yapılara, yapı gruplarına ve yerleşmelere yapılacak çağdaş müdahaleler onların kültürel değerlerine ve geleneksel karakterlerine saygı göstermelidir” der [3]. Aynı tüzüğün Uygulama İlkeleri dördüncü maddesinde ise “Malzeme ve mimari öğelerin değiştirilmesi, yenilenmesi: Çağdaş kullanım isteklerinin zorladığı ve kabul edilebilir değişimler bütünü genel ifadesine uyumlu, görünüş, doku ve biçim yönünden aykırı olmayan malzemelerle yapılmalı; yapı malzemelerin birbiriyle uyumuna özen gösterilmelidir” şeklindedir [3].

Türkiye’de tarihi yapıların korunması ile ilgili konularda Osmanlı döneminde Hassa mimarları görevlendirilmiş, ilk kurumsal düzenleme 1868 yılında Osman Hamdi Bey öncülüğünde Asar-ı Atika Nizamnamesi ile başlamış, 1912 yılındaki Anıtları Koruma Yasası ile cezai şartlar gündeme gelmiştir [1]. Cumhuriyet’in kurulması sonrasında, 1935 yılında kabul edilen 2762 sayılı Vakıflar Kanunu ile taşınmaz kültür varlıklarının korunması konusunda ilk mevzuat olarak yayınlanmış, son olarak da 2008 yılında 5737 sayılı yeni Vakıflar Kanunu uygulanmaya başlanmıştır [4]. Bu düzenlemelerden önce yeterli maddi kaynak olmaması sebebiyle taşınmaz kültür varlıklarının onarımına gerekli önem verilememiş, ancak 2008 yılındaki yeni Vakıflar Kanunu ile kültür varlıklarının korunmasına yönelik daha fazla kaynak sağlanmasına imkân yaratılmıştır [4]. Bunun sonucunda da Türkiye’de koruma ve onarım alanında hızlı bir ilerleme gözlenmiştir.

Bu çalışmanın amacı, Türkiye’de bulunan medrese ve hanların avlularındaki üst örtü uygulamalarında kullanılan malzemeleri belirlemek, bu uygulamaların yapım sürecinde ve kullanım aşamasında karşılaşılan sorunları tespit etmek ve bu sorunların ortaya çıkmaması için dikkat edilmesi gereken konuları ortaya koymaktır.

II. MATERYAL VE METOT

Çalışma hazırlanırken literatür taraması yapılmıştır. Bu aşamada kaynaklara ulaşmak için ulusal ve uluslararası veritabanları taranarak konu ile ilgili temel ve önemli çalışmalara ulaşılmıştır. Bu kaynaklarda ‘tarihi yapı ve üst örtü’, ‘tarihi yapı ve yeni ek’, ‘tarihi yapı ve çağdaş ek’ anahtar kelimeleri ile aramalar yapılmıştır. Yabancı kaynaklara ulaşmak için internet taramalarında ‘historical building and glass roof’ anahtar kelimeleri kullanılmıştır.

Literatür taraması sonucunda tarihi yapılarda çağdaş eklerle ilgili dünyada yapılmış örneklerin sunulduğu makalelere ve çağdaş malzemelerin kullanımına değinen makale ve tezlere ulaşılmıştır. Korumaz (2003) yayınında tarihi yapılara ek yapma nedenlerini ortaya koymuş, ülkemizden ve Dünya'dan çağdaş ek ile ilgili örnekler sunarak İstanbul'daki kat ilavesi şeklinde çağdaş ek kullanımını değerlendirmektedir [5]. Kıray ve Karaman (2006) tarihi yapılarda çağdaş çatı eki, saçak, yeni yapı ve geçiş elemanı olarak tasarlanan ekleri Dünya'daki yapılardan örneklemektedir [6]. Bu örnekler kullanım amacı, tarihi yapıyla uyumu ve bağlamı üzerinden incelenmektedir. Kaya (2012) tarihi yapılara uygulanan yeni ekleri İtalya'daki örnek yapılarda çatı ve cephe üzerinden incelemektedir [7]. Bu örnekler kullanım amacı, malzemesi ve yapıya uyumu açısından değerlendirilmektedir. Zakar (2018) tarihi yapı ve ek yapma birleşimi için bir tipoloji çalışması yaparak yapısal bütünleştirme performansını değerlendirme modeli hazırlamıştır [8]. Bu model, ek yapının tasarımı ve mevcut yapının analiz, onarım ve güçlendirmesine de değinen ek yapının yapım aşamalarını içermektedir. Yayın kapsamında 2 farklı yapı için bu model üzerinden alternatifler sunulmaktadır. Del Guerra ve Froli (2009) tarihi bir yapı olan Pisa Üniversitesi Mühendislik Fakültesi'nde bulunan avlunun cam ve çelik strüktür ile kapatılması için bir öneri sunmaktadır [9]. Bu yeni ekin çelik taşıyıcısının yapısal yönden tasarımı ile ilgili analizleri yapılmaktadır. Murgul (2015) yayınında Saint Petersburg'da cam ile kapatılmış avluları gün ışığı performansı ve havalandırma yönünden inceleyerek uygun ortam oluşturmak için öneri ortaya koymaktadır [10].

Ulaşılan kaynaklarda avlu kapama uygulamaları öncesinde malzeme seçiminde dikkat edilmesi gereken kriterleri, tarihi yapıya etkisi veya gerekliliği ile ilgili konuları ele alan yayın bulunamamıştır. Bu nedenle araştırma konusu, tarihi yapılarda avlunun üst örtü ile kapatılması kararı verilirken dikkat edilmesi gerekenler olarak belirlenmiştir. Literatürde tarihi yapılardaki üst örtü uygulamaları ile ilgili bir boşluğu dolduracağı nedeniyle çalışma önem taşımaktadır. Tarihi yapılardaki üst örtü uygulamalarının sorunları ile ilgili kaynak bulunamadığı için çalışma kapsamında yeni yapılardaki çatı örtülerinde karşılaşılan sorunlarla ilgili kaynaklardan faydalanılmıştır.

Araştırmanın kapsamı oluşturulurken amaçsal örnekleme yöntemlerinden, belli niteliklere sahip nesnelere oluşan örneklerin kullanıldığı ölçüt örnekleme yöntemi seçilmiştir. Önceden belirlenen ölçütlere göre yapılan bu araştırma yöntemine uygun olarak avlusu kapatılan hanlar ve medreseler tespit edilmiştir. Çalışma kapsamında detaylı olarak incelenen örnek yapılar için ulaşılabilen kullanıcıları ile görüşmeler yapılmıştır. Kullandıkları yapının avlusunun kapatılması gerekliliği, kullanıcıların ihtiyaçları ve uygulama sonrasında karşılaştıkları sorunlarla ilgili deneyimleri öğrenilerek yapılar ile ilgili değerlendirmeler ortaya konulmuştur.

III. BULGULAR

A. TARİHİ YAPILARDA AVLU KAVRAMI

İnsanoğlunun barınma ihtiyacı karşısında geliştirdiği çözümler sonucunda farklı yapı türleri ve bunları oluşturan farklı mekânlar oluşmuştur. Bu kurgu içinde yer alan avlu mekânı sosyal, kültürel, dinsel, iklimsel ve kullanım amacına göre yapılarda farklı yerlerde ve şekillerde konumlanmış bir alan olarak karşımıza çıkmaktadır.

Avlu, Türk Dil Kurumu sözlüğünde “bir yapının veya yapı grubunun ortasında kalan üstü açık, duvarla çevrili alan, hayat” olarak tanımlanmaktadır [11]. Mimarlık Sözlüğü'nde [12] “bir yapının ya da yapı grubunun ortasında kalan duvarla çevrili alan” olarak belirtilmektedir. Sanat terimleri sözlüğünde “bir yapının veya yapı grubunun ortasında kalan üstü açık, duvarla çevrili alan” şeklinde betimlenmektedir [13]. Farklı kaynaklardaki tanımlarına bakılarak genellikle üstü açık etrafı çevrili olarak tanımlanan avluların üstünün kapalı olduğu ve sadece tek yapı ölçeğinde değil kentsel ölçekte kullanılmalarının da olduğu örneklere rastlanmaktadır. Yapıda bulunduğu konuma göre avlular iç avlu, dış avlu, ön avlu, giriş avlusu ve arka avlu olarak belirlenmektedir [14]. Bunlara ek olarak yanyana iki tane iç avlu şeklinde örnekler de görülmektedir.

Yapılardaki avlu oluşumu, Orta Asya’da dini ve sivil mimaride İslamiyet öncesi ve sonrasında da sevilerek kullanılmıştır [14]. Osmanlı öncesi dönemde Anadolu’da inşa edilen ilk medreselerde avluların kubbe ile örtüldüğü görülse de bu kubbelerin ortasında ışık ve havalandırma için açıklıklar bulunmaktadır [15]. Osmanlı döneminde ise medreselerin çoğunlukla açık avlulu olduğu görülmektedir [15]. Medrese ve hanlarda üstü açık orta avlu sistemini daha sıklıkla görmemize rağmen üstü kapalı, kare, dikdörtgen, sekizgen şekilli, orta alanda veya bir dış duvara bitişik şekilde örneklere ait uygulamalar görülmektedir [14].

Açık ya da kapalı olsun, avlu ortasında havuz ve bitkisel eleman kullanımı da yaygın olarak karşımıza çıkmaktadır. Avludaki bitkisel elemanlar ısı transferine, gölge etkisine, soğuk bölgelerde sıcak iklim bitkilerinin yetişmesine yardımcı olmakta, rüzgârdan korunma ve yalıtım sağlamaktadır [16-bozkurt]. Gündüz ve gece ısı farklılıklarının çokça olduğu bölgelerde ise ısı korunumu sağlarken uygun mikro-klimatik ortam oluşturmaktadır [16].

Farklı işlevlere sahip olan bu yapılardaki avlu oluşumlarının temel sebepleri, doğal aydınlatma ve havalandırma gibi fiziksel özelliklere, iletişim kurmayı sağlama gibi sosyal özelliklere, mahremiyet gibi kültürel özelliklere, ritüellerin, günlük işlerin ve ibadetlerin yapılması gibi farklı fonksiyonlara sahip özelliklerinin olması şeklinde açıklanmaktadır [14]. Avluların; mekanlar arası geçişi sağlayan, iç mekânın kapalı yapısından kurtularak dış mekânla bağlantı kuran, bu açıdan insan psikolojisine de olumlu etkisi olan oluşumları ile tarihsel süreç içinde hem dini hem de sivil mimaride çokça kullanıldığı görülmektedir.

B. AVLULARIN ÜST ÖRTÜ İLE KAPATILMASI


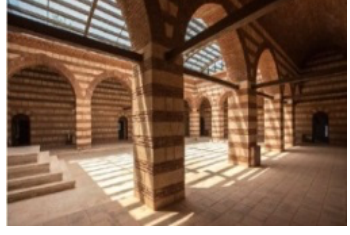




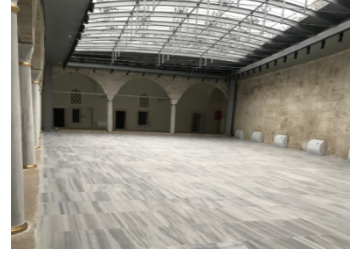

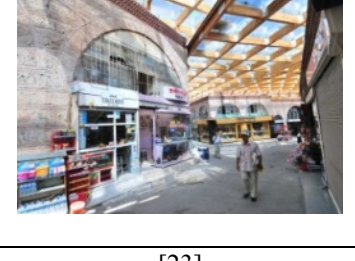
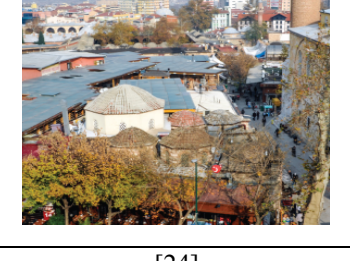


Tarihsel gelişimine baktığımız medrese ve hanlarda çoğunlukla üstü açık avlu uygulamaları tespit edilmektedir. Günümüzde bu tür tarihi yapıların restorasyonu sırasında veya yapının kullanımı devam ederken açık avluların kapatıldığı görülmektedir. Tarihi yapılardaki çağdaş eklerin Venedik Tüzüğü (1964)’nün onarım ile ilgili 13. maddesinde de belirtildiği üzere “ancak yapının ilgi çekici bölümlerine, geleneksel konumuna, kompozisyonuna, dengesine ve çevresiyle olan bağıntısına zarar gelmediği durumlarda izin verilebilir” [2]. Dolayısıyla, tarihi yapı için tasarlanan çağdaş ek uygulaması öncesinde bu uygulamanın gerekliliği, kullanılacak malzemenin özellikleri, yapıya vereceği zararların en aza indirgenmesi, tarihi dokuya ve yapıya uyumu gibi konular detaylı olarak düşünülmeli, sonrasında uygulamaya geçilmelidir.

B.1. Avluların Üst Örtü İle Kapatılmasının Gerekçeleri





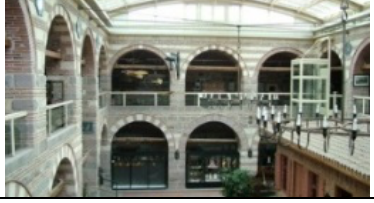





Avluyla ilgili yapılan tanımlardan yola çıkarak, avluların farklı işlevleri, boyutları ve yapı bütününde farklı konumları olmasına rağmen genellikle etrafı çevrili ve üstü açık dış mekânlar olarak betimlenmekte, zaman içinde üstlerinin kapatıldığı ve farklı mekân kimliğine büründükleri görülmektedir [14]. Günümüzde sorunlar veya ihtiyaçlar karşısında hızlı ama kalıcı olmayan çözümler görülürken, bunun yerine sahip olduğumuz değerlerin korunmasına, bunu gerçekleştirirken geleceğe dönük olası sonuçların gözönünde bulundurularak değerlendirme yollarının aranması bir zorunluluk olarak karşımıza çıkmaktadır [17].

Tarihi yapılar zaman içinde işlevini kaybetmiş olsa da yapısal olarak sürekliliğine devam edebilmesi için farklı işlev yüklenerek yeniden hayatın içine alınabilmektedir. Yeniden işlevlendirilen yapının gereksinimine uygun olarak da açık avlusunu kapatma gereksinimi duyulabilmektedir. Örneğin, bir medresenin avlusu kafeterya olarak işlevlendirilmesi düşünülürse soğuk ve yağışlı günlerde kullanımı mümkün olamayacaktır. Hava koşullarından korunmak amacıyla üstü kapatılan avlular, sonrasında iç mekân gibi kullanılmaya başlanmaktadır. İklim kontrolünün sağlanması bunun yanında gün ışığından da faydalanılıyor olması gibi nedenlerle kapatılan avlular, açık avlulardan daha çok tercih edilen bir alan olarak görülmektedir.

Tablo 1. Avlusu kapatılan medrese örnekleri

1	Bursa Bayezid Paşa Medresesi Yapım yılı: 1400'lerin başı Restorasyon Yılı: 2016 Avlu Örtü Malzemesi: Cam Örtü Sistemi Strüktürü: Ahşap		
		[18]	[19]
2	Bursa Gökdere Medresesi Yapım yılı: 1500'lerin başı Restorasyon Yılı: 2007 Avlu Örtü Malzemesi: Cam Örtü Sistemi Strüktürü: Çelik		
		[20]	[20]
3	Kütahya İshak Fakih Medresesi Yapım yılı: 1422 Restorasyon Yılı: 2011 Avlu Örtü Malzemesi: Polikarbonat Örtü Sistemi Strüktürü: Çelik		
		[21]	[21]
4	İstanbul Kuyucu Murat Paşa Medresesi Yapım yılı: 1610 Restorasyon Yılı: 2016 Avlu Örtü Malzemesi: Cam Örtü Sistemi Strüktürü: Halat taşıyıcılı çelik		
		[22]	[22]
5	Bursa Mahkeme (Vaiziye) Medresesi Yapım yılı: 1425 Restorasyon Yılı: 2015 Avlu Örtü Malzemesi: Cam Örtü Sistemi Strüktürü: Ahşap		
		[23]	[24]
6	İstanbul Sultanahmet Medresesi Yapım yılı: 1617 Restorasyon Yılı: 2013 Avlu Örtü Malzemesi: Polikarbonat Örtü Sistemi Strüktürü: Çelik		
		[25]	[26]

Tablo 2. Avlusu kapatılan han örnekleri

1	<p>Malatya Arapgir Tarihi Millet Hanı Yapım yılı: 1850 Restorasyon Yılı: 2011 Avlu Örtü Malzemesi: Polikarbonat Örtü Sistemi Strüktürü: Çelik</p>		
		[27]	[27]
2	<p>Sivas Behram Paşa Hanı Yapım yılı: 1576 Restorasyon Yılı: Avlu Örtü Malzemesi: Cam Örtü Sistemi Strüktürü: Çelik</p>		
		[28]	[29]
3	<p>Ankara Çengelhan Yapım yılı: 1522 Restorasyon Yılı: 2005 Avlu Örtü Malzemesi: Cam Örtü Sistemi Strüktürü: Çelik</p>		
		[30]	[31]
4	<p>Kastamonu Kurşunlu Han Yapım yılı: 1461 Restorasyon Yılı: 2008 Avlu Örtü Malzemesi: Cam Örtü Sistemi Strüktürü: Çelik</p>		
		[32]	
5	<p>Afyonkarahisar Taşhan Yapım yılı: 1278 Restorasyon Yılı: 2018 (avlu örtüsü:2019) Avlu Örtü Malzemesi: Polikarbonat Örtü Sistemi Strüktürü: Çelik</p>		
		[33]	
6	<p>İstanbul Yeni Han Yapım yılı: 1764 Restorasyon Yılı: 2019 Avlu Örtü Malzemesi: Cam Örtü Sistemi Strüktürü: Çelik</p>		
		[34]	[34]

Önceleri ticaretin yapıldığı yer olan hanların yerine, son yıllarda kapalı alışveriş merkezlerinin (AVM'lerin) tüm ticaret ve alışveriş işlevini karşılar duruma gelmesiyle birlikte insanların konfor algıları ve istekleri de farklılaşmaya başlamıştır. Medrese ve hanlarda avluların üstünün kapatılmaya başlandığı uygulamalar da AVM'lerin yükselişe geçtiği 2000'li yıllardan itibaren oldukça fazla görülmektedir. Bu dönüşümün artma sebepleri;

- tarihi yapılara yeni işlev verilmesi
- restore edilen tarihi yapılarda ilave alan ihtiyacı olması
- restorasyon çalışmaları için yeni bütçe imkanlarının sağlanması
- tarihi yapıların alışveriş merkezlerine öykünmesi şeklinde düşünülmektedir.

B.2. Medrese ve Hanlarda Avlunun Üst Örtü ile Kapatıldığı Örnekler

Genellikle hanlar, medreseler ve çarşılarda açık olan orta alanların kapatılması şeklinde gördüğümüz üst örtü uygulamaları, saray, kışla, cami gibi farklı yapı türlerinde de zaman zaman görülmektedir. Hanlar ve medreselerde uygulanan üst örtülerde avlular kapatılarak çoğunlukla iç mekân şeklinde kullanıma hizmet etmesi beklenirken, çarşılarda sadece açık olan alanın üstü kapatılarak yanlarda, giriş ve çıkışlarda açıklıklar kalmaktadır. Bu durumda üst örtü çarşılarda yağıştan korunmaya yararken ısınma, havalandırma, nem, akustik gibi iç ortam koşullarının kontrolünü sağlamamaktadır. Çarşılarda iç ortam koşulları oluşmadığından çalışma kapsamı dışında tutularak, avlusunda üst örtü uygulaması yapılan hanlar ve medreseler incelenmiştir. Taramalar sonucunda han ve medreselerden avlusu kapatılan altı adet medrese ve altı adet hana ulaşılmış ve bu yapılar çalışma kapsamına alınmıştır. Yapıların yapım yılları, restorasyon tarihleri ve avlu üst örtü malzemeleri oluşturulan tablolarda belirtilmiştir (Tablo 1–2). Çalışma kapsamındaki incelemeler sonucunda, tarihi yapılardaki avluların kapatıldığı uygulamalarda örtü malzemesi olarak 8 yapıda cam, 4 yapıda polikarbonat levha, taşıyıcı olarak da 9 yapıda çelik, 1 yapıda çelik halat ve 2 yapıda da ahşap kullanıldığı görülmektedir.

C. AVLULARIN ÜST ÖRTÜ İLE KAPATILMASINDA KARŞILAŞILAN SORUNLAR

Yapının üst örtüsü yapıyı dış ortam koşullarından koruyan, yapıyı sınırlayan ve yapının formunu biçimsel olarak tamamlayan en önemli yapı bileşenlerinden biri olarak bilinmektedir [35]. Günümüzde gelişen malzeme, teknoloji ve detay çözümleri sayesinde konfor ihtiyaçları ve estetik gereksinimleri karşılayabilen çatı çözümleri mümkün olmaktadır [36].

Tüm detayları, teknolojisi, özellikleri göz önüne alınarak tasarlanan ve hesapları yapıp uygulanan yeni çatı örtülerinde bile sorunlar ortaya çıkarken, yüzyıllardır kendi kendine ayakta durmayı başarmış tarihi yapılara yeni bir sistemi entegre etmek çok daha özenli bir çalışma gerektirmektedir. Bunun için gereksinimler ortaya konulmalı, analizler yapılmalı, olası sorunlar belirlenmeli ve çözümü için gerekli çalışmalar yapılmalı, bunların sonucuna uygun uygulamalar gerçekleştirilmelidir.

Literatür taraması sonucunda çağdaş ek kapsamındaki avlu kapama uygulamaları ile ilgili sorunlar, strüktürel, uygulama, bakım, iç ortam koşullarına etkisi, görsel algı ile yatırım ve işletme maliyeti olarak belirlenmiş ve bu alt başlıklar altında incelenmiştir.

C.1. Strüktürel

Yeni yapılan bir çatıda, strüktürün ve kaplama malzemesinin birbiriyle uyumlu ve beklenen performans ölçütlerini karşılayabilmeleri beklenmektedir [37]. Ayrıca tarihi yapılar için büyük önem arz eden yangın tehlikesine karşı da oluşumuna ve yayılımına karşı direnç gösterebilir olmasına dikkat edilmelidir [36]. Tarihi yapıdaki uygulamalar için bunların yanında mevcut yapıya getireceği ağırlık ve bunun yapı tarafından nasıl taşınacağı konularının da göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Ayrıca uygulanacak örtü sisteminin olası deprem hareketleri sırasındaki davranışı, kar ve rüzgâr yüklerine dayanımı hesaplanmalı, bunların mevcut yapının sistemine de uyumlu olması gerektiği göz önünde bulundurulmalıdır.

C.2. Uygulama

Bir yapıya ait proje süreci, malzeme seçimi ve detay çözümleri ne kadar titizlikle yapılmış olsa da uygulama aşaması o yapının işlerliği için en önemli aşamasıdır. Doğru ürünlerin seçilmemesi ve/veya doğru detay uygulaması yapılmaması sebebiyle çatının kullanım ömrü kısaltmakta, ilave bakım onarım maliyetleri doğmakta ve aranan konfor koşulları sağlanamamaktadır [35]. Ayrıca uygulamadaki hatalar iç mekân şekline dönüştürülen avludaki ısının dışarı çıkmasına sebep olabilmektedir.

Özellikle tarihi yapıdaki avluya üst örtü tasarlanırken seçilen çağdaş malzemelerin detay çözümleri yeterli olmayabilir. Çünkü mevcut yapıda kullanılan farklı bir malzeme, örneğin bakır çatı kaplaması veya taş duvarla olan birleşimler, günümüzde kullanılan detaylardan daha farklı çözümleri gerektirebilmektedir. Malzemelerin birbirinden farklı çalışması sonucu taşıyıcı sistem ve kaplama malzemesinin birbirinden ayrılması da mümkün olmaktadır. Detay çözümlerinin yetersiz kalması ve uygulamadaki hatalar sonucunda yağmur ve kar suları avludaki üst örtüden yapıya sızmaktadır. Bu durum avluyu kullananlara veya yapının sistemine zarar verebilmektedir.

C.3. Bakım

Üst örtü malzemesi her ne kadar tarihi yapıya uygun olarak seçilse ve uygulaması yapılsa da sistemin yıllar içinde bakım gereksinimi doğacaktır. Asit yağmurları, havada bulunan karbon oksitler, kükürt dioksitler, azot oksitler gibi kirleticiler kaplama malzemesinde yüzey kirlenmelerine neden olmaktadır [37]. Kaplama malzemesinde zaman içinde oluşabilecek çatlaklar, çizilmeler, kırıklar, kaplama yüzeyindeki renk değişimleri, nem, küf ve leke oluşumu gibi deformasyonlara [38] karşı sürekli bakım ve onarım gerekmektedir. Bu bakımlar yapılmadığı zaman örtü sistemi işlevini gerçekleştiremeyecek, bunun sonucunda yapılan yatırım âtil duruma düşecektir. Hatta örtü sisteminin kısa süre içinde değiştirilmesi gerekliliği ortaya çıkmakta, bu da hem yapıya tekrardan hasar verilmesine hem de ekonomik anlamda zarara yol açmaktadır.

C.4. İç Ortam Konfor Şartları

Her yapının konumundan, işlevinden ve tasarımından kaynaklanan kendine özgü konfor koşulları oluşmaktadır [39-bal baykuş]. İklimsel elemanların etkilerini, doğal ışığın ve gürültünün kontrolünü sağlama görevine sahip yeni örtü sisteminin iç ortamda konfor koşullarını sağlaması beklenmektedir [40-güler ve ülkü]. Önceden açık alan olarak kullanılan tarihi yapıdaki avlu mekânının, üst örtü uygulaması sonrasında iç ortam gibi kullanılması söz konusu olmaktadır.

-Isı: Bir mekandaki ısı konfor ASHRAE standardında “kullanıcının ısısal çevreden tatmin olma durumu” olarak tanımlanmaktadır [41]. Fanger’e (1970’den aktaran Örkmez ve Çetiner [41]) göre “aktivite düzeyi (vücuttaki ısı üretimi), kıyafetlerin ısı direnci, hava sıcaklığı, ortalama ışımsal sıcaklık, rölatif hava hızı, ortam havasındaki su buharı basıncı olarak çeşitlenebilen fiziksel etmenler ile ulusal coğrafik konum, yaş, cinsiyet, vücut yapısı, etnik yapı, menstrual döngü, tüketilen yiyecek cinsi, kalp ritmi, ortamda kullanılan renkler, kalabalık şeklinde sıralanabilen kişisel etmenler” ısı konforu etkileyen en önemli parametreler olarak karşımıza çıkmaktadır. Mekândaki sıcaklığı konfor sınırları içinde tutmak için mekânın ısıtma ve soğutma yükleri olarak tanımlanan mekân ısı yükleri belirlenmelidir [42]. Uygulama öncesinde iç ve dış değişkenlere göre kullanıcının ısı konforunun sağlandığı sıcaklık değerleri tespit edilerek, gerekirse simülasyon programlarından alınan desteklerle kullanılacak sistemin uygunluğu belirlenmelidir.

Ülkemizde yapılan uygulamalara göre en çok kullanılan örtü malzemesi olarak karşımıza çıkan cam malzeme seçiminde güneş kontrolü, ışık geçirgenliği, renk ve ışık yansımalarına ilişkin performans kriterleri incelenmesi gerektiği belirtilmektedir [43]. Günümüz koşullarında standart çift camın bile pek çok koşulu sağlayamadığı göz önüne alınarak bunun yerine low-e kaplamalı, film tabakalı, argon gazlı, çok katmanlı cam kombinasyonları kullanılabilir [44]. Güneş ışınım şiddetinin yüksek olduğu aylarda ve bölgelerde, güneş enerjisinin iç ortama iletimini mümkün olduğunca azaltarak, iç

ortamda aşırı ısınma olmasından kaçınmak gerekmektedir [43]. Sıcak mevsimlerde aşırı ısınmadan kaynaklı sera etkisi de iç mekan konfor koşullarını olumsuz etkilemektedir. İç mekandaki ısının kaybını önlemek yanında sıcak mevsimlerde iç ortama alınan ısı miktarını azaltmak için de örtü malzemesi üzerine entegre edilebilen gölgelendirme sistemlerinden yararlanılabilmektedir. Üst örtü malzemesi olarak kullanmak istediğimiz malzemeyi iç ortam ısı konfor şartlarının oluşumuna en etkin şekilde katkı sunacak biçimde belirlemek gerekmektedir.

-Işık: Üst örtü olarak kullanılan malzemenin şeffaf olması avlunun güneş ışığından faydalanması için doğru bir çözüm olarak görülmektedir. Ancak güneş ışığı, kontrol edilebilir olduğunda kullanıcılar için daha rahat ortamlar oluşturulabilmektedir. Aksi takdirde yoğun ışığa gözleri rahatsız ederek konforlu olmayan ortama sebep olmaktadır. İncelenen örneklerde görüldüğü üzere, üst örtü uygulaması yapıldıktan sonra içeriye giren ışığı kontrol edebilmek için üst örtünün altında gölgelikler veya iç ortamda şemsiyeler kullanılması gerekliliği doğmuştur. Bunun gibi başlangıçta düşünülmeyen sorunlar, sonrasında geçici ve tarihi dokuyla uyumsuz çözümler gerektirmeye başlamaktadır. Avlu üst örtü uygulamalarında sıklıkla gördüğümüz cam malzemenin kullanılması durumunda, malzemenin güneş ışığı kontrollü olanı tercih edilebilir. Ancak malzemeye eklenen her bir özelliğin ağırlığının artmasına da neden olacağı unutulmamalıdır.

-Nem: Bir iç mekânın nem oranı %30'un altına düştüğünde yaşam için uygun olmayan kuru bir ortam, %70'in üzerine çıktığında ise küf ve bakterilerin etkin hale gelip yapı ve insan sağlığı için zararlı etkiler oluşmaya başlamaktadır [39]. İç ortamdaki yüksek neme bağlı olarak yapıda bozulmalar ve küf gözlenmektedir. Ortamdaki nem oranı ve sıcaklığının birbiriyle dengelenememesi sonucunda yoğuşma ortaya çıkmaktadır. Hem iç hem de dış mekânın şartlarına maruz kalan çatı örtüsü, nemin soğuk hava ile temas ettiği ve yoğuşma olasılığının yüksek olduğu alanlar olarak bilinmektedir [36]. İç ve dış ortam sıcaklığı arasında büyük farklar oluştuğunda gerekli önlem alınmadığı durumda oluşan yoğuşma, korozyon ve çürümeye neden olmaktadır [35]. Yoğuşmanın önlenmesi için, detay çözümlerinin doğru yapılması, yoğuşma ile çatı örtüsünde meydana gelebilecek damlacıkların uzaklaştırılabilmesi için malzeme özelliklerine uygun uygulama yapılması önerilmektedir [37].

-Havalandırma: Tarihi yapıdaki avlunun kapatılması sonucunda oluşan yeni iç mekânda doğal havalandırma ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. İç ortamda oluşan ısı ve nem kullanıcıları etkilememesi için havalandırmanın sağlanması gerekmektedir. Son zamanlarda yapılan uygulamalar incelendiğinde doğal havalandırma sağlamak için avludaki örtü sisteminin manuel veya otomatik açılır kapanır sistemlerle yapılmaya başlandığı görülmektedir. Başlangıçta doğru bir çözüm gibi görünse de örtü sistemine eklenen her bir özellikte olduğu gibi bu uygulama da örtü sistemine ilave yük getirmekte, bu da tarihi yapıyı daha fazla yormak anlamına gelmektedir. Tamamen açılıp kapanan sistemler kullanılan malzeme miktarını ve otomasyonu gereği bakım ihtiyacını da arttırmaktadır. Bunun yerine rüzgâr yönü, avluya açılan ana giriş kapısı gibi yapının ve bulunduğu konumun özelliklerinden yararlanarak kısmi açılımlı çözümlere gidilmelidir.




-Akustik: Tarihi yapıların avluları genellikle taş gibi yansıtıcı yüzeylerden oluştuğu için akustik açıdan olumsuz sonuçlar doğurmaktadır. Avlu üst örtü uygulamalarında camdan sonra en çok gördüğümüz malzeme olan polikarbonat levhalar, sert zeminin çok olduğu bu tür ortamlarda iyi ses yalıtıcı özelliği ile öne çıkmaktadır [37]. Bu mekanların konuşma, toplantı, müzik dinletisi gibi farklı amaçlar için kullanılıyor olması farklı ihtiyaçları da beraberinde getirmektedir. Bu sorunu çözmek için mekânın ses yutucu malzemeyle kaplanması ve işleve göre değişen yüzeyler oluşturulması gerekmektedir. Ancak bu çözümler tarihi yapılarda pek de mümkün görünmemektedir. Ortamın akustik açıdan uygun olmadığı ancak toplantı ve seminer gibi amaçlarla kullanılan avlularda ilave ses sistemleri gerekirken, bunun sonucunda görüntü kirliliği, ilave elektrik yükü gibi tarihi yapının ortamına uygun olmayan durumlara neden olmaktadır.

C.5. Görsel Algı

Tarihi yapılarda avlu üst örtü uygulamalarında kaplama malzemesi olarak çoğunlukla şeffaf malzeme tercih edildiği görülmektedir. Yapının genel silüetini bozmasının önüne geçmek ve avlunun açık

olduğu önceki durumunda da yapı kullanıcıları tarafından dış ortama açılan alan algısına gönderme yapmak adına bu tür malzemelerin seçildiği düşünülmektedir. Yapıların sadece plan bazında düşünülmesinden öte yakın çevresiyle kurduğu ilişki, kent silüetine katkısı ve içindeki kullanıcılar açısından insan ölçeğindeki algısının da önemli olduğu unutulmamalıdır. Şeffaf malzemenin yapının gökyüzüne açılan penceresi gibi düşünülürken bunu taşıyan sistemin görsel algıyı tamamen bozabileceği uygulamalarla sonuçlanabilmektedir. Aşağıdaki örneklerde de görüldüğü gibi taşıyıcı sistemin oluşturduğu görüntü hem tarihi yapıyı algılamayı zorlaştırmakta hem de bulunduğu ortama uymayan görüntülere sebep olmaktadır (Tablo 3). Bunun yanında dışarıdan bakıldığında çevresindeki dokuya uyumsuzluk gösterme, uygulandığı yapıdaki esas korunmak istenen tarihi öğelerden daha baskın duruma gelme gibi sonuçlara neden olmaktadır (Tablo 3 - Fotoğraf 3).

Tablo 3. Yeni eklerin tarihi yapının algısına etkilerini gösteren örnekler

Fotoğraf 1	Fotoğraf 2	Fotoğraf 3
		
Kütahya İshak Fakih Medresesi [20]	İstanbul Yeni Han [34]	İstanbul Sultanahmet Medresesi [26]

C.6. Yatırım ve İşletme Maliyeti

Yüzyıllar öncesinde inşa edilen yapıların, özgün yapısal özellikleri ile günümüzde de kullanılması, gelecek kuşaklar tarafından da bilinir olmasının değeri ekonomik olarak ölçülebilen bir kriter olmamalıdır. Ancak aslına uygun yapmaya çalışırken, ihtiyaçlar doğrultusunda gelişen teknolojiye de yararlanılması, gerektiğinde yapıya çağdaş ekler de eklenmesi sırasında yapılan yatırım, azımsanmayacak miktarlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Yenilendiği veya yeni eklendiği halde kısa süre sonra değiştirilmesi gereken bir eleman olması, hem yatırım maliyetinde gereksiz harcama yapıldığını göstermekte hem de tarihi yapıya zarar vermektedir. Yüksek maliyetler ile kullanıma kazandırılan yapının kısa süre içinde âtil hale gelmesi istenmeyen bir durumdur.

Restorasyonu tamamlanan yapının yatırımı yanında işletilmesi sürecindeki maliyeti de göz önünde bulundurulmalıdır. Yapılardaki enerji tüketiminin %40-70'inin yapay ısıtma, soğutma, havalandırma ve aydınlatma için harcadığı düşünülürse enerji etkinliğine yönelik yaklaşımlar ile ısıtma ve soğutma giderlerinde yaklaşık %60, yapay aydınlatmadan da %50 enerji tasarrufu sağlanabileceği bilinmektedir [45]. Yapıda enerji etkinliği ön plana alınır konfor koşullarından ödün vermeden işletme maliyetleri optimum seviyelerde tutulabilir.

Yapının sürdürülebilir olması için yapı sahibi, yönetici, müşteri, ziyaretçileri de kapsayan tüm kullanıcıların gereksinimleri önceden belirlenmiş olmalıdır [46]. Önceden belirlenen gereksinimler kullanım sırasında da değerlendirilmeye devam edilmelidir. Yeniden kullanılan yapının yeni kullanıcıların istek ve gereksinimlerini karşılayabilmesi ve mekân performansının memnun edici düzeyde olması yapıdaki işlevin sürekliliği açısından önemli olmaktadır [47]. Yeni işleve adaptasyon ve mevcudun iyileştirilmesi konusunda fayda sağlayacağı düşünülen bu çalışmalar kullanım sonrası değerlendirme olarak tanımlanmakta, deneyimlenen mekanların insan eylemleri için uygunluğunu, gereksinimleri karşılaması yönündeki yeterlilikleri ortaya koyarak, yaşanılabilirliği sürdürülebilir kılmaya yarayan bir amaca odaklanmaktadır [47].

D. DEĞERLENDİRME

Çalışmanın bu bölümünde, avluları üst örtü ile kapatılan medrese ve hanlardan seçilen iki örnek 3.3. bölümde belirtilen avlu kapama uygulamasında karşılaşılan sorunlara göre değerlendirilmiştir. Bu örnekler 1 medrese 1 han olacak şekilde seçilmiştir. Kütahya'daki İshak Fakih Medresesi belirlenen sorunların rahatlıkla gözlenebilmesi sebebiyle değerlendirmeye alınmasına karar verilmiştir. Afyonkarahisar'daki Taşhan da yapının restorasyonu bittikten kısa süre sonra ihtiyaç üzerine avlusunun kapatılmasına karar verildiği için diğerlerinden farklı bir örnek olması nedeniyle değerlendirilmiştir.

Kütahya'da bulunan İshak Fakih Medresesi 1422 yılında inşa edilmiş, 2011 yılında restore edilmiştir. Restorasyon sonucunda yine kendi işlevine uygun şekilde medrese olarak hizmete başlamıştır. Restorasyon sırasında medrese avlusu çelik taşıyıcılı polikarbonat örtü malzemesi ile kapatılmıştır. Polikarbonat levhaların malzeme niteliğini bozan UV ışınlarına karşı yüksek dayanımlı olduğunu, 140°C'ye kadar kullanılabilirdiği, yüksek sıcaklığa maruz kaldığı yangın gibi durumlarda ise alevin yayılmasına imkân vermeden sönebildiği belirtilmektedir [37]. Levhaların rüzgâra karşı dayanıklı olabilmesi için de rüzgâr yönünün tersine döşenmesi gerekmektedir [37]. Bu yapıdaki incelemede levhaların uygulama yönüyle ilgili tespit yapılamadığı için üst örtünün rüzgar yükü karşısında dayanımı bilinmemektedir.

Restorasyon projesine göre reflektif cam ile kapatılması önerilen avlu, polikarbonat levha kullanılarak örtülmüştür. Dolayısıyla proje ve uygulama arasında farklılıklar tespit edilmiştir. Her iki malzemenin de yapıya getireceği yükler farklı olduğu için ona göre hesapların yapılması gereklidir. Polikarbonat levha, aynı alanı kaplayan cama göre daha hafif olduğu için tarihi yapıya da daha az yük getirmektedir. Örtü malzemesi olarak polikarbonat levha tek olarak ele alındığında hafif olmasına rağmen, kapladığı alan göz önünde bulundurulduğunda yapıda büyük bir ağırlığa sebep olmaktadır. Strüktürün ağırlığı da eklenince üst örtü sisteminin tamamının tarihi yapıya getirdiği yükler söz konusudur (Tablo 4-Fotoğraf 4). Strüktür için seçilen her tür malzeme ile yapıya eklenen ilave yükler söz konusu olacaktır. Seçilen malzeme yanında kurgulanan strüktür sistemi de yapıya gelen yükler konusunda belirleyici bir kriter olarak karşımıza çıkmaktadır.

Yapıda avlu üst örtüsü ile yapıdaki mevcut malzemelerin birleşiminde bir detay sorunu tespit edilmemiştir. Ancak polikarbonat levhalar ile çelik strüktür arasındaki bağlantılarda kopukluk olduğu görülmektedir (Tablo 4-Fotoğraf 5). Bu kopmalar aynı zamanda üst örtüde bakım sorunu olduğunu da düşündürmektedir. Kırılan ve düşen parçaların onarımının yapılmamış olması, örtünün temizliğine yeterli özenin gösterilmemesi de bakımla ilgili sorunlar olduğunu desteklemektedir (Tablo 4-Fotoğraf5).

Tablo 4. Kütahya İshak Fakih Medresesi avlu üst örtüsü



Fotoğraf 4	Fotoğraf 5
Çelik strüktürün yoğunluğu nedeniyle yapıya getirdiği yükler söz konusudur [48]	Avlunun üst örtü malzemesinde meydana gelen kopukluklar ve kırılan parçalar [48]

Medresede derslere katılan ve avluda vakit geçiren kişilerle bu mekânın bölüm C’de belirtilen kriterlere uygunluğu konusunda görüşmeler yapılmıştır. Buna göre avlunun ısı açısından beklentileri karşılayamadığı sonucuna ulaşılmaktadır. Kışın soğuk olduğunu belirten kullanıcılar, yazın da sıcak olduğunu, bu yüzden açılır kapanır sistemler gibi bir alternatif çözüm ile mekânın havalandırılmasına ihtiyaç duyduklarını ifade etmektedirler. Avluda günümüzde büyük kalabalıklar bulunmadığı yalnızca ders aralarında nefes alma amaçlı kullanıldığı için akustikle ilgili bir sorun yaşanmamaktadır. Kırılan parçalar yüzünden içeriye giren yağmur suları kullanıcılar için rahatsız edici olmaktadır. Ayrıca içeriye giren sular tarihi yapıya da zarar vermektedir.

Kırık, kopuk ve kirli parçalar özellikle iç mekândan örtü ile ilgili görsel algıyı bozmaktadır. Üst örtünün bakımıyla ilgili sorunların da etkisiyle görsel açıdan kullanıcıları memnun etmemektedir. Sözlü görüşmeler sonucunda üst örtünün değiştirilmesi ihtiyacı olduğu belirtilmiştir. 9 yıl önce yapılan kapsamlı bir restorasyon çalışmasının kullanıcıları memnun etmemesi, bu kadar kısa sürede yenisine ihtiyaç duyulması tercih edilen bir durum değildir. İlk yapılan yatırımın da boşa gitmesine ve ek maliyete neden olmaktadır. Bunun önüne geçmek için projelendirme aşamasında tüm olasılıklar göz önünde bulundurulmalı kullanıcı gereksinimleri önceden belirlenmiş olmalı, kullanılacak malzeme ve yapılacak uygulamaların seçiminde çok hassas davranılmalı, uygulama gerektiği gibi yapılmalı ve bakımları aksatılmamalıdır.

Afyonkarahisar’da bulunan Taşhan 1278 yılında inşa edilmiş, 2018 yılında restore edilmiştir. Han yapısı önceki işlevine uygun olarak yine ticaret amacıyla kullanılmaya başlanmıştır. Restorasyon projesine göre avlu açık olarak tasarlanmış ancak sonrasında kullanıcıların ihtiyacı doğrultusunda avlunun kapatılmasına karar verilmiştir. 2019 yılı sonunda da avlu kapatılmıştır. Tavan döşemesi üzerinde çelik bir çerçeve tasarlanmış, örtü sisteminin taşıyıcı çelik elemanları bu çerçeve üzerine oturtularak açılır kapanır bir sistem oluşturulmuştur (Tablo 5). Örtü malzemesi olarak polikarbonat levha tercih edilmiştir.

Tablo 5. Afyonkarahisar Taşhan avlu üst örtüsü

Fotoğraf 6	Fotoğraf 7
	
<p>Avlu üst örtü strüktürünün yapım aşamasına ait fotoğraf [33]</p>	<p>Avlu üst örtüsünün açılır kapanır sistemine ait fotoğraf [33]</p>

Yapının çatısı ile üst örtünün birleşim yerinde bir oluk tasarlanarak yağmur suyunun bu şekilde yapıdan uzaklaştırılması planlanmıştır. Rüzgâr yüküne karşı levhaların döşenme yönü tespit edilememiştir. Han yapısının avlu üst örtü sisteminin yeni yapılmış olması nedeniyle uygulamadan kaynaklı bir sorun gözlenmemiştir. Yapı, Vakıflar Genel Müdürlüğü tarafından özel işletmeye kiralandığı için yapının bakımı da işleten firma sorumluluğundadır. Yukarıda da belirtildiği üzere avlu üzerindeki örtü yeni bir eklenti olduğu için özel bakım gerektiren bir durumla henüz karşılaşılmamıştır.

Yapının kapsamlı restorasyonu sonrasında 1 yıl gibi bir süre içerisinde eklentiye ihtiyaç duyulması, bu eklentinin yapıya getireceği yükler ve maliyeti düşünüldüğünde ihtiyaçların önceden belirlenmesinin önemini ortaya koymaktadır. Restorasyon sürecinde taşıyıcılarla ilgili güçlendirmelerin yapılması, yapının çatısının avlu örtüsü ile birlikte tasarlanması gibi konular önceden çözümlenerek yapının da eklentinin de daha verimli ve uzun ömürlü olmasına katkı sağlayacaktır.

IV. TARTIŞMA VE SONUÇ

Çalışmada tarihi yapılarda avluların üst örtü ile kapatılması sonucunda karşılaşılan sorunlar ve buna bağlı olarak incelenen yapıların değerlendirmesi yapılmıştır. Tüm detayları, teknolojisini, özellikleri göz önüne alınarak tasarlanan ve hesapları yapıp uygulanan yeni çatı örtülerinde bile sorunlar ortaya çıkarken, yüzyıllardır kendi kendine ayakta durmayı başarmış tarihi yapılara yeni bir sistemi entegre etmek çok daha özenli bir çalışma gerektirmektedir.

Açık avlulu olarak yapılan medrese ve hanların zaman içerisinde kapatılması yapının sürdürülebilirliğini sağlarken bazı yönlerden zarar vermektedir. Yıllar içinde birbirleri ile uyumlu çalışmaya adapte olmuş yapı bileşenlerine sonradan dahil edilecek sistemi seçerken olası problemler düşünülerek, analizler yapılarak uygulamaya ait kararlar alınmalıdır. Uygulanacak yeni sistemin tarihi yapıya getireceği avantajların yanında vereceği zararlar da göz önüne alınarak bu uygulamanın gerekli olup olmadığı konusu irdelenmelidir. Bunun için gereksinimler ortaya konulmalı, analizler yapılmalı, olası sorunlar belirlenmeli ve çözümü için gerekli çalışmalar yapılmalı, bunların sonucuna göre uygulamalar gerçekleştirilmelidir.

Restorasyon çalışması öncesinde yapının kullanım amacına göre, kullanıcı ihtiyaçları veya mekânın gereklilikleri detaylı olarak araştırılmalı, avlunun kapatılması için bir örtü sistemi gerekliyse uygun müdahale kararları ile ortaya konulmalıdır. Projelendirme yanında süreci planlamak ve yönetmek de uygulamanın işlerliği açısından önem kazanmaktadır. Bu aşamalarda uygun çözümler oluşturulmadan yapılan uygulamalarda, sonrasında daha büyük problemlerle karşılaşılabilir. Bunun yanında geçmiş kültürü geleceğe taşımak için yapılan çalışmalar tarihi yapıya verilen zararlar neticesinde kesintiye uğramakta, yapı mevcut haliyle ayakta durabilecekken, yapılan yanlış müdahaleler nedeniyle ömrü kısalmaktadır.

Tasarım aşamasında kurgulanan üst örtü sistemi, uygulama aşamasında çözümlenemeyen detaylar, öngörülme-yen giderler ve malzeme fiyatları nedeniyle çıkan yüksek maliyetler şeklinde uygulayıcının karşısına sorun olarak çıkmaktadır. Tasarım aşamasında çözülebilecek detaylar ve maliyet hesabı gibi sonrasında sorun olarak karşı karşıya kalınacak bu durumlar başlangıçta titizlikle hesaplanmalıdır. Uygulama öncesinde yatırım maliyetini arttırdığı düşünülen çözümler, sonrasında daha büyük sorunlara yol açabilmekte, daha da pahalı çözümler gerektirebilmektedir. Kısa sürede kırılan, bozulan, konfor şartlarını sağlayamadığı için kullanıcıda memnuniyetsizlik oluşturan ve ihtiyaçlar düşünülmeden yapılan uygulamalar, kısa sürede değiştirilmesi gereken sistemler haline gelebilmektedir. Başlangıçta yapıya yapılan müdahale ile verilen zarar ve aktarılan ödenek, örtü sisteminin değişmesi durumunda tekrarlanacak, aynı masrafların ikinci kez yapılmasıyla hem yapıda hem de ülke ekonomisinde zarara neden olacaktır. Dolayısıyla uygulamanın doğru projelendirilmesi ve yönetimi önem kazanmakta, ihtiyaçlar ve gereksinimlerin doğru tespit edilerek müdahale kararlarının titizlikle ve dikkatle verilmiş olması, gerekli analizlerin ve tespitlerin yapılmış olması gerekmektedir.

Avlular kapatılarak iç mekân olarak kullanılmaya başlansa da üst örtü malzemesi olarak şeffaf malzemelerin seçilmesi gökyüzüyle görsel bağlantının devam ettirilmek istendiğine işaret etmektedir. Bunun yanında güneşin ısı ve ışık etkisinden faydalanmak istenmesi, yapının işlevine göre genellikle ortak alan/toplanma alanı olarak kullanılmaya devam edilmesi özünde bu mekânın hala ilk yapıldığı dönemdeki özelliğini kaybetmesinin istenmediğini düşündürmektedir.

Tarihi yapılara uygulanacak çağdaş eklerin, yapıya uyumlu olacak şekilde projelendirilmesi, yapıyla birlikte bütüncül düşünülmesi gerekmektedir. Yapının bütünlüğüne ve özgün malzemelerine zarar vermeyecek şekilde tasarlanması yanında üst örtünün gerekliliği de sorgulanmalıdır. Gerçekten ihtiyaç olduğuna karar verildiği durumda gerekli analizler, araştırmalar yapılarak sonuçlar değerlendirilmeli ve tüm detaylar düşünülerek uygulama aşamasına geçilmelidir. Uygulama sonrasında da tüm sistemin gerekli bakımları yapılarak kullanımının uzun ömürlü olması sağlanmalıdır.

V. KAYNAKLAR

- [1] H. Dedehayır, *Yerelden Ulusala Ulusaldan Evrensele Koruma Bilincinin Gelişim Süreci*, İstanbul, Türkiye: Çekül Vakfı Yayını, 2010.
- [2] Venedik Tüzüğü, ICOMOS Uluslararası Anıtlar ve Sitler Konseyi, 1964. Erişim tarihi: 2020, 9 Haziran. [Online]. Erişim: http://www.icomos.org.tr/Dosyalar/ICOMOSTR_tr0243603001536681730.pdf
- [3] Geleneksel Mimari Miras Tüzüğü, ICOMOS Uluslararası Anıtlar ve Sitler Konseyi, 1999. Erişim tarihi: 2020, 9 Haziran. [Online]. Erişim: http://www.icomos.org.tr/Dosyalar/ICOMOSTR_tr0464062001536913566.pdf
- [4] T. Akar, “Vakıflar Genel Müdürlüğü ve Vakıf kültür varlıklarının korunması,” *Erdem Dergisi*, c. 59, ss. 1-36, 2011.
- [5] M. Korumaz, “Tarihi yapılara yeni ilavelerinin İstanbul örneğinde değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye, 2003.
- [6] M. Kıray Tanaç ve Ö. Karaman Yılmaz, "Tarihi yapıların/dokuların yenilenmesi sürecinde çağdaş cephe ve çatı elemanları kullanımı", 3. *Ulusal Çatı&Cephe Kaplamalarında Çağdaş Malzeme ve Teknolojiler Sempozyumu*, İstanbul, Türkiye, 2006.
- [7] N. Köşklük Kaya, “İtalya’da tarihi yapılarda yeni ek uygulamalarında çağdaş çatı ve cephe sistemleri ile tasarım ilkeleri”, 6. *Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu*, Bursa, Türkiye, 2012.
- [8] L. Zakar, “Tarihi binalara ek bina tasarımında yapısal bütünleştirme performansını değerlendirmek için bir model önerisi”, Doktora tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2018.
- [9] G. Del Guerra ve M. Froli, “Proposal to roof the courtyards of an historical building in pisa with glass and steel grid shells: form finding and stability problems”, *Architectural Engineering Dergisi*, c.15, s.2, ss. 62-66, 2009.
- [10] V. Murgul, “Reconstruction of the courtyard spaces of the historical buildings of Saint-Petersburg with creation of atriums”, *Procedia Engineering Dergisi*,c.117, ss.808-818, 2015.
- [11] TDK Sözlükleri. (2020, 6 Haziran). *Avlu tanımı*. [Online]. Erişim: <https://sozluk.gov.tr>
- [12] D. Hasol, *Ansiklopedik Mimarlık Sözlüğü*. 12. baskı. İstanbul, Türkiye: Yapı Endüstri Merkezi Yayınları, ss. 520, 2016.
- [13] A. Turani, *Sanat Terimleri Sözlüğü*, İstanbul, Türkiye: Remzi Kitabevi, ss.150, 2015.

- [14] Ş. E. Okuyucu, “Çağdaş eğitim yapılarında avlunun gösterebilimsel açıdan değerlendirilmesi”, Doktora tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye, 2011.
- [15] D. Üveysuna, “İstanbul Tarihi Yarımada’da seçilmiş medrese örneklerindeki revakların güncellenme sorunu”, Yüksek lisans tezi, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2013.
- [16] S. G. Bozkurt ve H. Altınçekiç, “Anadolu’da geleneksel konut ve avluların özellikleri ile tarihsel gelişiminin Safranbolu evleri örneğinde irdelenmesi”, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, c. 63, s. 1, ss. 69-91, 2013.
- [17] A. E. Dinçer, S. C. Temel ve S. M. Öztürk, “Safranbolu- İncekaya Bölgesi’nde bir mimari stüdyo deneyimi,” *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 9, s. 1, ss. 278-292, 2021.
- [18] Anonim. (2020, 6 Temmuz). *Bursa Bayezid Paşa Medresesi*. [Online]. Erişim: <https://www.bursa.bel.tr/beyazit-pasa-medresesi-acilisa-hazir/haber/21655>
- [19] Anonim. (2020, 6 Temmuz). *Bursa Bayezid Paşa Medresesi*. [Online]. Erişim: <http://bursadazamandergisi.com/haberler/beyazit-pasa-medresesi-acilisa-hazir-4234.html>
- [20] Anonim. (2020, 6 Temmuz). *Bursa Gökdere Medresesi*. [Online]. Erişim: <https://www.kulturportali.gov.tr/turkiye/bursa/kulturenvanteri/gokdere-medresesi>
- [21] Anonim. (2020, 6 Temmuz). *Kütahya İshak Fakih Medresesi*. [Online]. Erişim: <https://tr.foursquare.com/v/ishak-fakih-kuran-kursu/542d3818498ecd87279cb208>
- [22] Anonim. (2020, 6 Temmuz). *İstanbul Kuyucu Murat Paşa Medresesi*. [Online]. Erişim: <http://www.safarestorasyon.com.tr/kuyucu-murat-pasa-medresesi-resimleri>
- [23] Anonim. (2020, 6 Temmuz). *Bursa Mahkeme (Vaiziye) Medresesi*. [Online]. Erişim: <https://www.kulturportali.gov.tr/turkiye/bursa/kulturenvanteri/mahkeme-vaiziye-medresesi>
- [24] Anonim. (2020, 6 Temmuz). *Bursa Mahkeme (Vaiziye) Medresesi*. [Online]. Erişim: <http://www.osmangazi.bel.tr/tr/proje/vaiziye-medresesi->
- [25] Anonim. (2020, 6 Temmuz). *İstanbul Sultanahmet Medresesi*. [Online]. Erişim: <https://tr.foursquare.com/v/sultanahmet-medresesi/51f6d570498e8fcf43f2fdb4?openPhotoId=533d24dd498eba8f585087fc>
- [26] Anonim. (2020, 6 Temmuz). *İstanbul Sultanahmet Medresesi*. [Online]. Erişim: <https://www.star.com.tr/yasam/396-yillik-medrese-tarihinin-en-kapsamli-restorasyonunu-gecirdi-haber-746741>
- [27] Anonim. (2020, 6 Temmuz). *Malatya Arapgir Tarihi Millet Hanı*. [Online]. Erişim: <https://www.kulturportali.gov.tr/turkiye/malatya/gezilecekyer/millet-han>
- [28] Anonim. (2020, 6 Temmuz). *Sivas Behram Paşa Hanı*. [Online]. Erişim: https://www.tripadvisor.com.tr/Attraction_Review-g298037-d12037306-Reviews-or10-Behram_Pasa_Hani-Sivas.html#photos;aggregationId=&albumid=&filter=7&ff=389653084
- [29] Anonim. (2020, 6 Temmuz). *Sivas Behram Paşa Hanı*. [Online]. Erişim: <http://wowturkey.com/forum/viewtopic.php?t=50138&start=95>
- [30] Anonim. (2020, 6 Temmuz). *Ankara Çengelhanı*. [Online]. Erişim: http://www.mimarizm.com/makale/cengelhan-in-oykusu_113824

- [31] Anonim. (2020, 6 Temmuz). *Ankara Çengelhan*. [Online]. Erişim: <https://muzeler.org/rahmi-m-koc-muzesi-ankara>
- [32] Anonim. (2020, 6 Temmuz). *Kastamonu Kurşunlu Han*. [Online]. Erişim: <https://twitter.com/travelkastamonu/status/1139099045144813569/photo/1>
- [33] Anonim. (2020, 15 Mayıs). *Afyonkarahisar Taşhan*. Erişim: Avlu üst örtü uygulaması yapan firmaya ait fotoğraf albümü.
- [34] Anonim. (2020, 6 Temmuz). *İstanbul Yeni Han*. [Online]. Erişim: <https://cozumistanbul.org/9659/modern-bir-han-izlenimi-beta-yeni-han/>
- [35] Z. Ö. Parlak Biçer ve G. Işık, “Yapı malzemesi olarak metallerin çatı kaplamalarında kullanımının değerlendirilmesine örnek; Erciyes Üniversitesi Spor Tesisleri,” *6. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu*, Bursa, Türkiye, 2012.
- [36] M. Köse, “Çatı tasarımında malzeme seçim ve kullanım kriterleri”. *2. Ulusal Çatı & Cephe Kaplamalarında Çağdaş Malzeme ve Teknolojiler Sempozyumu*, İstanbul, Türkiye, 2005.
- [37] S. Erdem ve S. Yatağan “Çatıda kullanılan polikarbonat levhaların analizi”, *7. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu*, İstanbul, Türkiye, 2014.
- [38] Z. Utkutuğ, “Konutta kalite kavramı ve yapı hasarları,” *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 21, s. 2, ss. 205-211, 2006.
- [39] S. Bal, N. Baykuş, B. Elyiğit ve C. E. Ekinci, “Eğitim ortamlarının ısı konfor şartlarının incelenmesi,” *Eğitim ve Öğretim Araştırmaları Dergisi*, c. 4, s. 2, ss. 200-209, 2014.
- [40] H. Güler ve S. Ülkü, “Bitişik nizamlı villa tipi konutlarda yapısal konfor koşulları üzerine bir araştırma,” *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 12, s. 2, ss. 97-107, 2007.
- [41] A. S. Örkmez ve İ. Çetiner, “Çift kabuk cephe sistemlerinin iç mekân ısı konforuna etkisi”, *6. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu*, Bursa, Türkiye, 2012.
- [42] G. Ulukavak Harputlugil ve N. Çetintürk “Geleneksel Türk Evi’nde ısı konfor koşullarının analizi: Safranbolu Hacı Hüseyinler Evi,” *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 20, s. 1, ss. 77-84, 2005.
- [43] F. Şenkal Sezer, “Farklı cam türlerinin performans kriterlerinin incelenmesi,” *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 10, s. 1, ss. 15-21, 2005.
- [44] M. Okumuş, “Yaşlı evlerinde pencerelerin bina enerji ve gün ışığı performansına etkisinin incelenmesi,” Yüksek lisans tezi, Enerji Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2014.
- [45] G. Ulukavak Harputlugil, “Mimari tasarım süreci içinde bina enerji simülasyon programı uygulamalarının yeri,” *Teknoloji Dergisi*, c. 10, s. 4, ss. 249-265, 2007.
- [46] A. Gürer, “Büro binalarında mekân ve kullanıcı performansının değerlendirilmesi,” Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 1997.
- [47] D. Aydın ve E. Yıldız, “Yeniden kullanıma adaptasyonda bina performansının kullanıcılar üzerinden değerlendirilmesi,” *ODTÜ Mimarlık Fakültesi Dergisi*, s. 27, c. 1, ss. 1-22, 2010.
- [48] Kullanıcıların arşivinden edinilen fotoğraflar. (2020, 11 Mayıs).



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Türkiye’deki Astronomik Gözlemevlerinin Kuruluş Yerlerinin Bulanık AHS ile Değerlendirilmesi

 Gizem Dilan BOZTAŞ^{a,*},  Ersin KARMAN^b,  Cahit YEŞİLYAPRAK^c

^a Dijital Dönüşüm Ofisi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, TÜRKİYE

^b Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi, Ankara, TÜRKİYE

^c Astronomi ve Uzay Bilimleri, Fen Fakültesi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: gizemdilanboztas@ktu.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.981444

ÖZ

Gözlemevi kuruluş yeri kararı, yapılan incelemeler ve toplanan veriler uzmanlar tarafında değerlendirilerek yapılmaktadır. Yapılan bu çalışmada hali hazırda Türkiye’de konumlanmış gözlemevleri kuruluş yerleri açısından çok kriterli karar verme yöntemi ile değerlendirilmektedir. Değerlendirme sürecinde nitelik olarak meteorolojik, coğrafi ve antropojenik nitelikler ele alınmıştır. Belirlenen alternatifler ise Ulupınar Gözlemevi, Ege Üniversitesi Gözlemevi, TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi, Ankara Üniversitesi Kreiken Gözlemevi ve Doğu Anadolu Gözlemevi olarak belirlenmiştir. Bu kriter ve alternatiflere bulanık analitik hiyerarşi süreci (AHS) uygulanarak ülkemizdeki gözlemevlerinin konum değerlendirilmesinin yapılması amaçlanmıştır. Karar analizi sonucunda seçilen kriterlere bağlı olarak mevcut gözlemevlerinin kuruluş yerleri ile ilgili değerlendirmeler elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Karar destek sistemleri, Bulanık AHS, Gözlemevi yer seçimi

Evaluation of Location Decision of Astronomical Observatories in Turkey with Fuzzy AHP

ABSTRACT

Decisions on observatory locations are made by professionals through observations and data analysis. In this study, the locations of observatories in Turkey are assessed using multiple-criteria decision-making. In this process, meteorological, geographical and anthropogenic qualities were taken in consideration. Ulupınar Observatory, Ege University Observatory, TUBITAK National Observatory, Ankara University Kreiken Observatory and Eastern Anatolian Observatory were chosen as alternatives. By applying fuzzy analytic hierarchy process (AHP) to the criteria and the alternatives, it was aimed to provide a location analysis of Turkish observatories. Through decision analysis, an evaluation of the locations of observatories based on the given criteria was obtained.

Keywords: Decision support systems, fuzzy AHP, Observatory site selection

I. GİRİŞ

Sağlıklı gözlem yapmak astronominin temel yapıtaşlarından birini oluşturmaktadır. Bu nedenle gözlemlerinin mümkün olan en doğru lokasyonda konumlandırılması oldukça önemli bir konudur. Çünkü bir gözlemevinin hem kuruluşu sırasında hem de daha sonrasında ortaya oldukça yüksek bir maliyet çıkmaktadır. Örneğin kızıl ötesi dalga boyunda yapılan bir gözlemin gecelik maliyetinin 60.000 TL civarı olduğu düşünüldüğünde, maliyet etkinliği oluşturulabilmek açısından da gözlem evinin gerek atmosferik gerekse antropojenik (insan kaynaklı etkiler) olarak doğru konumlandırılması gerekliliği bir kere daha anlaşılmaktadır.

Temelde bir gözlemevinin yüksekte ve yerleşim alanından uzakta bulunması beklenmektedir. Fakat kuruluş yeri meteorolojik (bulut örtüsü, sıcaklık, bağıl nem vs.), coğrafi (yükseklik, sismik aktivite, bitki örtüsü vs.) veya antropojenik (yapay ışık, ulaşım, yerleşim alanları vs.) parametrelere göre de değerlendirilmektedir. Kriter sayısının artması bu verilerin birlikte değerlendirilmesini zorlaştırmaktadır. Bu noktada karar destek sağlayabilmek için bilişim sistemleri çalışmalarında sıklıkla kullanılan çok kriterli karar verme yöntemlerine başvurulmaktadır. Burada kriterlerin ve alternatiflerin belirlenme süreci titizlikle gerçekleştirilmelidir. Çalışmanın ve seçilen kriterlerin anlaşılabilirliğinin sağlanması amacı ile gerek uzman görüşü ve gerekse alanyazın doğrultusunda gözlemevi yer seçiminde değerlendirilen bazı parametrelerin açıklamaları Tablo 1’de gösterilmiştir.

Alanyazında bulunan kuruluş yeri karar çalışmaları incelendiğinde çok kriterli karar verme yöntemlerinin sıklıkla kullanıldığı görülmüştür. Güler ve Yomralıoğlu’nun AHS ve bulanık AHS yöntemleri ile coğrafi bilgi sistemleri (CBS) kullanılarak elektrikli araç hızlı şarj istasyonu için uygun yer seçimi çalışması [1], Oruç ve Arıcan’ın bulanık AHS ile bulanık ARAS yöntemleriyle Isparta’da polis merkezi kuruluş yeri seçimi [2] veya Kazemi ve arkadaşlarının entegre bulanık bilişsel harita ve bulanık AHS yaklaşımı kullanılarak gerçekleştirdikleri maden işleme tesisi saha seçimi [3] söz konusu çalışmalara örnek gösterilebilir. Benzer şekilde bir gözlemevi için kuruluş yeri kararı alınırken bu iş için geliştirilen yazılımlar veya coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ile birleştirilmiş çok kriterli karar verme yöntemleri de kullanılmaktadır. Alanyazında konuyla ilgili farklı çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalardan özellikle güncel olanlara yer verilmiştir.

Tablo 1. Parametreler ve tanımları

	Parametre	Tanım
Meteorolojik- Coğrafik	Bulut Örtüsü/ Bulutluluk	“Aralıksız ve nispeten ince bir tabaka şeklinde yatay olarak geniş bir alanı kaplayan bulut tabakasıdır” [4].
	Rüzgâr Hızı	“Yelin belirli bir yöndeki esme hızıdır” [4].
	Bağıl Nem	“Belli sıcaklıkta bir hava ya da gaz kütlelerinde bulunan su buharı miktarının, o sıcaklıkta bir hava ya da gaz kütlelerinde bulunabilecek en yüksek su buharı miktarına olan oranının yüzde olarak ifadesidir” [4].
	Toz	“Havada başıboş ve serbestçe dolaşan toprak veya diğer madde parçacıkları” [5].
	Atmosferik Dönüşüm Katmanı	“Atmosferin yeryüzü şekillerinden etkilenen alt sürtünmeli seviyesi ile yeryüzü şekillerinin hiç etkin olmadığı üst sürtünmesiz seviye arasındaki sınır” [5].

Türbülans/Atmosferik Görüş	<i>“Isının, su buharının, dumanların ve diğer bileşenlerin atmosferde dağılmasında rol oynayan, yönleri ve hızları düzensiz bir şekilde hava hareketleri ve rüzgârlar” [4].</i>
Gökyüzü Parlaklığı/ Arkaalan Parlaklığı	<i>“Gökyüzünün görsel parlaklığı, ışığı nasıl yansıttığı ve yaydığı” ifade eder. [6]</i>
Yükseklik/Rakım	<i>“Karalar üzerindeki herhangi bir nokta ile deniz yüzü arasındaki düşey uzaklıktır” [4].</i>
Işık Kirliliği/Yapay Işık	<i>“Işığın canlıları rahatsız edecek şekilde yanlış kullanılmasıdır.” [7]</i>
Antropojenik Altyapısal Yeterlilik (Elektrik, Su, İnternet, Ulaşım)	

Bu çalışmalar ülke bazında yapıldığı gibi küresel çapta da yapılmaktadır. Örneğin; Aksaker ve arkadaşlarının gerçekleştirdiği çalışmada meteorolojik-coğrafi parametreler olarak bulutluluk, yoğunlaşabilir su buharı, aerosol, rüzgâr hızı ve yükseklik ele alınırken antropojenik parametre olarak da yapay ışık baz alınmıştır. Bu parametreler doğrultusunda CBS ile birlikte ağırlıklı toplam yöntemi kullanılarak Türkiye üzerinde bir gözlemevi yer seçimi yapmışlardır [8]. Daniyal ve Kazmi 2019’da yaptıkları çalışmada meteorolojik olarak bulut örtüsü, rüzgâr hızı ve aerosol; coğrafi olarak eğim, yükseklik, fay kuşağı ve arazi kullanımı/arazi örtüsü; antropojenik olarak ise yapay ışık ve ulaşım parametrelerini AHS yöntemini CBS entegrasyonu ile birlikte değerlendirerek Pakistan için gözlemevi yeri önerisinde bulunmuşlardır [9]. Ülkesel çapta yapılan diğer bir çalışma da Freire ve arkadaşları tarafından Arjantin’de gerçekleştirilmiştir. Sadece aerosol, bulut örtüsü, yoğunlaşabilir su, sıcaklık, bağıl nem ve rüzgâr hızı ve yönü parametrelerini analiz ederek en uygun yeri belirlemeye çalışmışlardır [10].

Nasiri ve arkadaşlarının İran üzerinde yürüttükleri çalışmalarında meteorolojik olarak yağış, bulut örtüsü, bağıl nem, rüzgâr yönü, inversiyon yüksekliği, inversiyon (frekans), toz ve gökyüzü parlaklığı; coğrafi olarak yerel özellikler (yükseklik vs.), topografya, sismisite ve antropojenik olarak ise ışık kirliliği parametrelerini öznal ağırlıklar ile değerlendirip belirledikleri alanlara üstünlük sırası atayarak en doğru yeri bulmayı hedeflemişlerdir [11]. Öte yandan Danesh ve arkadaşları yine İran üzerinde yaptıkları çalışmalarında sadece, sıcaklık, rüzgâr hızı ve yönü ve bağıl nem meteorolojik parametrelerini dikkate almışlardır. Bu parametrelere istatistiksel analiz uygulayarak bölgedeki en uygun yeri bulmak istemişlerdir [12]. Aboushelib ve arkadaşlarının 2019 yılında yaptıkları çalışmada meteorolojik olarak, aerosol ve gece gökyüzü parlaklığı; coğrafi olarak yükseklik ve antropojenik olarak ulaşım ve gelecekteki risk faktörleri parametrelerini baz almışlardır. Söz konusu parametrelerle ilgili gerekli ölçüm değerlerini karşılaştırarak Mısır için ideal alanı bulmayı amaçlamışlardır [13].

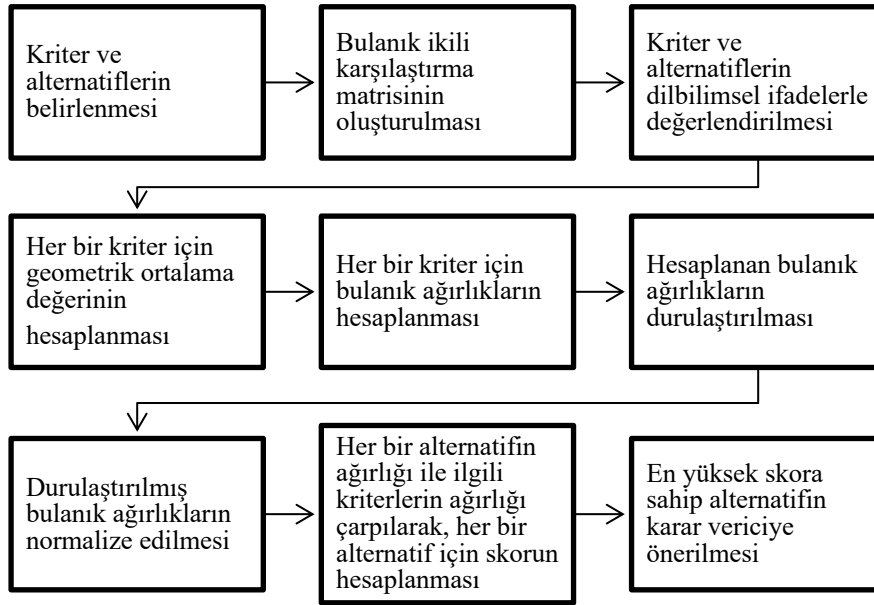
2017 yılında Abdelaziz ve arkadaşları MENA’ da (Orta Doğu ve Kuzey Afrika) gözlemevi yer seçimi için yaptıkları çalışmada meteorolojik olarak bulutluluk, yoğunlaşabilir su buharı, aerosol optik derinliği, bağıl nem, rüzgâr hızı ve günlük sıcaklık aralığı; coğrafi olarak yükseklik ve antropojenik olarak ise ışık kirliliği parametrelerini dikkate almışlardır. Burada her bir konum için ağırlıklı ortalama yaklaşımını kullanıp genel bir puan hesaplayarak en uygun yeri bulmayı amaçlamışlardır [14].

Aksaker ve arkadaşlarının 2020 yılında yaptıkları çalışmada ise meteorolojik olarak bulut örtüsü, yoğunlaşabilir su buharı, aerosol optik derinliği, rüzgâr hızı; coğrafi olarak arazi kullanımı ve arazi örtüsü, yükseklik ve antropojenik olarak yapay ışık parametreleri kullanılmıştır. Bu parametrelere CBS ile basit toplamlı ağırlıklandırma yöntemi uygulanarak küresel çapta en uygun gözlemevi yerinin bulunması hedeflenmiştir [15].

Alanyazına bakıldığında gerek bölgesel yapılan çalışmaların artırılmasına yönelik gerekse yeni yöntemlerin değerlendirilmesi ile ilgili önerilerde bulunduğu görülmüştür. Bu durum, nispeten kuruluş yeri kararı süreçlerinde çok fazla kullanılmadığından bulanık çok kriterli karar verme yöntemi ile Türkiye’de konumlanmış gözlemlerinin kuruluş yeri kararlarının değerlendirilmesi fikrini oluşturmuştur. Bu çalışmada bulanık AHS kullanılarak Türkiye’de ki astronomik gözlemlerinin kuruluş yeri ile ilgili değerlendirme yapılması amaçlanmıştır.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmanın bu bölümünde, kullanılan yöntem ile ilgili temel bilgi sunulacaktır. Çalışma kapsamında bulanık AHS yaklaşımı kullanılacağı için öncesinde bulanık küme teorisinin kısaca anlatılması ve çok kriterli karar verme yöntemlerine değinilmesi yerinde olacaktır. Sonrasında bu çalışmada kullanılan Bulanık Analitik Hiyerarşik Sürecine (B-AHS) kısaca yer verilecektir. Çalışmanın şematik gösterimi Şekil 1 de gösterilmiştir.



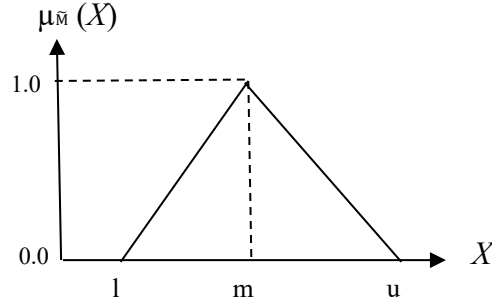
Şekil 1. Astronomik Gözlemlerinin Değerlendirilmesi Süreci

Kriter ve alternatiflerin belirlenmesi süreci veri toplama başlığı altında detaylıca açıklanmıştır. Belirlenen kriter ve alternatifler için bulanık ikili karşılaştırma matrisleri oluşturularak Tablo 2 yardımıyla dilbilimsel olarak karşılaştırmalı şekilde değerlendirilmiştir. Daha sonra Denklem (3) yardımıyla her bir kriterin geometrik ortalaması hesaplanarak Denklem (4) ile her bir kriterin bulanık ağırlığı belirlenmiştir. Üçgen sayılardan oluşan bulanık ağırlıklar Denklem (5) kullanılarak durulaştırılır. Elde edilen durulaştırılmış bulanık ağırlıkların normalizasyonu Denklem (6) yardımıyla gerçekleştirilir. Son olarak her bir alternatif için hesaplanmış ağırlık ile ilgili kriterin ağırlığı çarpılarak alternatifler için bir skor hesaplanır. En yüksek skora sahip karar vericiye önerilir.

A. BULANIK KÜME TEORİSİ

Bulanık küme kavramı ilk olarak 1965 yılında Zadeh ortaya atmıştır. Bu kavrama göre bir nesne bir kümeye kısmen üye olabilir. Bulanık kümede nesnenin üyelik değeri 0 ile 1 yani üye olmama ve tam üye olma arasında bir değer alır. Bu iki sınır arasındaki değerler ara üyelik dereceleri olarak tanımlanır. Üyelik dereceleri bir nesnenin kümeye ne derece ait olduğunu gösterir [16]. Bulanık mantık, insana ait sübjektifliği ve davranışların belirsizliğini göz önünde bulundurarak yaklaşık çözüm bulmaya çalışır [17], [18].

Gerçek sayılardan oluşan üçgen bulanık sayılar özel bir bulanık sayı türüdür [19]. Bir bulanık sayı (l, m, u) şeklinde ifade edilebilir. Bulanık bir olayda sırasıyla l alt sınırı, m net değeri ve u ise üst sınırı temsil eder [20]. Şekil 1 bir üçgen bulanık sayıyı gösterirken, (1) numaralı eşitlik ise üçgen bulanık sayının üyelik derecelerine göre lineer gösterimini ifade eder [21].



Şekil 2. Üçgen Bulanık Sayı

Üçgen bulanık sayının üyelik derecelerine göre lineer gösterimi:

$$\mu(x/\tilde{M}) = \begin{cases} 0 & x < l, \\ (x-l) / (m-l) & 1 \leq x \leq m, \\ (u-x) / (u-m) & m \leq x \leq u, \\ 0 & x > u. \end{cases} \quad (1)$$

Bunun yanında bilişim sistemleri alanında özellikle karar verme süreçlerinde sıkça kullanılan çok kriterli karar verme yöntemleri bulunmaktadır. Çok kriterli karar verme (ÇKKV), parametreleri birlikte değerlendirilerek belirlenen alternatifleri değerlendirme süreci olarak tanımlanabilir [22]. Çok kriterli karar verme, bir karar sürecine birçok yöntemle yardımcı olabilir. Bütün bu yöntemlerin ortak amacı karar vericilerin optimum kararı almalarını sağlamaktır [23]. Fakat ÇKKV’ de nitel kriterlerin değerlerinin net olarak tanımlanmamış olması karar vericiler için sorun olmaktadır. Bu sorunun aşılabilmesi amacıyla nitel kriterler değerlendirilirken genellikle dilbilimsel ifadeler kullanılır [24]. Ayrıca dilbilimsel ifadeler, geleneksel ifadelerle kıyasla belirsizlikle başa çıkmada daha etkilidirler [25]. Bütün bu durumlar göz önüne alındığında farklı kriter ve alternatifleri değerlendirmek amacıyla ÇKKV’ de bulanık küme teorisinin uygulanması, daha iyi sonuçlar alınabilmesi bakımından oldukça uygundur [25], [26], [27], [28].

B. BULANIK ANALİTİK HİYERARŞİK SÜREÇ (B-AHS)

Klasik AHS’ in önceliklere karar verirken belirsizliği giderememesi eleştirilmesine neden olmuştur. AHS’ nin bu dezavantajı bulanık mantık kullanılarak iyileştirilmiştir. Bulanık AHS’ te kriterler ve alternatifler için oluşturulan ikili karşılaştırma matrislerinde bulanık üçgen sayılar ile ifade edilen dilsel değişkenler kullanılır [29]. Alanyazında çeşitli bulanık AHS uygulamaları tanımlıdır [20], [30], [31]. Bu çalışma kapsamında [31] tarafından önerilen geometrik ortalama yöntemi kullanılmıştır. Yöntemin adımları aşağıdaki gibidir [31], [32]. Uygulama için kullanılacak dilbilimsel ifadeler Tablo 2’de gösterilmiştir.

Adım 1: Bulanık ikili karşılaştırma matrisi $\tilde{D} = [\tilde{a}_{ij}]$ aşağıdaki gibi oluşturulur.

$$\tilde{D} = \begin{bmatrix} (1,1,1) & \tilde{a}_{12} & \cdots & \tilde{a}_{1n} \\ \tilde{a}_{21} & (1,1,1) & \cdots & \tilde{a}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{a}_{n1} & \tilde{a}_{n2} & \cdots & (1,1,1) \end{bmatrix}$$

$$\tilde{a}_{ij} * \tilde{a}_{ji} = 1 \text{ ve } w_i / w_j, i, j=1,2,\dots,n. \quad (2)$$

Adım 2: Her kriter için geometrik ortalama Denklem (3) deki gibi hesaplanır.

$$\tilde{r}_i = (\tilde{a}_{i1} * \tilde{a}_{i2} * \dots * \tilde{a}_{in})^{1/n} \quad (3)$$

Adım 3: Her kriter için bulanık ağırlık Denklem (4) yardımıyla hesaplanır.

$$\tilde{w}_i = \tilde{r}_i * (\tilde{r}_1 + \tilde{r}_2 + \dots + \tilde{r}_n)^{-1} \quad (4)$$

$$\tilde{r}_k = (l_k, m_k, u_k) \text{ ve } (\tilde{r}_k)^{-1} = (1/u_k, 1/m_k, 1/l_k)$$

Adım 4: $\tilde{w}_i = (l_i, m_i, u_i)$ bulanık ağırlıklar herhangi bir bulanıklaştırma yöntemiyle durulaştırılır. Burada alan merkezi (centre of area) yöntemi kullanılmıştır.

$$M_i = \frac{lw_i + mw_i + uw_i}{3} \quad (5)$$

Adım 5: Bulanık olmayan M_i sayının normalizasyonu yapılır. [33]

$$N_i = \frac{M_i}{\sum_{i=1}^n M_i} \quad (6)$$

Tablo 2. Dilbilimsel ifadeler ve karşılık gelen üçgen bulanık sayılar [34], [35]

Önem Tanımları	Önem Değerleri	Üçgen Bulanık Ölçek	Üçgen Bulanık Ölçeğin Tersi
Eşit Önemlilik	1	(1,1,1)	(1,1,1)
Diğerlerine Göre Biraz Üstün	2	(1,2,4)	(1/4,1/2,1)
Hemen Hemen Önemli	3	(1,3,5)	(1/5,1/3,1)
Güçlü Önemli	5	(3,5,7)	(1/7,1/5,1/3)
Çok Güçlü Önemli	7	(5,7,9)	(1/9,1/7,1/5)
Aşırı Önemli	9	(7,9,11)	(1/11,1/9,1/7)

C. VERİ TOPLAMA

Çalışma 10 kriter ve 5 alternatif üzerinden yürütülecektir. Alanyazın taramasından elde edilen bütün kriterler içerisinde Türkiye’de konumlu gözlemlerini değerlendirmek için kullanılacak olanlar uzman görüşü doğrultusunda belirlenmiştir. Kriterler ile ilgili tanımlamalar Tablo 1’de gösterilmiştir. Alternatifler ise Türkiye’deki gözlem evleri arasından seçilmiştir. Gözlemlerine ait yükseklik bilgileri gözlemlerine ait sitelerden, kuruluş tarihleri Türk Astronomi Derneği’ nin sitesinden, boylam-enlem bilgisi ise Google Earth yardımıyla elde edilmiştir. Çalışma kapsamında değerlendirilecek gözlemlerinin lokasyon bilgileri Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3. Gözlemleri lokasyon bilgileri

Gözlemevi	Kısaltma	Kuruluş tarihi	Şehir	Boylam (Güney)	Enlem (Kuzey)	Yükseklik (m)
Ulupınar Gözlemevi	UG	2002	Çanakkale	26.48	40.10	410
Ege Üniversitesi Gözlemevi	EÜG	1965	İzmir	27.28	38.40	800
TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi	TUG	1997	Antalya	30.34	36.82	2500
Ankara Üniversitesi Kreiken Gözlemevi	AÜKG	1965	Ankara	32.78	39.84	1256
Doğu Anadolu Gözlemevi	DAG	Devam ediyor	Erzurum	41.23	39.78	3170

III. BULGULAR

Veriler üzerinde B-AHS yöntemi uygulanmış ve Tablo 2 yardımıyla oluşturulan ikili karşılaştırma matrislerine uygulanan Denklem (5) ve (6) yardımıyla elde edilen bulgular bu bölümde sunulacaktır.

Tablo 4. Meteorolojik-Coğrafik ve Antropojenik kriterlerin ortalama ve normalleştirilmiş bağıl ağırlıkları

Meteorolojik-Coğrafik Kriter	M_i	N_i
Bulut Örtüsü/ Bulutluluk	0,35	0,30
Rüzgâr Hızı	0,06	0,05
Bağıl Nem	0,23	0,20
Toz	0,07	0,06
Atmosferik Dönüşüm Katmanı	0,06	0,05
Türbülans /Atmosferik Görüş	0,32	0,27
Gökyüzü Parlaklığı /Arkaalan Parlaklığı	0,06	0,05
Yükseklik/Rakım	0,03	0,02
Antropojenik Kriter	M_i	N_i
Işık Kirliliği/Yapay Işık	0,90	0,87
Altyapısal Yeterlilik (Elektrik, Su, İnternet, Ulaşım)	0,13	0,13

Tablo 4'e bakıldığında Meteorolojik-Coğrafik kriterlerden Bulutluluk Örtüsü/ Bulutluluk kriterinin ortalama ($M_i=0,35$) ve normalleştirilmiş ($N_i=0,30$) bağıl ağırlığıyla ilk sırada yer aldığı görülmektedir. Bu kriteri Türbülans /Atmosferik Görüş ($M_i=0,32$ ve $N_i=0,27$) ve Bağıl Nem ($M_i=0,23$ ve $N_i=0,20$) kriterleri takip etmektedir. Antropojenik kriterlerde ise Işık Kirliliği/Yapay Işık ($M_i=0,90$ ve $N_i=0,87$) kriteri ilk sırada yer almaktadır.

Meteorolojik-Coğrafik kriterlere göre alternatiflerin ağırlıklarının belirlenmesi ile ilgili bulgular;

Tablo 5. Bulut Örtüsü/ Bulutluluk, Rüzgâr Hızı ve Bağıl Nem Kriterine göre her alternatifin ortalama ve normalleştirilmiş bağıl ağırlıkları

Bulut Örtüsü/ Bulutluluk Kriteri			Rüzgâr Hızı Kriteri			Bağıl Nem Kriteri		
Alternatif	M_i	N_i	Alternatif	M_i	N_i	Alternatif	M_i	N_i
UG	0,04	0,03	UG	0,04	0,04	UG	0,04	0,04
EÜG	0,08	0,07	EÜG	0,09	0,08	EÜG	0,07	0,06
TUG	0,37	0,33	TUG	0,41	0,37	TUG	0,28	0,26
AÜKG	0,06	0,06	AÜKG	0,16	0,15	AÜKG	0,09	0,08
DAG	0,58	0,52	DAG	0,41	0,37	DAG	0,62	0,56

Tablo 5'e göre Bulutluluk Örtüsü/ Bulutluluk ve Bağıl Nem kriterlerine göre ilk sırayı DAG ($M_i=0,58$ ve $N_i=0,52$; $M_i=0,62$ ve $N_i=0,56$) alırken, Rüzgâr Hızı kriterine göre $M_i=0,41$ ve $N_i=0,37$ ağırlıklarıyla DAG ve TUG ilk sırayı paylaşmışlardır. TUG ($M_i=0,37$ ve $N_i=0,33$; $M_i=0,28$ ve $N_i=0,26$), Bulutluluk Örtüsü/ Bulutluluk ve Bağıl Nem kriterlerine göre ikinci sıradayken, Rüzgâr hızı kriterine göre bu sıra AÜKG'ne ($M_i=0,16$ ve $N_i=0,15$) aittir. Üçüncü sırayı ise Bulut Örtüsü/Bulutluluk ve Rüzgâr Hızı kriterlerine göre EÜG ($M_i=0,08$ ve $N_i=0,07$; $M_i=0,09$ ve $N_i=0,08$), Bağıl Nem kriterine göre de AÜKG ($M_i=0,09$ ve $N_i=0,08$) almıştır.

Tablo 6. Toz, Atmosferik Dönüşüm Katmanı ve Türbülans/Atmosferik Görüş kriterine göre her alternatifin ortalama ve normalleştirilmiş bağıl ağırlıkları

Toz			Atmosferik Dönüşüm Katmanı			Türbülans/Atmosferik Görüş		
Alternatif	M_i	N_i	Alternatif	M_i	N_i	Alternatif	M_i	N_i
UG	0,09	0,08	UG	0,03	0,03	UG	0,03	0,03
EÜG	0,08	0,07	EÜG	0,09	0,09	EÜG	0,08	0,08
TUG	0,19	0,18	TUG	0,24	0,23	TUG	0,27	0,25
AÜKG	0,06	0,05	AÜKG	0,06	0,05	AÜKG	0,06	0,05
DAG	0,68	0,62	DAG	0,65	0,60	DAG	0,63	0,59

Tablo 6 değerlendirildiğinde her üç kriterde de DAG'nin ($M_i=0,68$ ve $N_i=0,62$; $M_i=0,65$ ve $N_i=0,60$; $M_i=0,63$ ve $N_i=0,59$) ilk sırada yer aldığı görülmektedir. Bunu yine her üç kriterde de TUG ($M_i=0,19$ ve $N_i=0,18$; $M_i=0,24$ ve $N_i=0,23$; $M_i=0,27$ ve $N_i=0,25$) takip etmektedir. Toz kriterinde UG'nin ($M_i=0,09$ ve $N_i=0,08$) üçüncü sırada yer aldığı saptanırken, Atmosferik Dönüşüm Katmanı ve Türbülans/Atmosferik Görüş kriterlerinde ise EÜG'nin ($M_i=0,09$ ve $N_i=0,09$; $M_i=0,08$ ve $N_i=0,08$) üçüncü sırada yer aldığı saptanmıştır.

Tablo 7. Gökyüzü Parlaklığı/Arkaalan parlaklığı ve Yükseklik/Rakım her alternatifin ortalama ve normalleştirilmiş bağlı ağırlıkları

Gökyüzü Parlaklığı/Arkaalan parlaklığı			Yükseklik/Rakım		
Alternatif	M_i	N_i	Alternatif	M_i	N_i
UG	0,04	0,03	UG	0,04	0,04
EÜG	0,11	0,10	EÜG	0,08	0,07
TUG	0,25	0,23	TUG	0,23	0,21
AÜKG	0,07	0,06	AÜKG	0,08	0,07
DAG	0,65	0,58	DAG	0,67	0,61

Tablo 7 incelendiğinde hem Gökyüzü Parlaklığı/Arka Alan Parlaklığı hem de Yükseklik/Rakım kriterinde sırasıyla DAG ($M_i=0,65$ ve $N_i=0,58$; $M_i=0,67$ ve $N_i=0,61$) ve TUG ($M_i=0,25$ ve $N_i=0,23$; $M_i=0,23$ ve $N_i=0,21$) ilk iki sırayı oluşturmaktadır. Onları, Gökyüzü Parlaklığı/Arka Alan Parlaklığı kriterinde EÜG ($M_i=0,11$ ve $N_i=0,10$), Yükseklik/Rakım kriterinde ise $M_i=0,08$ ve $N_i=0,07$ eşit ağırlıklarla EÜG ve AÜKG takip etmektedir.

Antropojenik kriterlere göre alternatiflerin ağırlıklarının belirlenmesi ile ilgili bulgular;

Tablo 8. Işık kirliliği / Yapay Işık ve Altyapısal Yeterlilik (Elektrik, Su, İnternet, Ulaşım) kriterine göre her alternatifin ortalama ve normalleştirilmiş bağlı ağırlıkları

Işık kirliliği / Yapay Işık			Altyapısal Yeterlilik		
Alternatif	M_i	N_i	Alternatif	M_i	N_i
UG	0,05	0,04	UG	0,05	0,04
EÜG	0,08	0,07	EÜG	0,09	0,08
TUG	0,29	0,27	TUG	0,32	0,28
AÜKG	0,05	0,04	AÜKG	0,08	0,07
DAG	0,62	0,57	DAG	0,63	0,54

Tablo 8'de görüldüğü üzere Işık Kirliliği/Yapay Işık ve Altyapısal Yeterlilik kriterlerine göre DAG ($M_i=0,62$ ve $N_i=0,57$; $M_i=0,63$ ve $N_i=0,54$) ilk sırada yer alırken, TUG ($M_i=0,29$ ve $N_i=0,27$; $M_i=0,32$ ve $N_i=0,28$) ikinci sırada ve EÜG ($M_i=0,08$ ve $N_i=0,07$; $M_i=0,09$ ve $N_i=0,08$) üçüncü sırada yer almıştır. Meteorolojik-coğrafi ve antropojenik kriterlere göre her bir alternatif için toplam sonuçlar Tablo 9 ve Tablo 10 da gösterilmiştir.

Tablo 9. Meteorolojik-coğrafi kriterlere göre toplam sonuçlar

	Ağırlık	UG	EÜG	TUG	AÜKG	DAG
Bulut Örtüsü/ Bulutluluk	0,30	0,03	0,07	0,33	0,06	0,52
Rüzgâr Hızı	0,05	0,04	0,08	0,37	0,15	0,37
Bağıl Nem	0,20	0,04	0,06	0,26	0,08	0,56
Toz	0,06	0,08	0,07	0,18	0,05	0,62
Atmosferik Dönüşüm Katmanı	0,05	0,03	0,09	0,23	0,05	0,60
Türbülans/ Atmosferik görüş	0,27	0,03	0,08	0,25	0,05	0,59
Gökyüzü /Arkapan parlaklığı	0,05	0,03	0,10	0,23	0,06	0,58
Yükseklik	0,02	0,04	0,07	0,21	0,07	0,61
Toplam	1,00	0,04	0,07	0,27	0,07	0,55

Tablo 9 değerlendirildiğinde toplam ağırlıklara göre 0,55 ile DAG'nin ilk sırada olduğu görülmüştür. DAG'ni 0,27 ile TUG takip etmektedir. EÜG ve AÜKG ise 0,07 eşit ağırlıkları ile üçüncü sırada yer almaktadırlar.

Tablo 10. Antropojenik kriterlere göre toplam sonuçları

	Ağırlık	UG	EÜG	TUG	AÜKG	DAG
Işık Kirliliği/ Yapay Işık	0,87	0,04	0,07	0,27	0,04	0,57
Altyapısal Yeterlilik	0,13	0,04	0,08	0,28	0,07	0,54
Toplam	1,00	0,04	0,07	0,27	0,05	0,57

Tablo 10'dan anlaşılacağı üzere DAG 0,57 ile ilk sıradadır. 0,27 ile TUG ikinci sıradadır. Üçüncü sırada ise 0,07 ile EÜG yer almaktadır.

IV. TARTIŞMA ve SONUÇ

Son zamanlarda ülkenizde de önem kazanan uzay çalışmalarının temel parametrelerinden olan gözlemevlerinin doğru yerde kurulması hem sağlıklı gözlem sonuçları için hem de maliyet açısından oldukça önemlidir. Bu doğrultuda küresel, bölge ve ülke çapında farklı çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda gözlemevi yer seçimi yapılırken CBS ile birleştirilmiş çok kriterli karar verme yöntemleri, istatistiksel analizler, ilgili parametre ölçümlerinin karşılaştırılması veya öznel bir puanlama sistemi kullanılmıştır. Fakat çalışmalar incelendiğinde bulanık çok kriterli karar verme yöntemlerinin kullanılmadığı görülmüştür. Alanyazında ki bu boşluğun çalışmanın özgün tarafını oluşturduğu düşünülmektedir. Söz konusu boşluğun doldurulması bağlamında çalışmada ülkedeki gözlemevlerinin konumlarının bulanık AHS yöntemi kullanılarak değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Bu amaç doğrultusunda yapılan karar analizi sonucunda Doğu Anadolu Gözlemevi'nin (DAG) hem meteorolojik-coğrafik hem de antropolojik kriterler açısından en doğru konumlandırılmış gözlemevi olduğu sonucuna varılmıştır. Sadece Rüzgâr Hızı kriteri kapsamında Doğu Anadolu Gözlemevi ile TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'nin (TUG) eşit normalleştirilmiş ağırlıkta olduğu belirlenmiştir. Ayrıca TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'nin genel olarak en doğru konum sıralamasında ikinci sırada yer aldığı görülmektedir. Ege Üniversitesi Gözlemevi (EÜG) üçüncü sırada stabilitesini korurken, Toz kriterinde Ulupınar Gözlemevi (UG), Yükseklik/Rakım kriterinde ise Ege Üniversitesi Gözlemevi ile eşit ağırlığa sahip olan Ankara Üniversitesi Kreiken Gözlemevi (AÜKG) üçüncü sırada yer almıştır. Alanyazına bakıldığında da elde edilen sonuçların 2015 yılında Aksaker ve arkadaşlarının [8] ağırlıklı toplam yöntemi kullanarak yaptıkları çalışmanın sonuçları ile paralel olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar her ne kadar gözlemevlerinin işleyişine yönelik bir sıralama vermese de yatırımların maliyet etkinliğinin ve gözlemlerden elde edilen veri kalitesinin değerlendirilmesi açısından önemlidir.

Çalışma gelecekte, alternatif ve kriter sayısı değiştirilerek, uzman sayısı artırılarak, farklı bulanık çok kriterli karar verme yöntemleri veya makine öğrenmesi kullanılarak tekrarlanabilir. Bulunan sonuçlar mevcut sonuçlarla karşılaştırılarak daha doğru sonuçlar elde edilebilir. Ayrıca her ne kadar yer seçimi yerinde ölçüm gibi çok daha detaylı fizibilite çalışmaları gerektirse de sahip oldukları meteorolojik-coğrafik ve antropojenik özellikler doğrultusunda inşa edilecek yeni bir gözlemevi için Doğu Anadolu, Güneydoğu Anadolu Bölgeleri ve Akdeniz'in doğu kısımlarının değerlendirilmesi önerilmektedir.

V. KAYNAKLAR

- [1] D. Güler ve T. Yomralıoğlu, "Suitable location selection for the electric vehicle fast charging station with AHP and fuzzy AHP methods using GIS," *Annals of GIS*, vol. 26, no. 2, pp. 169-189, 2020.
- [2] K. O. Oruç ve M. Arıcan, "Bulanık analitik hiyerarşi süreci ve Bulanık Aras yöntemleri ile polis merkezi kuruluş yeri seçimi: Isparta örneği," *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, c. 24, s. 3, ss. 715-734, 2019.
- [3] F. Kazemi, A. Bahrami ve J. A. Sharif, "Mineral processing plant site selection using integrated fuzzy cognitive map and fuzzy analytical hierarchy process approach: A case study of gilsonite mines in Iran," *Minerals Engineering*, vol. 147, p. 106143, 2020.
- [4] Anonim. (2020, 17 Ağustos). *TÜBA Türkçe Bilim Terimleri Sözlüğü*, [Çevrimiçi]. Erişim: <http://terim.tuba.gov.tr/>
- [5] Anonim. (2020, 17 Ağustos). *Meteoroloji Genel Müdürlüğü* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.mgm.gov.tr/genel/meteorolojiosozlugu.aspx>.
- [6] Anonim. (2020, 3 Kasım). *Vikipedi* [Çevrimiçi]. Erişim: https://tr.wikipedia.org/wiki/G%C3%B6ky%C3%BCz%C3%BC_parlakl%C4%B1%C4%9F%C4%B1.
- [7] N. Demircioğlu Yıldız ve H. Yılmaz, "Işık kirliliği, ortaya çıkardığı sorunlar ve çözüm önerileri," *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, c. 1, s. 36, ss. 117-123, 2005.
- [8] N. Aksaker, S. K. Yerli, M. A. Erdoğan, E. Erdi, K. Kaba, T. Ak, Z. Aslan, V. Bakış, O. Demircan, S. Evren, V. Keskin, İ. Küçük, T. Özdemir, T. Özışık ve S. O. Selam, "Astronomical site selection for turkey using GIS techniques," *Experimental Astronomy*, vol. 39, no. 3, pp. 547-566, 2015.
- [9] Daniyal ve S. J. H. Kazmi, "Optimal site selection for an optical-astronomical observatory in Pakistan using Multicriteria Decision Analysis," *Research in Astronomy and Astrophysics*, vol. 19, no. 9, p. 129, 2019.
- [10] M. Freire, L. Della Ceca, M. Micheletti, I. Novara, B. Garcı'a ve A. Mancilla, "Site analysis in the Argentinean Andean region for the placement of astrophysical observatories and solar photovoltaic power plants. The case of the "Leoncito 2" site," *Advances in Space Research*, vol. 64, no. 2, pp. 551-566, 2019.
- [11] S. Nasiri, A. Darudi, H. G. Khosroshahi ve M. Sarazin, "Site selection for the 3.4 m optical telescope of the Iranian National Observatory," *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, vol. 486, no. 3, pp. 4226-4232, 2019.
- [12] A. Danesh, H. G. Khosroshahi, B. A. M. Javanmardi, . Y. Abedini, H. Altafi, M. Taghavinamin ve S. Sheikhanı, "Iranian national observatory project: seeing measurements at mount Gargash," *Experimental Astronomy*, vol 12, no. 1-2, pp. 145-160, 2019.

- [13] M. F. Aboushelib, A. A. Abozaid, S. Nawar, Y. Hendy ve A. Morcos, "Preliminary site selection for an observatory in the Egyptian Eastern Desert," *Astrophysics and Space Science*, vol. 364, no. 10, pp. 163, 2019.
- [14] G. Abdelaziz, R. Guebsi, N. Guessoum ve C. Flamant, "Search for best astronomical observatory sites in the MENA region using satellite measurements," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 869, pp. 012070, 2017.
- [15] N. Aksaker, S. K. Yerli, M. A. Erdoğan, Z. Kurt, K. Kaba, M. Bayazit ve C. Yesilyaprak, "Global site selection for astronomy," *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, vol. 493, no. 1, pp. 1204-1216, 2020.
- [16] İ. Ertuğrul ve N. Karakaşoğlu, "Performance evaluation of Turkish cement firms with fuzzy analytic hierarchy process and TOPSIS methods," *Expert Systems with Applications*, vol. 36, no. 1, pp. 702-715, 2009.
- [17] G. Bojadziev ve M. Bojadziev, *Fuzzy sets fuzzy logic applications*, Singapore: World Scientific Publishing, 1998.
- [18] A. Onay, C. Karamasa ve B. Sarac, "Application of fuzzy AHP in selection of accounting elective courses in undergraduate and graduate level," *Journal of Accounting, Finance and Auditing Studies*, vol. 2, no. 4, pp. 20-42, 2016.
- [19] H. Deng, "Multicriteria analysis with fuzzy pairwise comparison," *International journal of approximate reasoning*, vol. 21, no. 3, pp. 215-231, 1999.
- [20] D. Y. Chang, "Applications of the extent analysis method on Fuzzy AHP," *European Journal of Operational Research*, vol. 95, no. 3, pp. 649-655, 1996.
- [21] G. Akman ve A. Alkan, "Tedarik zinciri yönetiminde Bulanık AHP yöntemi kullanılarak tedarikçilerin performansının ölçülmesi: Otomotiv yan sanayiinde bir uygulama," *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, c. 5, s. 9, ss. 23-46, 2006.
- [22] M. Karaatlı, N. Ömürbek, İ. Budak ve O. Dağ, "Çok kriterli karar verme yöntemleri ile yaşanabilir illerin sıralanması," *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, c. 33, pp. 215-228, 2015.
- [23] A. Guitouni ve J. Martel, "Tentative guidelines to help choosing an appropriate MCDA method," *European journal of operational research*, vol. 109, no. 2, pp. 501-521, 1998.
- [24] C. Kahraman ve F. Tüysüz, "Group Decision-Making under Uncertainty: FAHP Using Intuitionistic and Hesitant Fuzzy Sets," in *Fuzzy Analytic Hierarchy Process*, Boca Raton, CRC Press, 2017, pp. 103-138.
- [25] T. Kaya ve C. Kahraman, "Fuzzy multiple criteria forestry decision making based on an integrated VIKOR and AHP approach," *Expert Systems with Applications*, vol 38, no. 6, pp. 7326-7333, 2011.
- [26] L. A. Zadeh, "Fuzzy sets," *Information and Control*, vol. 8, no. 3, pp. 338-353, 1965.
- [27] A. Beskese, C. Kahraman ve Z. Irani, "Quantification of flexibility in advanced manufacturing systems using fuzzy concept," *International Journal of Production Economics*, vol. 89, no. 1, pp. 45-56, 2004.
- [28] O. Kulak, S. Cebi ve C. Kahraman, "Applications of axiomatic design principles: A literature review," *Expert Systems with Applications*, vol. 37, no. 9, pp. 6705-6717, 2010.



- [29] F. T. S. Chan ve N. Kumar, "Global supplier development considering risk factors using fuzzy extended AHP-based approach," *Omega*, vol. 35, no. 4, pp. 417-431, 2007.
- [30] P. Van Laarhoven ve W. Pedrycz, "A fuzzy extension of Saaty's priority theory," *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 11, no. 3, pp. 199-227, 1983.
- [31] J. J. Buckley, "Fuzzy hierarchical analysis," *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 17, no. 3, pp. 233-247, 1985.
- [32] N. Y. Pehlivan, T. Paksoy ve A. Çalik, "Comparison of Methods in FAHP with Application in Supplier Selection," in *Fuzzy Analytic Hierarchy Process*, Boca Raton, CRC Press, 2017, pp. 45-72.
- [33] M. B. Ayhan, "Fuzzy ahp approach for supplier selection problem: a case study in a gearmotor company," *International Journal of Managing Value and Supply Chains (IJMVSC)*, vol. 4, no. 3, pp. 11-23, 2013.
- [34] T. Prakash, "Land suitability analysis for agricultural crops: A fuzzy multicriteria decision making approach," ITC Institute, 2003.
- [35] T. Çakar, "Bulanık Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri," İstanbul: İstanbul Gelişim Üniversitesi Yayınları, 2020.



Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

Two-Stage Clustering Approach for the Household Electricity Load Profiles by Fuzzy Logic and Neural Network Techniques

 Uğur Buğra ETLİK ^a,  Yavuz EREN ^{a,*}

^a Department of Control and Automation Engineering, Faculty of Electrical & Electronics Engineering, Yıldız Technical University, Istanbul, TURKEY

* Corresponding author's e-mail address: yeren@yildiz.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1009823

ABSTRACT

In this paper, household electricity load profile (LP) clustering problem is addressed. LP clustering analysis has been utilized as predicted end-user LPs for demand or supply management strategies to maintain the stability of the power systems. The consumption dynamics of the LPs are formed by the combinations of technical and social factors. Hence, discovering the dynamic patterns of the LPs has been a challenging problem. For this problem, we have offered successive applications of Sugeno fuzzy-logic (SFL) and self-organizing map neural network (SOMNN) techniques. Firstly, the data sets of the LPs are clustered by fuzzy logic approach by the reference models which are generated with the common family-types per persons. Then, considering the extra input of the weighted occupancy profiles, SOMNN is performed to improve the clustering result according to the dataset. The proposed strategy has been simulated by MATLAB[®] and the related results are presented.

Keywords: Clustering, Sugeno Fuzzy Logic, Self-Organizing Map Neural Network, Household Load Profiles

Evsel Elektriksel Yük Profilleri için Bulanık Mantık ve Yapay Sinir Ağları Teknikleri ile İki-Kademeli Kümeleme Yaklaşımı

ÖZ

Bu çalışmada, evsel elektriksel yük profili (YP) kümeleme problemi ele alınmıştır. YP kümeleme analizleri ile güç sistemlerinin kararlılığını sağlamada yararlanılan talep veya arz yönetimi stratejilerinin icrasında gerekli olan tahmini son kullanıcı YP tiplerinin elde edilmesi sağlanabilmektedir. YP tüketim dinamikleri hem teknik hem de sosyal unsurların etkileri ile şekillenmektedir. Bu bakımdan, YP dinamik davranışını anlamlandırmak zor bir problemdir. Bu çalışmada, bahsedilen bu problemin çözümü için iki ayrı aşamada sırasıyla Sugeno bulanık-mantık (SBM) ve öz-düzenleyici harita yapay sinir ağları (ÖDHYSA) tekniklerinin uygulandığı çözüm önerilmiştir. İlk olarak, YP veri seti ev halkı sayısı temelli aile tipleri üzerinden modellenen referans yük tipleri dikkate alınarak SBM tekniği ile sınıflandırılmıştır. Daha sonra, evde hâlihazırda bulunan hane halkının zaman bazlı ağırlıklandırılmış şekliyle de belirleyici bir giriş verisi olduğu düşünülerek ÖDHYSA tekniği uygulanıp kümeleme sonuçları iyileştirilmiştir. Önerilen stratejinin benzetim çalışması MATLAB[®] ortamında gerçekleştirilip ilgili sonuçlar sunulmuştur.

Anahtar kelimeler: Kümeleme, Sugeno Bulanık Mantık, Öz-düzenleyici Harita Yapay Sinir Ağları, Evsel Yük Profilleri

I. INTRODUCTION

Clustering can be defined as discovering the natural grouping of a set of patterns, points or objects [1]. Clustering is a widely applicable idea for engineering problems as well as social networks. Also, some problems which need to be addressed by the both of those fundamental fields become the center of attraction for clustering problems. In this manner, the clustering of electricity load profiles (LPs) has been a popular research interest since the common patterns of LPs have been formed by technical limitations and the socio-economic factors. To explore the consumption dynamics for LPs with respect to pre-determined or self-determined templates are roughly defined as end-user LP clustering. There have been addressed two main approaches for the LP clustering studies [2]: White box approach considers physical properties of the buildings, occupant behavior and periodic behavior of the electrical appliances. Besides that, black-box model focuses on prediction methods by using the criterions of demographics, meteorological database, pricing strategies etc. For evaluation the best performance, commonly used methods such as k-mean, k-medoid and self-organization maps have been used through dividing the LPs into the sub-segments to minimize the data contaminations [3].

LP clustering have been utilized for the demand response (DR) programs, time of use tariff design, demand side management etc. Those applications have frequently addressed to improve the operational quality of power network as well as decreasing the investments to the new power sources. Regarding the recent clustering research, estimated or measured LPs have been referred to propose DR applications. DR applications are addressed to maintain the energy balance between supply and demand. The main objectives fulfilled in the DR programs are shifting the peak load demands to the off-peak periods or decreasing the cost of energy generation by flatten the LP segments which include frequent spikes or sole peak demand. By those modification based activities, end-users consumption have been manipulated according to the supply rate. Even the basic actions implemented at the background, the DR strategies have been proposed with incentive tariffs to shape the individual LD through the ideal options in the clustering sets. In this respect, clustering also directly helps to develop new marketing strategies, determining and updating the pricing policy [4].

For more accurate clustering or more efficient incentive based policies, it has been required periodic acquisition the consumption data of the each end-users. The data reveals the temporal variation in a day rather than the static billing data. Besides, installing the measuring device for each end-users is not realistic solution due to bringing extra costs. For fixing this problem and investigation the certain factors to build a comprehensive demand model, some other variables can be included to the LP estimation problem such as demographic details, environmental factors etc. Hence, instead of using large scale deployments of acquisition devices, the research activities have been directed to develop more efficient utilization of clustering techniques.

Considering the recent stream of the literature, the number of research activities on LP clustering analysis have been increased. Two-stage fuzzy C-means clustering techniques combining in searching for structural relationships with the minimum number of variables are discussed and experiments have been conducted with the composite users of domestic, commercial and small-scale industries to determine the typical LPs [5]. A concurrent k-means and spectral clustering method have been proposed for households [6]. By the mentioned method, the specified period divided into subintervals by the date and the diminished load patterns have been clustered by showing the advantageous of the mentioned technique in terms of computational complexity. Following the segmentation approach for short time forecasting, it has been mattered a unified methodology as handling the samples of 245 substations in Belgian National Grid Operator [7]. The related curves were segmented by extracting temperature and seasonal effects using the periodic auto regression model and then, the k-means clustering method was applied. In a similar fashion, the investigation the LPs of Queensland/Australia have been handled in [8]. Based on the wholesale load data, monthly primary load clusters are built, then the accuracy of those clusters have analyzed with clustering dispersion indicator to extract optimum number of clusters. As a novel perspective, optimization oriented future selection technique has been handled in as the customer profiles separated into load labels [9]. Moreover, the stochastic

factors have been included to the profiles to investigate the adverse effects of uncertainty. In a similar manner, optimization based approach are used to cluster of the real LPs and five different cluster patterns as domestic, commercial, industry, hotels/restaurants and others are specified to analyze the set of profiles [10]. The type of heating ventilation and air-conditioning LPs for some higher educational buildings in Norway have been dealt [11]. A hierarchical cluster analysis focusing on load variation instead of the magnitude metric have presented with Pearson Correlation Coefficient based dissimilarity measure. In a similar fashion, heating load demand profiles of Danish residences with heat pumps have been presented and two types of clusters are offered by correlating the building characteristics such as home site, building year and also the socio economic variable of the existence of children [12]. Focusing on the capturing the load shape variability better than the classical algorithms, subspace projection method has been offered to discretize the load trends in the set of customers to obtain the appropriate cluster number [13]. As the proliferation of smart grid concept, the companies have took steps in the direction to develop incentive programs depending on their electricity consumption behaviors. To this end, companies internal database have utilized as input for clustering techniques. In this aim, it has addressed spectral clustering supporting the analysis with demographic and cartographic data types on the data over 6000 customers without auto meter appliances in Belgium [14]. For regional LP building, it has not been inconvenience to collect the detailed information from each of the home.

In this paper, we have dealt with household LP clustering problem with Sugeno fuzzy logic (SFL) and self-organizing map neural network (SOMNN) methods. At the first stage, we have addressed SFL technique to bring the corresponding LPs together which have the similarities at the most points through the day. Besides, the variation characteristics of the household LPs are strictly depended to the occupancy. Dealing this issue at the second stage, we have carried out the SOMNN method by using the outputs of SFL clustering, as well as the occupancy profiles (OPs). The reference profile set is defined by the profiles which have close relative similarities each other to reveal the merit of the proposed approach. In the MATLAB® environment, the simulation studies have been performed with the reference set and the adequacy of the approach is revealed.

II. METHODOLOGY

A. DESCRIPTION OF THE REFERENCE AND TEST DATA

Household LPs have been generated by the demand model presented in the reference of [15]. This tool provides random realistic electricity consumption data by optional date, household numbers and also the temporal OPs. In this study, we have specified four family types entitled as Type-1, Type-2, Type-3 and Type-4 corresponding to the household numbers of 2, 3, 4 and 5. Firstly, we have generated 100 different random load profiles per each family types to specify reference load profiles. To obtain the reference model for any family type, we have randomized the occupancy of the each LPs in the family type. Hence, the reference model represents the uncertainty in the household temporal occupancy in each family types. Besides, the resolution of the data is also another important factor to capture the dynamic behavior of the profile. The LPs are discretized by a certain sampling time and the corresponding value during the sampling period is assumed fixed. In this manner, Granell et al. have studied on the proper time intervals to distinguish the variation pattern of electricity LPs and they have specified that the load data must be sampled at most 30 minutes intervals [16]. Referring to this study, the profiles are refitted as taken the average consumption or average occupancy data for each 15 minutes in a day. Then, each 100 LPs in the corresponding family types have been averaged regarding the law of superposition through the timeframe.

The reference LPs for each family types are rendered in Fig. 1 and the OPs of the reference types are presented in Fig. 2. Root mean square (RMS) and average values of the reference set are given in terms of the load demand and occupancies by Table 1&2. Reference data set is utilized to check similarities on the test data. Therefore, we need to produce test data to give input to the clustering

algorithm. For this aim, we have also generated main data set which has total of 1000 random LPs uniformly with the each family types. In a similar manner, the profiles are modified as averaging through the consecutive 15 minutes intervals. The LPs and OPs of the main data set are illustrated by Fig. 3&4, respectively.

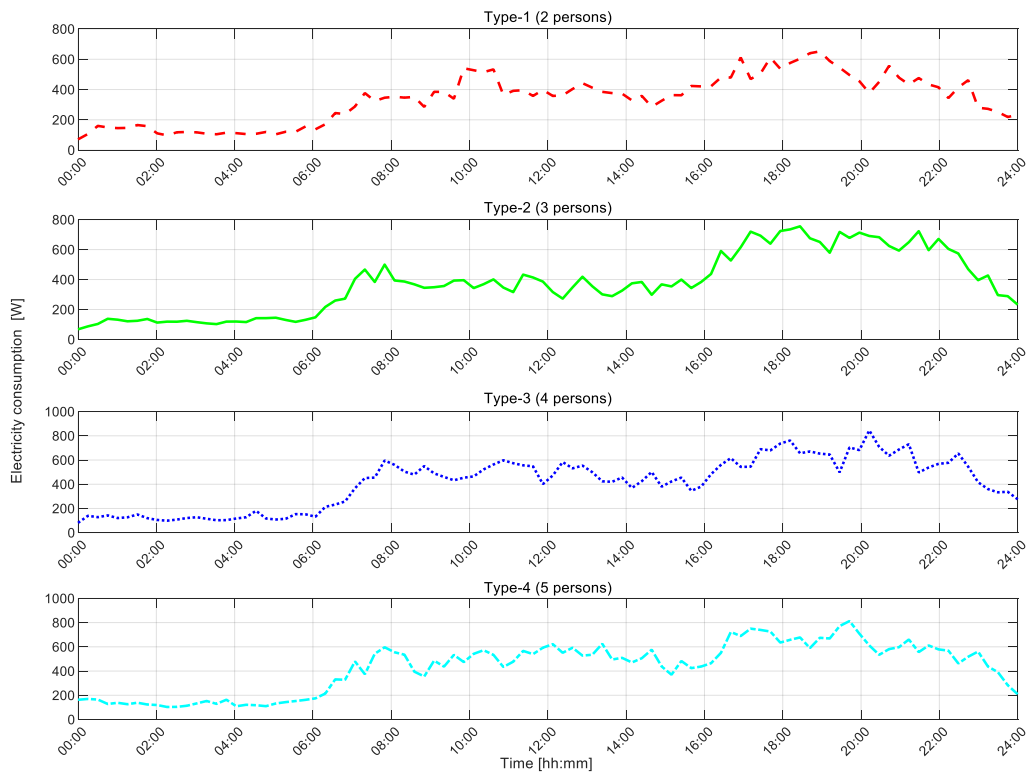


Figure 1. The reference load profiles for each family types.

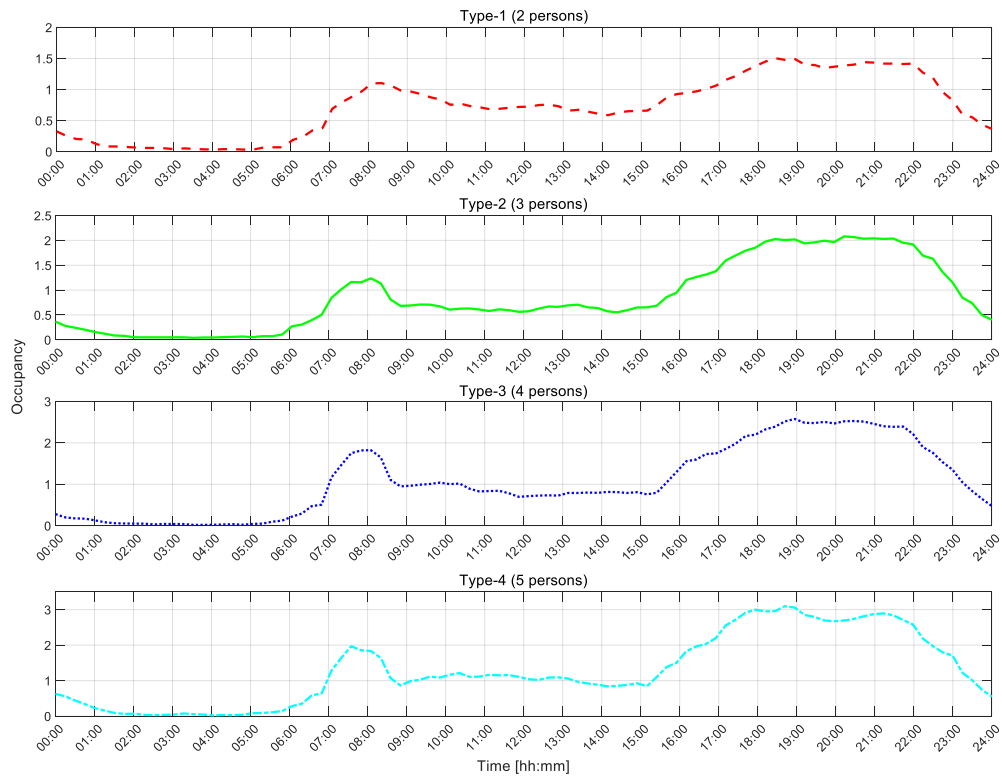


Figure 2. The reference occupancy profiles for each family types.

Table 1. The RMS values of the reference profiles.

Family types	RMS value for the load	RMS value for the occupancy
<i>2 persons</i>	<i>370.9369</i>	<i>0.8655</i>
<i>3 persons</i>	<i>425.6892</i>	<i>1.0944</i>
<i>4 persons</i>	<i>463.8757</i>	<i>1.3589</i>
<i>5 persons</i>	<i>478.1320</i>	<i>1.6072</i>

Table 2. The average values of the reference profiles.

Family types	Average value for the load	Average value for the occupancy
2 persons	336.2161	0.7242
3 persons	375.2784	0.8627
4 persons	415.4393	1.0699
5 persons	431.7255	1.2801

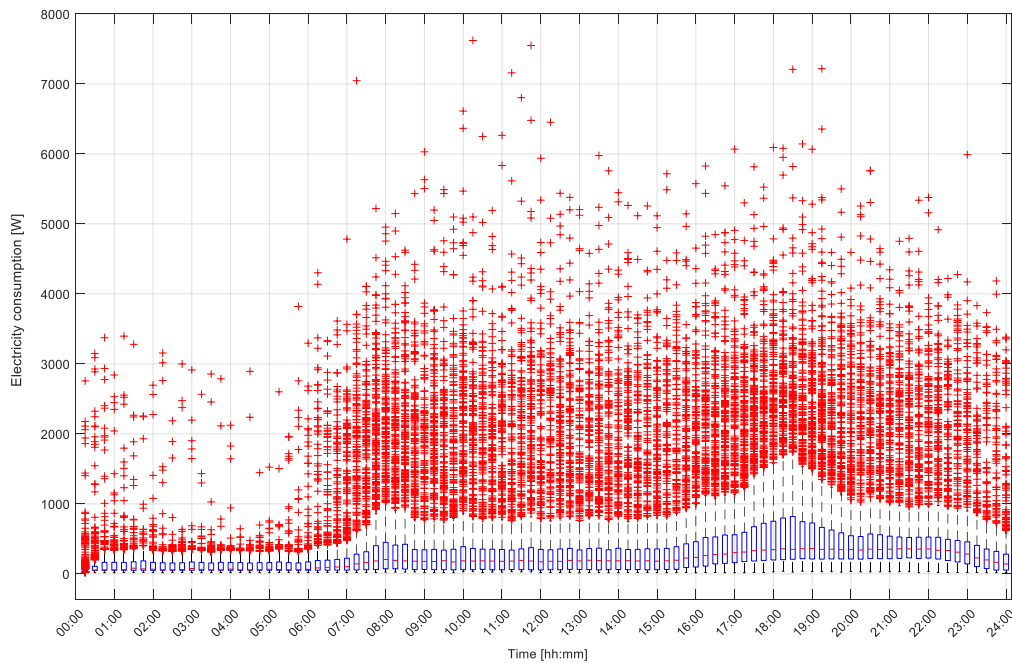


Figure 3. Load profiles for main dataset.

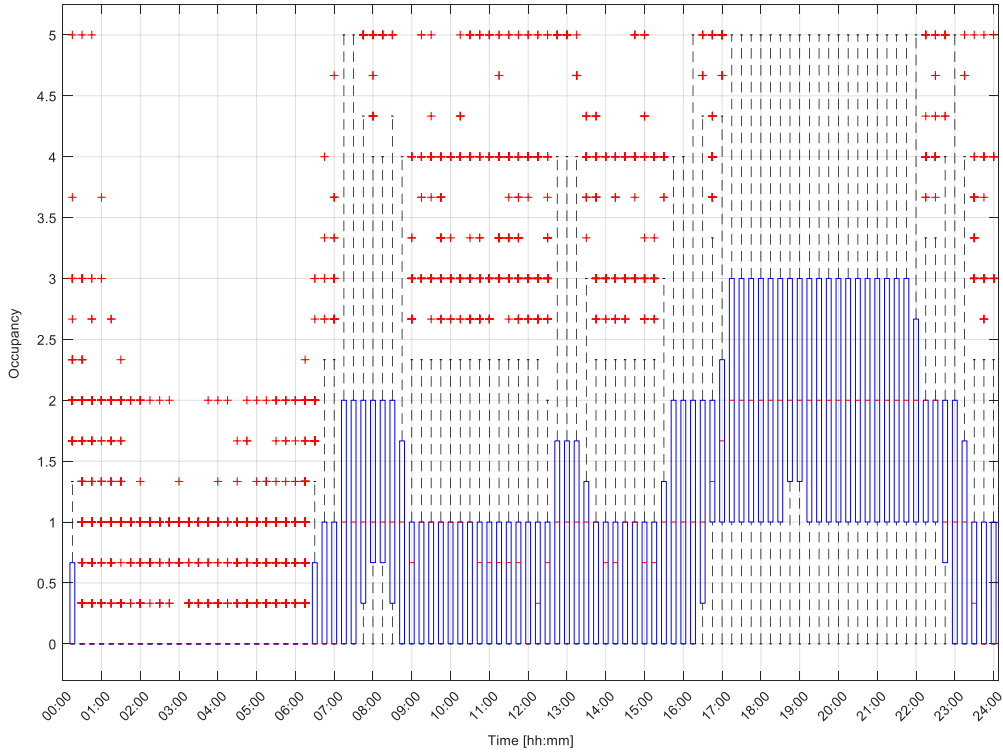


Figure 4. Occupancy profiles for main dataset.

B. CLUSTERING APPROACH

Recent research on the classification of LPs have been mainly referenced to the neural networks, data mining, fuzzy-logic decision, and character estimation techniques. From this perspective, we have adopted a cascaded approach with the techniques of SFL and SOMNN to aggregate household load profiles into specific groups according to their similarities. Fuzzy-logic technique represents the degree of uncertainties for the exact information or decisions [17]. Hence, this technique relaxes the restriction to assign a sample to a certain class which it is useful to make intermediate classification [18]. Instead, it helps to search more options to make a more correct correlation by the membership functions. Besides, SOMNN is also proper technique to detect and classify the dynamic behavior of the load profiles. As a distinct feature of SOMNN compared to the other neural network, it includes special reference vector to make connection between input and output layers [19].

Clustering of the 1000 LPs have been realized by cascaded applications of SFL and SOMNN. At the first stage, SFL technique is applied. In this manner, the LPs have been sampled with 15 minutes intervals for a typical day and 96 different periods of the day are discretized with 1000 elements to evaluate the temporal energy consumption data. Hence, all the data are represented with 96x1000 matrix which each row of the matrix corresponded to the different 15 minutes period of the day. For each row of the matrix include simultaneous data of the test profiles, so SFL technique is separately carried to the each time slot of the day. So that, the reference profiles of the family types have been used to compare with each of 1000 random LPs. This process has been realized by the set of 16 rules which is given in Table 3.

Table 3. Rules of SFL technique.

Reference Energy Consumptin	Household numbers			
	2 Persons	3 Persons	4 Persons	5 Persons
Type-1	0	0.33	0.33	0.66
Type-2	0	0.33	0.66	0.66
Type-3	0.33	0.33	0.66	1
Type-4	0.33	0.66	0.66	1

In this study, we also specialized the clustering analysis paying regard to the occupancy of the households. As we mentioned before, even though the number of households has relatively lower impact on the electricity consumption, the OPs of the households has major effect. This issue is explained as the vast of the appliances or the general energy sources such as lighting, heating, ventilation etc. have simultaneous use by the occupants. Therefore, the major factor on the electricity consumption is the OPs of the households. To include the OPs into the analysis of clustering, we referred self-organizing mapping technique. For this aim, we have weighted to the present output clusters which are obtained by SFL method through the temporal activity of the households. The profiles are weighted with the parameters of 0.05, 0.15 and 0.8 for the time zones of 22:00-06:00, 06:00-14:00 and 14:00-22:00, respectively. Consequently, we have attached priority to the time zone which the occupancy is relatively higher. Then, the profiles have been applied to SOMNN. All the steps of the general clustering procedure are given with Algorithm-1.

Clustering result are presented with Table 4. We have considered 4 family types which has relatively similar numbers of households. Considering the household LPs, the electricity consumption does not have big difference just as adding or subtracting a few persons to the household numbers. If we consider the any family type in the set, it is differed by the nearest types with only one person in the household number. Therefore, the any type in the set has close similarities in the profile with nearest types. Hence this case makes the clustering procedure relatively difficult by those reference forms. Table 5 presents RMS values of each load and occupancy for each reference types. As seen from Table 5, the amount of the total energy consumption close to the each other. Therefore, the types should be paired with the neighboring ones. From this perspective, the proposed clustering approach has achieved 90% success as it is seen from the Table 4. Moreover, if we consider the exact detection of the types, the clustering carried out 50% success. In consideration of the significant resemblance of the profiles, this is acceptable performance.

Clustering results have also been visualized with Fig. 5. This figure present the clusters per each reference types and the proper profiles according to Algorithm-1. From Fig. 5, it can be inferred that the profiles are classified through the proper reference types because the average and the variation patterns are relatively corresponded to the types. Moreover, we have provided Fig. 6 to evaluate the results from general perspective. Fig. 6 projects the comparison of the reference types and the average of the each clusters. From this figure, it can be commented that overall trends of the each reference types and also the average energy consumptions show similarities.

Algorithm 1. Clustering of the household load profiles.

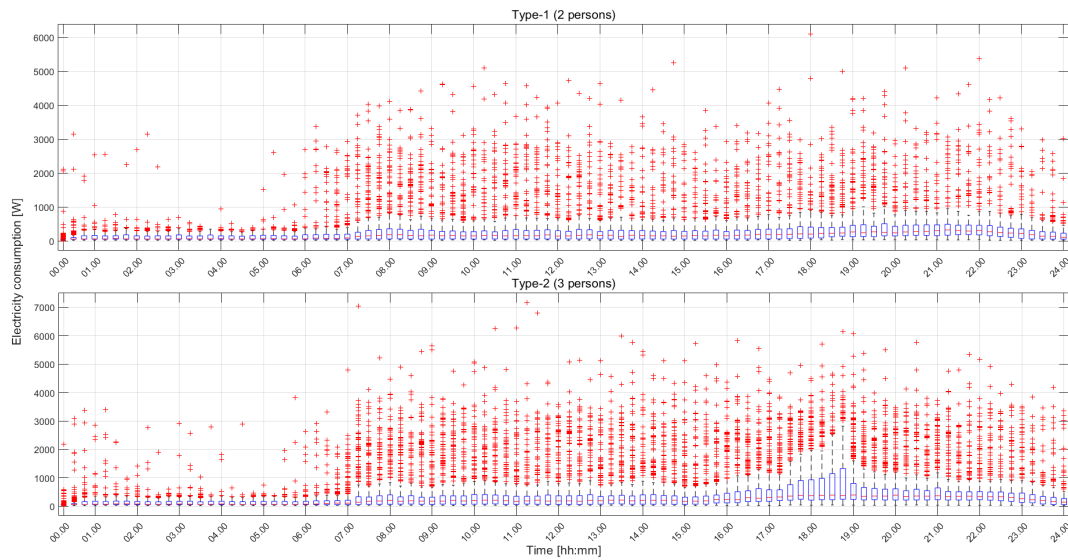
Step 1	:	Get the 100 load and occupancy profiles per each family types.
Step 2	:	Calculate the average energy consumption and the average occupancy for the reference profiles.
Step 3	:	Get the 1000 random load and occupancy test profiles.
Step 4	:	foreach 15-minutes time slots in a day
Step 5	:	Get time-based normalized form of the averaged reference profiles.
Step 6	:	Define four membership function per each normalized reference profiles
Step 7	:	Define 4*4=16 fuzzy-logic rules per each membership functions.
Step 8	:	Get time-based normalized form of the test profiles.
Step 9	:	foreach test profiles
Step 10	:	Execute the SFL decision process
		end foreach
	:	end foreach
Step 11	:	foreach output profiles of the SFL technique
Step 12	:	Execute the SOMNN decision process
		end foreach

Table 4. Clustering of the load profiles by SFL&SOMNN techniques

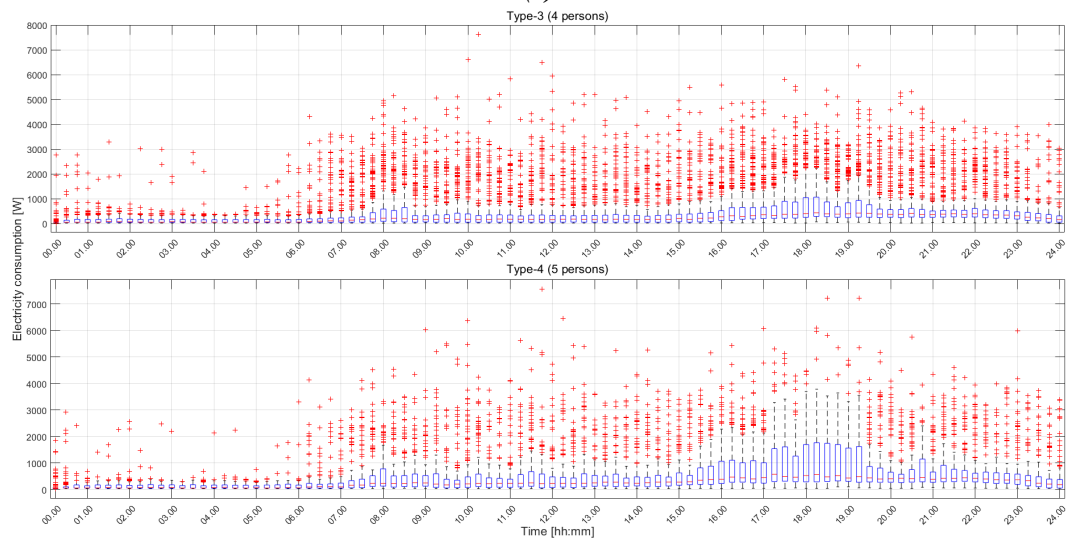
Reference Types	Clustering Results			
	Type-1	Type-2	Type-3	Type-4
Type-1	165	81	4	0
Type-2	60	120	66	4
Type-3	36	76	111	27
Type-4	11	50	90	99

Table 5. RMS values of load and occupancy for reference profiles

Reference Types	RMS	
	Energy Consumption	Occupancy
Type-1	370.9369	0.8655
Type-2	425.6892	1.0944
Type-3	463.8757	1.3589
Type-4	478.1320	1.6072



(a)



(b)

Figure 5. Clustering of the LPs corresponding to the family types

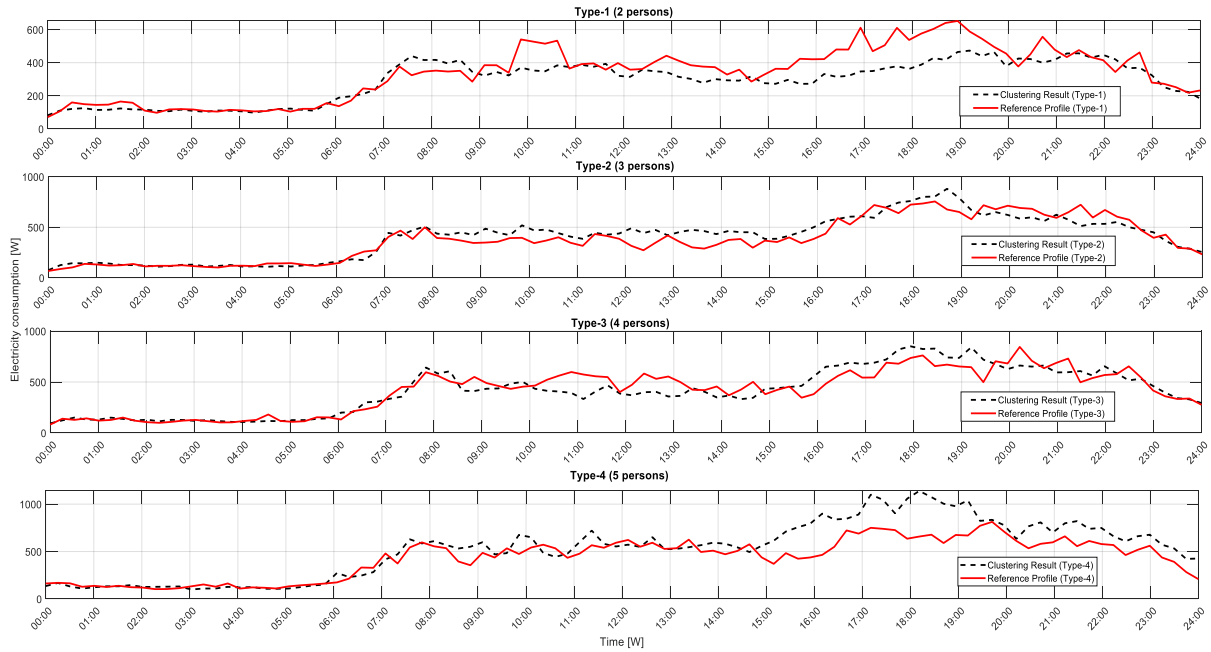


Figure 6. Comparison of the reference profile types and the average of the each clusters

III. CONCLUSION

More feasible electricity tariffs for each part of energy market can be obtained by utilizing the clustering techniques for demand or supply side energy management policies. Also, the end-users can be promoted to reform their consumption pattern through the economic tariffs. For this aim, we have provided two-stage approach with SFL and SOMNN techniques. With this approach, we have achieved reasonable clustering success to match the profiles in the dataset to the corresponding reference profiles. In this manner, we have reached the rate of 90% matching paying regard to the narrow-set of reference models. Besides, considering the reference models separately the success rate is about 50%. Taking accounting the fact that, the reference sets cannot be undifferentiated considerably by increasing or decreasing one person in the number of households for each family type. Hence the narrow-cluster types of reference models make the problem challenging as their profile dynamics have close similarities. For the future studies, we shall to consider different types of LPs to cluster. Also, referring to the inferences from the clustering analysis, we shall provide DR applications to maintain the stability of the grid.

IV. REFERENCES

- [1] A. Jain, "Data clustering: 50 years beyond K-means," *Pattern Recognition Letters*, vol. 31, no.8, pp. 651-666, 2010.
- [2] Z. Wang and T. Hong, "Generating realistic building electrical load profiles through the Generative Adversarial Network (GAN)," *Energy and Buildings*, vol. 224, no. 110299, pp. 1-15, 2020.
- [3] F. McLoughlin, D. Aidan and M. Conlon, "A clustering approach to domestic electricity load profile characterisation using smart metering data" *Applied Energy*, vol. 141, pp.190-199, 2015.

- [4] J. Aghaei and M. I. Alizadehand, "Demand response in smart electricity grids equipped with renewable energy sources: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 18, pp. 64-72, 2013.
- [5] Z. Zakaria and K. L. Lo, "Two-stage fuzzy clustering approach for load profiling," presented at the *44th IEEE UPEC*, Glasgow, UK, 2009.
- [6] L. Sun, K. Zhou and S. Yang, "An ensemble clustering based framework for household load profiling and driven factors identification," *Sustainable Cities and Society*, vol. 53, no. 101958, pp. 1-11, 2020.
- [7] M. Espinoza, C. Joye, R. Belmans, and B. D. Moor, "Short-term load forecasting, profile identification, and customer segmentation: a methodology based on periodic time series," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 20, no. 3, pp. 1622-1630, 2015.
- [8] D. Colley, N. Mahmoudi, D. Eghbal, and T.K. Saha, "Queensland load profiling by using clustering techniques," *IEEE AUPEC*, Perth, Australia, 2014.
- [9] K. A. Choksi, J. Sonal and N. M. Pindoriya, "Feature based clustering technique for investigation of domestic load profiles and probabilistic variation assessment: Smart meter dataset," *Sustainable Energy, Grids and Networks*, vol. 22, no. 100346, pp. 1-11, 2020.
- [10] J. N. Fidalgo, M. A. Matos and L. Ribeiro, "A new clustering algorithm for load profiling based on billing data," *Electric Power Systems Research*, vol. 82, no. 1, pp. 27-33, 2012.
- [11] Z. Ma, R. Yan and N. Nord. "A variation focused cluster analysis strategy to identify typical daily heating load profiles of higher education buildings," *Energy*, vol. 134, no. 1, pp. 90-102, 2017.
- [12] C.M.R. do Carmo and T. H. Christensen. "Cluster analysis of residential heat load profiles and the role of technical and household characteristics," *Energy and Buildings*, vol. 125, no. 1, pp. 171-180, 2016.
- [13] M. Piao, H. S. Shon, J. Y. Lee and K. H. Ryu "Subspace projection method based clustering analysis in load profiling," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 29, no. 6, pp. 2628-2635, 2014.
- [14] D. Vercamer, B. Steurtewagen, D. V. Poel, and F. Vermeulen,"Predicting consumer load profiles using commercial and open data," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 3, no. 1.5, pp. 3693-3701, 2015.
- [15] I. Richardson, M. Thomson, D. Infield and C. Clifford, "Domestic electricity use: A high-resolution energy demand model," *Energy and Buildings*, vol. 42, no. 10, pp. 1878-1887, 2010.
- [16] R. Granell, C. J. Axon and D. C. H. Wallom, "Impacts of Raw Data Temporal Resolution Using Selected Clustering Methods on Residential Electricity Load Profiles'," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 30, no. 6, pp. 3217-3224, 2015.
- [17] L. A. Zadeh. "Fuzzy sets," *Information and Control*, vol. 8, pp. 338-353, 1965.
- [18] R. Xu and D.C. Wunsch, "Clustering," *Wiley-IEEE*, 2009.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

“Nöromimari” Yaklaşımı ve Hastane Yapılarındaki Mekânsal Ögelerin Kullanıcılar Üzerindeki Etkisi

 Elif SÖZER^a,  Yüksel TURCAN^{b,*}

^a Mimarlık Anabilim Dalı, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Karabük Üniversitesi, Karabük, TÜRKİYE

^b Mimarlık Bölümü, Mimarlık Fakültesi, Karabük Üniversitesi, Karabük, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: yukselturcan@karabuk.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.961458

ÖZ

Hastaneler, bireylerin fizyolojik, psikolojik, nörolojik hastalıklarının tedavi etmek için tasarlanmış sağlık kurumlarıdır. Yanlış tasarımlar sonucu oluşturulmuş bazı sağlık kurumlarında, bireylerin hastalıkları neticesinde artmış olan stres, kaygı, korku gibi duyguları daha fazla tetiklenebilmektedir. Hasta, mekânsal unsurların içsel stresi tetiklediği durumlarda çevresini kontrol edememenin güvensizliğini yaşayabilmekte; bundan dolayı da iyileşme süreci olumsuz anlamda etkilenebilmektedir. Belirsizlik, kaygı, korku gibi duygularla hastaneye gelen hasta ve yakınlarını bu olumsuz duygulardan kurtaracak mekânlar tasarlamak onların yaşama bağlanmasında ve sağlıklarını geri kazanmalarında yardımcı olabilir. Nöromimari yaklaşım bu tür sorunların çözümüne katkı sağlayabilecek potansiyele sahiptir. Nöromimari yaklaşım sinirbilimciler ve mimarlar arasındaki ortak çalışma alanı olarak, mekânla insan arasındaki ortak ve doğru iletişim dilinin kurulması amacıyla gündeme gelmiş ve uygulama alanı bulmuştur. Literatüre son zamanlarda dahil olmuş, ancak ülkemizde henüz yeterince tanınmamaktadır. Bu paradigma; mekânı ve mimariyi terapötik sürece dahil etme anlayışıyla geliştirilmiştir. Çalışmada bu paradigmanın hastane yapılarındaki önemine dair bulgular tartışılmaktadır. Başlangıçta nöromimari kavramı ve temellerine değinilmiş, daha sonra bu kavramın, kullanıcı duyarlılığının en fazla olduğu mimari örnekler olarak sağlık yapılarıyla ilişkisine yer verilmiştir. Bunun için belirli hastane örnekleri seçilmiştir. Bu örnekler tasarım kriterlerinin sosyo-kültürel alt yapıdan beslendiği; yerel esintileri barındıran, kişilerin yaş, hastalık grubu ve duygusal ihtiyaçlarını dikkate alan insani ölçekte mimari tasarımlardır. Bu bağlamda ele alınan hastane örnekleri “konsept, amaç, zenginleştirme, mahremiyet, hortikültürel terapi, renk, ışık, ses-müzik, doku, form” gibi mekânsal ögeler bağlamında değerlendirilmiştir. Sonuç bölümünde ise elde edilen bulgularla mimari tasarım yaklaşımlarında nöromimari anlayışın gerekliliğine dikkat çekilmiş ve uygulama yöntemleri üzerine değerlendirmelerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Nöromimari, Sinirbilim, Nöropazarlama, Hastane yapıları.

Approach of Neuro-Architecture and the Effects of Architectural Elements on Their Users in Hospital Buildings

ABSTRACT

Hospitals are health institutions designed to treat physiological, psychological, and neurologic diseases of individuals. At some health institutions, individual's feelings such as stress, anxiety and fear which are concerned with their illness can be triggered more because of their bad designs. The patient may experience the insecurity of not being able to control his environment in case spatial factors trigger their internal stress; therefore, the healing process may be adversely affected. Designing spaces that will save patients and their relatives who come to the hospital with feelings such as uncertainty, anxiety and fear from these negative emotions can help them connect to life and regain their health. As an interdisciplinary working subject between architects and neurologists; The neuroarchitecture approach has become current issue and started to be implemented with aim of establishing

correct communication between space and human. Recently it has been included in literature but still not yet known well in our country. This paradigm has been developed with the comprehension that incorporates space and architecture into therapeutic processes. In the study, the findings which leads to importance of the paradigm in hospital buildings are discussed. At the beginning, the concept of neuroarchitecture and its foundations were mentioned, afterwards, this concept's relation is given with the health institutions as they are the architectural examples with the highest user sensitivity. For this, specific hospital samples were selected. These examples are architectural designs in human scale that their design criteria are fed by socio-cultural infrastructure; they contain local inspirations; and they take care of individuals' age, disease group and emotional needs. In this context, the selected hospital examples were evaluated in the terms of spatial elements such as "concept, purpose, enrichment, privacy, horticultural therapy, color, light, sound-music, texture, form". In the conclusion part, with the obtained findings, the necessity of neuroarchitecture comprehension in architectural design approaches has been drawn attention and the evaluations have been made on the application methods.

Keywords: Neuroarchitecture, Neuroscience, Neuromarketing, Hospital building.

I. GİRİŞ

Fiziksel çevre, insanların duygusal-davranışsal dışavurumu ve refahını etkiler. Bu etkiler kimi zaman bilinç düzeyinde fark edilse de nedenini bilmediğimiz duygular, somatik tepkilerle dışa vurulabilir. Bu dışa vurumlar olumlu olabileceği gibi bazı uyaranların zihinsel ve fiziksel sağlığı olumsuz etkilemesine bağlı, negatif sonuçlar da ortaya çıkarabilmektedir. Genel olarak çevresel uyaranların sağlık üzerindeki etkisi birbiriyle kolaylıkla ilişkilendirilmez. Oysa yapay mimarinin beynin mimarisini doğrudan etkileyecek manipülatif bir gücü vardır. Bu konuyla ilgili olarak ülkemizde çevresel psikoloji alanında çalışmalar olsa da sinirbilim ve nöropazarlama tekniklerini mimarlık disipliniyle bütünleştiren araştırmalara rastlanamamaktadır. Yapay çevrenin bireyin algısal dünyasındaki etkilerini anlamak ve sağlıklı mekânlar tasarlamak için mimarlık ve sinirbilimin multidisipliner anlayışla geliştirdikleri nöromimari paradigmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu çalışmada, kullanıcı duyarlılığının üst düzeyde olduğu sağlık yapıları çerçevesinde nöromimari anlayışın tasarım süreçlerine katkısı tartışılmakta ve bu yapılardaki önemine dikkat çekilmektedir. Bu bağlamda çalışma öncelikli olarak; mekânın insan sağlığı ve iyileşme süreçlerine etkilerini tartışmakta ve nöromimari anlayışıyla tasarlanan hastane örneklerine yönelik analizleri ve değerlendirmeleri içermektedir.

II. NÖROMİMARİ

Mekânsal fenomenlerin çağrışım yoluyla iletişim kurma gücü, mimarlığa -öklit geometrisi yapılar olmaktan öte- daha kavramsal anlamlar ihtiva etme sorumluluğu vermektedir. İşlevsellik fiziksel ihtiyaçlara hitap ederken simgesellik de ruhsal ve zihinsel ihtiyaçlara karşılık gelir. Bundan dolayıdır ki; mimarlığı duyunun algıya, algının davranışa dönüştüğü süreçte tasarım tasarımcısını tasarlar paradoksuyla değerlendirmek gerekmektedir. Bu paradoks işlevsellik, estetik ve psikolojik bütünlükle tasarım sürecinde “yaşayan mekânlar” oluşturmaya katkı sağlayacaktır.

Kullanıcı çevreyi ya da mekânı, duygularının da etkilediği duyularıyla algılar. Geniş bir yelpazede değerlendirilmesi gereken algı kavramında geçmiş yaşam deneyimleri, travmatik olaylar, aile dizilimi, nörolojik faktörler, kültürel veriler, hatta beslenme şekli bile etkili olmakta iken bu kadar çok etkenin şekillendirdiği algı sisteminde farklı kullanıcılara “doğru tasarımı” yapmak nasıl mümkün olacaktır?

Söz konusu “algı” kavramı olunca beynin çalışma sisteminin hassasiyetle incelenmesi gerekmektedir. Son yıllarda yapılan nörolojik çalışmalarda beyin faaliyetleri, uyaranlara verdiği tepkiler, hormonal sistemlerin çalışması gibi konularda ciddi aşamalar kat edilmiştir.

İnsan davranışlarını etkileyen mekânsal ya da çevresel unsurların önemini kavramak için etki-tepki süreçlerini ve mekanizmalarını çok iyi analiz etmek gerekmektedir. Mimari öğeleri insan ögesiyle bütünleştirmek demek; tasarım unsurlarını en ince ayrıntısına kadar irdelerken, o tasarımı deneyimleyecek olan insanın da tüm yönleriyle analiz edilerek, bütünleştirmek demektir.

Modern çağın en büyük sorunlarından biri mimariyi yaşamak için değil pazarlamak için tasarlamasıdır. Bu anlayışla tasarlanan mekânlar yaşamsal var oluşa dair doğru mesajları içermemektedir. Dış çevredeki kaos ve düzensizlik, insanın iç dünyasına duyu ve algı yoluyla taşınmakta ve bilinçdışı öğeleriyle pekiştirilerek davranış yoluyla dışa vurulmaktadır. Bu kısır döngüyü kırmak ve mekânının inşa sırasında insanı da geliştiren tasarım anlayışını gerçekleştirmek için arkitektonik bilgiyle psikoloji, sinirbilim, nöropazarlama gibi bilim dallarının multidisipliner bir yaklaşımla etkileşim içinde olması gerekmektedir.

“Mimari, beynin otomatik pilottaki davranışlarını değiştirebilir ve insanları daha sağlıklı davranmaya teşvik edebilir mi? Mimarlar sosyalleşmeyi ve mutluluğu artıran mekân ve şehirler yaratabilir mi? Tasarım öğeleri suçluluk düzeylerini düşürebilir mi?” gibi soruların cevaplarını araştırmak mimarlığa hem teoride hem de pratikte büyük katkılar sağlayabilir.

Mimarlığın varoluşsal görevi insan ile mekân arasındaki anlamlı bütünlüğü ve senkronizasyonu sağlamak ve bu şekilde aidiyet duygusu oluşturarak insanın varoluşuna hizmet etmektir. İnsanın içinde bulunduğu varoluş çabası, onun bir “yere” aidiyetiyle gerçekleşebilir.

Cansever [1], “İslam’da Şehir ve Mimari” adlı kitabında mimariyi şu şekilde tanımlamaktadır: “Mimari, insanın çevresini biçimlendirme çabasının ürünüdür. Varlığın bütün yönlerini kapsayan ve hayatın getirdiği tüm sorunlarla sürekli etkileşim halinde olan mimari; maddi, bio-sosyal, psikolojik ve ruhi-akli varlık düzeylerinde geliştirilir. Sonuçta insan hem mimariyi geliştirirken hem de karar verme süreçlerinde dikkate aldığı sorunların farklı yönlerini değerlendirmekte ve nihayet çeşitli seçenekler arasından tercih yapmaktadır.”

Botton [2], “Mutluluğun Mimarisi” adlı kitabında mimarlığın amacını, ruhun derinliklerinde kalmış iyi yanların ortaya çıkmasını sağlayacak, bunları besleyip yaşatmayı teşvik edecek nesnelere ve dekoratif unsurlar yaratmak olduğunu vurgulamaktadır. Ayrıca insanın içinde yaşadığı mekânların ruh halini ve davranışları biçimlendirmesine, ruhunu ve kaybolan gerçek benliğin neye gereksinim duyduğunu hatırlatacak mekânlara ihtiyacı olduğunu yazmaktadır.

Mimarlar, inşa edilmiş yapıların veya mekânların insan davranışlarını ve duygularını etkilediğinin farkındadırlar. Fakat hem bu farkındalığın pratikte uygulanmasında hem de bu süreçlerin “nasıl?” işlediği konusunda halen eksiklikler mevcuttur. Bu sorunun cevabı sinirbilim ve nöropazarlama araştırmalarının mimarlığa entegre edilip multidisipliner bir anlayışla gerçekleşecek çalışmalar sonucunda verilebilecektir. Mimarlar, beyni ve davranışları araştıran sinirbilimcilerin elde ettikleri verileri tasarımlarında kullanarak yeni ve olumlu gelişmelere katkı sağlayabilirler.

Ayrıca, farklı kullanım amaçlarına göre yapılan mimari uygulamalarda nöromimari, beynin daha verimli alanlar yaratması amacıyla da kullanılabilir. Nöromimaride ele alınacak olan beynin çalışma sistemleri, kullanıcı profili, yapının işlevi şeklindeki üç faktör dikkate alınarak yapılan tasarımlar yaşayan mekânlar inşa edilmesinde önemli rol oynayabilir. Sinirbilimciler ve mimarlar arasındaki korelasyondan doğan nöromimari paradigmasının kanıta dayalı araştırma sonuçlarına göre pratikte de uygulanması ve kuramsal nitelik kazanması, beyin ve mekân arasındaki iletişim dilini çözmeye yardımcı olabilir.

III. NÖRO-MİMARİ ANLAYIŞ VE HASTANE ÖRNEKLERİNDE DEĞERLENDİRİLMESİ

Hastaneler sadece kalabalık çalışan grupları ve karmaşık araç gereçleri ile değil, yardıma ihtiyacı olan kullanıcıları ve ziyaretçileri ile kendine özgü bir yapıya sahiptir. Hastaların iyileşme süreçlerini hızlandırmak adına, hasta-merkezli hastane tasarımı anlayışı gündeme gelmiş ve hastaların iyileşme sürecinde sunulan tasarım dilinin oldukça etkili olduğu anlaşılmıştır. Hasta merkezli hastane tasarımı anlayışında mekân kullanıcı ilişkilerinin değerlendirilmesini destekleyen öğelerin hepsi bu sürece katkıda bulunmaktadır.

Mimarlık gibi insanı, fizyolojik, psikolojik ve nörolojik açıdan bir bütün olarak değerlendiren bir diğer disiplin de Tıp Bilimi'dir. Tıp biliminde, insanın iyileşmesine etki eden fizyolojik, psikolojik ve nörolojik faktörler üzerinde çalışılırken, mimarlıkta da mekânsal unsurların ve tasarımın insan üzerindeki etkilerine dair araştırmalar yapılmaktadır. Mimarlık ve Tıp pratiğini bir araya getiren multidisipliner yaklaşım ise mekân algısı ve mimari tasarımın insanın psikolojik dolayısıyla fizyolojik yapısına etki edip etmeyeceğidir.

Doğru mekânsal unsurlar kullanılarak yapılacak olan bir hastane tasarımında olumsuz duyguları minimuma indirilerek hastanın ve de çalışanların kendilerini daha iyi hissetmesi, olumlu davranışsal tepkiler vermesi sağlanabilir. Bu da psikolojik veya psikofizyolojik hastalıkların tedavilerinde önemli bir adım olabilir. Kısacası, hastaneler kullanıcının fizyolojik, psikolojik (estetik, sosyal, güvenlik, huzur gibi) ihtiyaçlarını karşılayabilmelidir.

Ruhsal veya fiziksel yönden hassas olan hastaların yaşadıkları evden farklı bir yer olan hastanelerde kalmak zorunda olduklarında fiziksel ortamın yetersizliği sorunlar yaratabilmektedir. Otel konforunda planlanan hastanelerde koğu sisteminden oda sistemine geçilmesi, banyo, wc gibi hizmet mekânlarının özel olması yuva konforunu hastalara sunmaktadır. Yine de otel konforundaki bu hastanelerin kullanıcı üzerindeki etkileri, bir araştırma konusu olabilmektedir. Örneğin; renk, form, ışık, koku, ses gibi mekânsal unsurlar hastaya bilinç düzeyinde ihtisamlı bir konfor alanı oluştururken bilinçdışı düzeyde, kullanıcıları/hastaları iyileştirme potansiyelinin olup/olmadığı merakını uyandırmaktadır.

Zira akıl sağlığı ile ilgili tasarlanan kuruluşlar, kurumsal bir standartta kasvetli binalar olarak tasarlanabilmektedir. Bunun nedeni zaten mental olarak eksiklikleri veya hastalıkları olan insanların tasarımsal öğeleri dikkate almayacağı düşüncesidir. Oysaki; mental olarak hasta olan insanlar bile çevresindeki uyaranlara tepki verebilmekte ve zihinsel performansları artabilmektedir.

Bu da bu tür yapılarda nöromimari yaklaşımının gerekliliğine işaret etmektedir. Nöromimarinin kullandığı temel bileşen hortikültürel terapi'dir. Bu terapi'de doğanın iyileşme sürecine etkisinden faydalanılmaktadır.

Uslu ve Shakouri [3], hortikültürel terapiyi, “çocuk ya da yetişkin, fiziksel veya zihinsel engelliler ile herhangi bir nedenle hastanede tedavi gören her yaş gurubu bireyin iyi olma halini destekleyen bitki, toprak ve doğa gibi elemanlara dayalı bir tedavi edici, eğitici ve geliştirici aktiviteler bütünüdür” şeklinde tanımlamaktadırlar. Söderback'a atıfta bulunarak, Avrupa'da özellikle dünya savaşlarından sonra ruhsal ve fiziksel olarak yaralanarak eve dönen askerlerin tedavisi için 1950'lerden sonra rehabilitasyon merkezlerinde bitki, su gibi doğal unsurlar terapi aracı olarak, programlarda yoğun bir şekilde kullanılmaya başlandığını belirtmektedirler.

Sakıcı ve Var [4], ruh ve sinir hastalıklarına ait hastane bahçeleriyle ilgili çalışmasında, hastane ortamlarının iyileştirici, rahatlatıcı, uyarıcı, tutarlı ölçü ve armoniye sahip biçim, ışık, malzeme, renk ve dokuya ilişkin ihtiyaçları karşılayacak hem iç hem de dış mekânlara sahip olması; güvenilirlik, temizlik ve profesyonellik mesajları iletmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Ayrıca, hastanenin fiziksel çevresinin kalitesi; hastaların tedavi kalitelerini ve tıbbi müdahaleleri etkilediklerini, çiçek, kaya, gökyüzü, su, ağaç, çim gibi doğaya ait video görüntülerinin bile hastaların ferahlamalarına ve rahatlamalarına yardımcı olduğunu vurgulamaktadır.

Kayan [5], ise araştırmasında Medsen'e atıfta bulunarak insan beyninin doğa ile ilgili uyaranlara karşı son derece hassas olduğunu, nörolojik beslenme kaynağı olan ekolojik karmaşıklığa ihtiyaç duyduğunu, doğal uyaranların hem dikkat dağınıklığına hem de rahatlamaya hizmet ettiğini vurgulamaktadır.

Tüm bunlar, hastane tasarımlarında, nöromimari anlayışıyla kanıta dayalı olarak tasarlanacak olan doğal ortam; tedavilerin etkisini en üst düzeye çıkaracak ve iyileşme sürecini hızlandırabileceğini göstermektedir.

A. HASTANE ÖRNEKLERİ

Çalışmada özellikle terapi amaçlı tasarlanan hastanelere yer verilmiştir. Bu örnekler; zihinsel ve ruhsal olarak hasta olan kişileri rehabilite ederken mekânları da iyileşme süreçlerine dahil etmiştir. Hastane örnekleri özellikle nöromimari bakış açısına sahip mimarların tasarımlarından ve nöromimari ile ilgili akademik çalışmalara konu olan yapılardan seçilmiştir.

Maggie Merkezleri bu bağlamda yapılan öncü yapılandırdır. Doğa ve mimarinin iyileştirici etkilerini barındıran, geçtiğimiz yüzyılın en önemli mimari kuramcılarında olan Charles Jencks'in daha sonradan "umudun mimarisi" olarak isimlendirdiği ilkelerle tasarlanan, yeni bir kanser tedavi merkezi fikri üzerindeki çalışmaların ilk ürünü olarak Edinburg'da açılmıştır. O günden bu yana büyümeye devam eden Maggie'nin Merkezleri bugün İngiltere, İskoçya ve Hong Kong'da olmak üzere toplam 20 adet bulunmaktadır. Bu merkezlerin önemli bir özelliği de dünyanın ileri gelen mimar ve tasarımcıların elinden çıkmış olmasıdır. Frank Gehry, Norman Foster, Rem Koolhaas, Zaha Hadid ve Kisho Kurokawa bunlardan bazılarıdır.

Maggie Kanser Merkezleri Jencks çiftinin çevre ve binaların birlikte insanları nasıl daha enerjik, rahat ve mutlu yapabilecekleri konusunda yaptıkları araştırmalardan çıkardıkları sonuçlara göre tasarlanmıştır. Sıcak, resmi olmayan ve misafirperver evler gibi düşünülmüştür. Bu merkezlerde kayıt gereksinimi olmadan, hastaların içeri girip kendilerini rahat hissettiği, zaman geçirebildiği ve hastaların birlikte sohbet edebildiği sıcak ortam oluşturulmuştur. Özel görüşmelerin bile yapılabildiği bu ortamlarda açık mekân anlayışı fikri kaybolmamıştır.

Bu merkezlerde hastalar için, klasik hastanelerde olmayan psikolojik, sosyal ve ekonomik terapiler düzenlemekte; tai chi, yoga, yaratıcı yazarlık, sanat ve müzik terapileri gibi etkinler dileyen herkes için açık şekilde uygulanabilmektedir.

Merkezler olabildiğince doğal, yeşil alanlarla iç içedir. Özellikle bahçe anlayışı, Maggie merkezlerinde basit bir estetik unsurdan çok daha fazlasıdır. Bu anlayış, hastaların hem rahatlayacağı hem de başkalarıyla karşılaşp iletişim kurabilecekleri ortamları oluşturmuştur. Aydınlatma, doğal ışığın kullanımı, ahşabın sıcaklığı ve kokusu, taze havanın hissedilmesi hastaları olumlu yönde etkilemiş ve kendilerini gözle görülür biçimde daha iyi hissetmelerini sağlamıştır.

Maggie merkezlerinin dışında verilen, benzer özellikleri içeren hastane örneklerinde ise mekânsal unsurlar kullanıcıların yaş ve hastalık gruplarına göre şekillendirilmiştir.

Bu çerçevede, yukarıda verilen genel bilgilerin dışında, çalışma için seçilen Maggie Merkezlerinden yedi; yaş ve hastalık gruplarına göre tasarlanan yapılarda üç olmak üzere toplamda on farklı hastane binasına ait diğer karakteristik özellikler şu şekilde açıklanabilir (Tablo 1).

A. 1. Maggie's Oldham/dRMM ve Umut Mimarisi

dRMM Architects ahşabın insanlar üzerinde yarattığı olumlu etki, kendine özgü güzelliği, gücü ve sıcaklığı nedeniyle tasarımda Amerikan lale ağacını seçmiştir [6]. Basit ama sofistike bir şekilde kullanılan ahşap malzemeyle iç mekânda sürprizli bir ortam oluşturulmuştur. Girişte ziyaretçi, aşağıdaki bahçeyle, gökyüzüyle ve beklenmedik manzaralarla karşılaşmaktadır. İnce sütunlarla desteklenen bina;

çam, huş ağacı, lale ve kavak ağaçlarıyla çevrili bir bahçenin üzerinde yer almaktadır. Ayrıca binada, hareketli şeffaf yüzeylerle doğayı içine alan bir yeşil doku bulunmaktadır.

A. 2. Maggie's Centre Fife, Victoria Hospital

Zaha Hadid Architects tarafından tasarlanan Maggie's Center Fife, Kirkcaldy'deki Victoria Hastanesi arazisi içinde yer almaktadır. Kanserli insanlar için bir kaynak ve danışmanlık merkezi sunan bu bina; ölçek olarak yerli mimariye uygun, ancak uygulama açısından özgün bir tasarıma sahiptir.

Maggie's Center Fife, hastaneye bitişik bir yamaçta yer almaktadır. Yamaç, doğal bitki örtüsü ve ağaçlarla birleştiğinde, Victoria Hastanesi'nin diğer tesislerinin tam aksine çok farklı korunmuş bir ortam yaratan çarpıcı topografyaya sahiptir. Tek katlı bir yapı olarak, Maggie's Center Fife, bu doğal boşluğu çevreleyen mevcut ağaç dizisinin devamı niteliğindedir. Merkez, iki farklı alan türü arasında; doğal manzaraya açılan bir kapı boşluğu gibi doğa, peyzaj ve hastane sıralamasıyla bir geçit olarak tasarlanmıştır. Hacim ve Peyzaj dışarıdan merkezin formunu oluşturmaktadır [7].

A. 3. Maggie's Cancer Centre Manchester

Norman Foster ve ekibi tarafından tasarlanan Manchester merkezi, bahçe ortamında bir ev atmosferi oluşturmayı hedeflemektedir. Foster bu merkezle ilgili olarak; misafirperver, arkadaş canlısı ve bir hastane veya sağlık merkezinin kurumsal referanslarından yoksun bir bina yaratmayı düşünmüştür. Bundan dolayı doğal ışık, yeşillik ve manzarayı dikkate almış, seranın ve doğanın iyileştirici niteliklerini vurgulamıştır. Çevreyle uyumlu ahşap malzemelere yer vermiştir.

Ağaçlarla çevrili caddenin sonunda inşa edilen bina, güneşli bir alanı kaplamakta ve tek kat üzerinde düzenlenerek çevresindeki sokakların konut ölçeğini yansıtmaktadır. Çatı, üçgen çatı ışıklarıyla doğal olarak aydınlatılan bir asma kat oluşturmak için ortada yükselerek hafif ahşap kafes kirişlerle desteklenmektedir. Kirişler, farklı iç alanlar arasında doğal bölmeler görevi görerek, mimariyi görsel olarak çevreleyen bahçelere ayırmaktadır [8].

A. 4. Maggie's Centre Dundee

Maggie Merkezlerinden bir başka örnek İskoçya'nın Dundee kentinde yer alır. Frank Gehry ve ekibi tarafından tasarlanmış ve 2003 yılında tamamlanmıştır. Frank Gehry'nin geleneksel İskoç mimarisinden esinlendiği bu merkez, dalgalı gümüş çatılı kır evi benzeri bir bina formuna sahiptir [9].

Bir önceki bina örneğinde olduğu gibi, hastanelerin kurumsal ortamına karşı; hastalıkla kişisel olarak ilgilenmek için daha dostane bir yer yaratma kararlılığı ile tasarlanmıştır. Kanserden etkilenen hastalara sakin bir dinlenme alanı olarak hizmet etmesi düşünülmüştür.

Merkez, yerel ölçekte manzarası olan, eğimli bir yeşil doku üzerindedir. Yapının ön bahçesinde labirent şeklinde bir açık alan düzenlemesi yer alır. Kavisli, çelik çatı binanın dış görünümüne hakimdir. Dinamik formu ile de dikkat çekmektedir. Gehry bu dinamik formla, Maggie merkezlerinin genel niteliklerine bağlı kalarak, binanın kullanıcılarına hem sıcak bir ortam sunmasını hem de gençlik enerjisi aşılmasını düşünmüştür [10].

A. 5. Maggie's South West Wales

Merkez, Japon mimar Kisho Kurokawa tarafından tasarlanmıştır. Kompozisyon, bir hastane bahçesinde, ormanlık alanın yanında yüksek bir konumdadır. Yaklaşım olarak, yaşamın güçlü bir sembolünü temsil eden, sonsuz güçlerin hareketsiz bir merkez etrafında döndüğü kozmik girdap kavramına dayanır. Binanın sarmal bölümleri kavramsal olarak, sıcak ışık şaftlarıyla ayrılırken alternatif toprak ve su bölümleriyle birleşir. Dolayısıyla konsept, binanın hem iç hem de dış kurgusuna spiral formla yansıtılır.

Ortadaki eliptik tambur, binaya sakin, sıcak sosyal bir imaj verirken; kanatlar ve dış teraslar, manzarayı seyretmek için daha kişisel ve odaklanmış bir alan sağlar.

Kisho Kurokawa; iki kollu bu merkezin bir taraftan ziyaretçiyi karşılayacağını; diğer taraftan ise, doğayı, ağaçları, kayaları ve suyu kucaklayacağını belirtir. Ayrıca bu merkezde evrenle bağlantı ve Doğu ile Batı arasındaki temas olmak üzere iki konseptin var olduğunu ifade eder [11].

Binaya görünüm kazandırmak için dış yüzeyine, güneş ışığını yansıtan yüzlerce üçgen titanyum plaka yerleştirilmiştir. Ancak dikkat çekici olan binanın formudur. Plandaki spiral hareket; eğlendiren, yükselirken sağa ve sola kıvrılan iki kola dönüşür. Eğrisel yüzeyler, üçüncü boyutta da devam eder ve binanın görünümünü büyük ölçüde yumuşatır [12].

A. 6. Maggie's Cancer Caring Center / Snøhetta

Oslo'daki Snøhetta stüdyosu, bir İskoç firması olan Halliday Fraser Munro tarafından kavisli ve çakıl biçimli kabuk formunda bir bina olarak tasarlanmıştır. Park alanı ortamında bir pavyon olarak konumlandırılırken, akışkan beton kabuk, iç hacimlerin temiz açılarını hem korur hem de sınırlarını keskinleştirir. Aynı anda yumuşak ve sert olan bu kabuk, kavisli beton duvarları ile iç mekândaki ahşap ve cam arasında ayrıca iç-dış mekân arasında bir geçiş alanı oluşturarak açık ve samimi bir alan yaratır [13]. Merkez, ofis işlevlerine ayrılmış daha küçük bir asma kat alanı ile esas olarak tek katlı bir binadan ibarettir.

Bu merkez bağlamında, psikolojik ve duygusal iyileşme süreçlerinin hizmetinde olabilecek mekânlar, malzeme ve peyzajlarla bütünleşmiş tasarımların önemine vurgu yapılmaktadır [14]. Merak uyandırmak, ziyaretçileri içeriye çekmek, kendilerini rahat ve evlerinde hissetmelerine yardımcı olmak gibi ölçütler bu Maggie binasında da önemli rol oynar. İlginç ama sakin olma özelliğiyle ziyaretçilerin kendilerini daha az endişeli hissetmelerine, daha açık olmalarına, yeni bilgiler almalarına ve başkalarıyla daha iyi iletişim kurmalarına fırsat verilir [15].

A. 7. Maggie's Centre in Leeds

Maggie Merkezi, her biri bir danışma odasını çevreleyen eğimli bir alan üzerine inşa edilmiş farklı boyutlarda, bir araya getirilen üçlü form grubundan oluşur. Bu formlar merkezdeki boşluğu çevreler ve aynı zamanda bir kütüphane ve egzersiz odası gibi grup etkinlikleri için daha fazla sosyal alanlar yaratır. Merkezde, Maggie'nin felsefesinden yararlanarak, insanların kendilerini daha iyi hissetmelerine katkıda bulunabilecek "sağlıklı" malzemeler ve enerji tasarrufu sağlayan teknikler kullanılmıştır. Bina, prefabrik ve sürdürülebilir kaynaklı ladin ahşap sistemden inşa edilmiştir [16].

Merkez yekpare bir çatı yerine; farklı kotlarda, zemine doğru kademelenen, üst üste binen ve ortak alanlar olarak kullanabilen çatı bahçelerinden oluşur. Bu şekilde bahçesinde yer aldığı hastanenin son yeşil alanı da korunarak, bu alan erişilebilir ve davetkar hale getirilmiştir.

Heatherwick Studio ekibi, bu merkezde gerçek dünyanın karmaşıklıklarına rağmen duygusal ve ilginç mekanlar tasarlamayı hedeflemiştir. Tipik klinik ortamlar yerine bir ev ortamı inşa etmeyi; doğal, sürdürülebilir malzemelerle ve zengin yeşil dokuyla kullanıcıları desteklemeyi amaçlamıştır. Ayrıca genel anlamda, sağlık hizmetlerindeki ortamların tasarımlarını vurgulayarak, göz ardı edilmemelerine dikkat çekmiştir.

A. 8. Princess Máxima Centre

LIAG adlı tasarım ekibine ait, Hollanda'nın Utrecht kentindeki çocuklara yönelik kanser hastanesi tasarımı bir başka nöromimari yaklaşım örneğidir. Tasarımda, iyileşme sürecini kolaylaştırmak için gün ışığı, dış ortam, görünüm ve genel yerleşim gibi hususlara özel önem verilmiştir. Mevsimlerin ve atmosferik olayların algılanması; gece ve gündüz ritmi gibi doğal süreçleri destekleyen sakinleştirici bir ortamın oluşturulması, genç hastaların iyileşmesine ve refahına katkıda bulunulması hedeflenmiştir. Dış cephenin renkli yüzeyleri ise gelen çocuklara eğlenceli bir ortama girme isteğini artırmaktadır.

Hastanede, kullanıcılar için; her yaş grubunun ihtiyaçlarına göre tasarlanmış, böylelikle sosyal ve duygusal gelişimi en iyi şekilde uyaran kişisel kullanım alanlarına yer verilmiştir. Ayrıca bir ailenin birlikte yemek pişirip yemek yemesine, sınıfta derslere katılmasına, çocukları ziyaret eden büyükanne ve büyükbabalarıyla vakit geçirmelerine izin veren özel mekanlar da düşünülmüştür. [17]. Bu yaklaşım, peyzaj ve spor alanları ile tesisler arasındaki geçitte de devam ettirilmiştir.

Genç hastalar büyümeye devam ederler. Bundan dolayı bilişsel, sosyo-duygusal ve motor gelişimlerini teşvik etmek önemlidir. Bu da hastane organizasyonunun, iç düzeni ve tesislerinin yüksek standartları karşılama gerektiği anlamına gelir. Buna dikkat edilerek; odalar ve içindeki tüm donatılar bütünsel bir tasarımın parçaları olarak düşünülmüştür. Buna göre, iç mekânlar, binanın her yerinde tanınabilir, anlaşılır ve tanıdık bir ortam sunacak şekilde tasarlanmıştır [17].

A. 9. Östra Psychiatry, Göteborg

İsveç Östra Hastanesi'nde yeni psikiyatri tesisinin tasarımı için bir araya gelen White Architects mimarları, mimarinin, psikiyatri hastalarının ve ailelerinin sıkıntılarını hafifletmede faydalı olup olamayacağı, iyileşmeyi hızlandırıp hızlandırmayacağı ve etkinliği artırıp artırmadığı gibi soruları akılda tutarak tesiste sıcak ve sevecen bir ortam tasarlamışlardır.

Tesisin genelinde var olan doğaya erişim olanaklarının, sağlık ve esenlik üzerinde olumlu etkileri olduğu görülür. Tesiste, bina geometrisinin bir sonucu olarak, yarı kamusal avlular (bahçeler) bulunur. Hastaların doğanın unsurlarına ve bahçeye kontrollü erişimi sağlanırken, bireysel veya çift kişilik birimlerde, tüm odalar doğal gün ışığından yararlanır. Bu durum, hastalarda bağımsızlık duygusu oluşturur.

Projede bu görsel bağlantı ve mekânsal ışık düzeni, bina içinde kullanıcı deneyimi oluşturmasının yanı sıra, hastaları dış ortamla etkileşim halinde olmaya teşvik eder. Doğayı içine alan mekânın yapısı hasta güvenliğini sağlamak amacıyla bazı kısıtlamaları da barındırmaktadır. Doğanın içine dahil olma duygusu fiziksel ve zihinsel yönlerden olumlu etkileri arttırmaktadır [18].

Avluyla kapalı mekanlar arasındaki bağlantı, şeffaf yüzeyler aracılığıyla kurulmaktadır. Bina içinde yer alan bekleme üniteleri avludaki doğal ortamla bütünleşebilmektedir. Böylelikle rehabilitasyon merkezi, doğa ile de bağıni koparmadan tasarım öğeleriyle güvenlik ihtiyacını da karşılamaktadır.

A. 10. Sick Kids Children Hospital Boomerang Health Centre

Renk ve formların başarılı bir şekilde kullanıldığı Sick Kids Hospital Boomerang Çocuk Kliniği'nin tasarımını ve yapımını C&Partners Architects gerçekleştirmiştir. Vaughan, ON'da bulunan kliniğin hasta merkezli tasarımı, sezgisel, eğitici, interaktif ve eğlenceli çağdaş bir alan yaratması amacıyla yapılmıştır. İç mekânlarda, tuhaf ve eğlenceli kurulumlar dahil edilerek, doğa ve oyun temalarına yer verilmiş, çeşitli kültürel özelliklere sahip çocukların ve gençlerin bakış açıları da göz önünde bulundurulmuştur. Mekânın genel estetiği; genç hastaların ve çalışanların tıbbi bir ortamda kendilerini rahat ve güvende hissetmelerine katkıda bulunmaktadır [19].

Sağlık yapılarında renk kullanımı göz geçişlerine kolaylık sağlamak, mekânları hafızada tutmak, yön bulmak ve alanları vurgulamak için önemli rol oynayabilir. Renkler, aynı zamanda mekânsal atmosferin kullanım amacına yönelik de düzenlenmesini sağlayabilir. Fakat burada dikkat edilmesi gereken husus, renk kullanımında olumsuz tetikleyici kombinasyonlardan kaçınmaktır. Bu yüzden, bu sağlık merkezinin tasarımında ana tema ağırlıklı olarak renk kullanımı üzerine gerçekleşmiştir.

Tablo 1. Çalışma kapsamındaki hastane örnekleri.

Hastane örnekleri ile ilgili genel bilgiler		
1- Maggie's Oldham/dRMM	Lokasyon: Oldham, United Kingdom Proje: dRMM Alan: 260 m2 Yıl: 2017 Amaç: Kanser hastaları tedavi merkezi- Umut Mimarisi	
2-Maggie's Centre Fife, Victoria Hospital	Lokasyon: Kirkcaldy, United Kingdom Proje: Zaha HADID Alan: 250 m2 Yıl: 2016 Amaç: Kanser hastaları tedavi merkezi	
3-Maggie's Cancer Centre Manchester	Lokasyon: Manchester, United Kingdom Proje: Norman FOSTER+ Partners Alan: 1922 m2 Yıl: 2016 Amaç: Kanser hastaları tedavi merkezi	
4-Maggie's Centre Dundee	Lokasyon: Dundee , United Kingdom Proje: Gehry Partners Alan: 250 m2 Yıl: 2003 Amaç: Kanser hastaları tedavi merkezi	
5-Maggie's South West Wales	Lokasyon: Swansea, United Kingdom Proje: Kisho Kurokawa Architect&Associates Alan: 302 m2 Yıl: 2011 Amaç: Kanser hastaları tedavi merkezi	
6-Maggies Cancer Caring Center / Snøhetta	Lokasyon: Aberdeen, United Kingdom Proje: Snøhetta Alan: 350 m2 Yıl: 2013 Amaç: Kanser hastaları tedavi merkezi	
7-Maggie's Centre in Leeds	Lokasyon: Leeds, United Kingdom Proje: Thomas Heatherwick Heatherwick Stüdyo Alan: 462 m2 Yıl: 2020 Amaç: Kanser hastaları tedavi merkezi	

Tablo 1. (devam) Çalışma kapsamındaki hastane örnekleri.

8-Princess Máxima Centre	Lokasyon: Utrecht, The Netherlands Proje: LIAG İç Tasarım: MMEK Alan: 45.000 m2 Yıl: 2018 Amaç: Kanser hastası çocuk tedavi merkezi	
9-Östra Psychiatry, Göteborg	Lokasyon: Göteborg, Sweden Proje: Whitearchitecter Alan: 18.000 m2 Yıl: 2006 Amaç: Psikiyatri hastaları tedavi merkezi	
10-Sick Kids Children Hospital Boomerang Health Centre	Lokasyon: Vaughan, Toronto, Canada Proje: C&Partners Architects Inc. Alan: ... Yıl: 2013 Amaç: Nörogelişimsel fizyoterapi	

B. ÖRNEKLERİN İRDELENMESİ

Nöromimari bakış açısıyla tasarlanan hastane yapılarıyla ilgili olarak; Tablo 2’de konsept, amaç, zenginleştirme, mahremiyet, hortikültürel terapi, renk, ışık, ses-müzik, doku, form gibi tasarım kriterleri açısından karşılaştırmaları yapılarak, bu yapılarda dikkat çeken ve öne çıkan hususlara yer verilmiştir.

Burada yer alan sonuç ve bulgulardan anlaşılacağı gibi farklılıklar olsa da nöromimari temelli yaklaşımlar açısından uygulamalarda benzerliklerin olduğu görülebilmektedir. Binalardaki mekânsal öğeler hastaların iyileşme süreçlerine terapötik anlamda katkı sağlayabilecek potansiyeldedir. Bu anlamda özellikle Maggie’s Center’larda yapılan araştırmaların sonucu da mimari çevrenin hastaların iyileşme sürecine olan olumlu ve gözle görülür etkisini göstermektedir. Benzer şekilde, Östra Psychiatry’de iyi tıbbi mimarinin saldırganlık ve şiddeti azaltabileceğini gösterdiği; zorlayıcı ilaçlara duyulan ihtiyacı, kelepçe kısıtlamasının ve yedi gün içinde hastaneye yeniden kabullerin azaldığı tespit edilmiştir.

Tablo 2. Tasarım kriterlerine göre ele alınan hastanelerdeki sonuç ve bulguların karşılaştırılması.

Hastane örnekleri	Tasarım ölçütleri bakımından elde edilen bulgular
1- Maggie’s Oldham/dRMM	Bilimsel olarak etkinliği kanıtlanan ahşap malzeme etkin bir şekilde kullanılmıştır. Açık mekân kullanımı tercih edilmiştir. Dış mekânın başarılı kullanımı gözlemlenir.
2- Maggie’s Centre Fife, Victoria Hospital	Manzara bina içine alınır ve korunaklı bir alan oluşturulur.
3- Maggie’s Cancer Centre Manchester	Hortikültürel terapiye yönelik işlevler ve mekanlar sunularak, kullanıcılarda amaç duygusu sağlanır.
4- Maggie’s Centre Dundee	Stresi azaltma ve iyileştirme vurgusuyla rahatlatıcı bir ortam yaratılarak peyzaj ve dış mekân rolünün önemi vurgulanır.
5- Maggie’s South West Wales	Tüm iç mekânlarda manzaradan ve çevreden optimum düzeyde faydalanılır. Sürdürülebilir malzemeler kullanılmıştır.
6- Maggie’s Cancer Caring Center / Snøhetta	Kanser hastalarının, onların yakınlarının ve merkezin çalışanlarının ihtiyaçlarını (bilgilendirme, dinlenme, rehabilitasyon vb.) destekleyen olumlu ve kullanışlı mekanlar içerir. Yumuşak dış form tüm ana mekanları şekillendirir ve zihinsel aktiviteyi hareketlendirir.
7- Maggie’s Centre in Leeds	Çatı bahçeleri ile yoğun peyzaj kullanımı, ahşap malzeme tercihi, geniş şeffaf yüzeylerle manzara ve ışıktan faydalanma vardır.

Tablo 2. (devam) *Tasarım kriterlerine göre ele alınan hastanelerdeki sonuç ve bulguların karşılaştırılması.*

8- Princess Máxima Centre	Renk kullanımıyla çocukların oyun ve gelişimi için çeşitli olanaklar sunulur.
9- Östra Psychiatry, Göteborg	Biçimsel yapısı, kullanıcılara bağımsızlık duygusu oluştururken, aynı zamanda kontrol imkânı sağlar. Şeffaf yüzeyler, uygun renk seçimi ve iç bahçe kullanımı da öne çıkar.
10- Sick Kids Children Hospital Boomerang Health Centre	Yumuşak hatlı, eğrisel formların kullanımı ile şekil, doku ve renk çeşitliliği dikkat çeker.

Bu tür yapılarda yer seçimi, bina ölçeği, hortikültürel terapiye yönelik işlevlere yer verilmesi, özel/ yarı kamusal/ kamusal alan tanımlarına dikkat edilmesi, malzeme seçimi özellikle de ahşabın kullanımı, renk ve doku tercihleri gibi kavramlar dikkat çeken tasarım ölçütleridir. Özellikle manzarayı içine alan korunaklı alanlarda, hortikültürel terapinin ve zenginleştirilmiş çevrenin hastaların stresini azaltmada, kendilerini güvende hissetmede ve yaşama sevinçlerini korumada önemli birer etken olduğu görülmektedir.

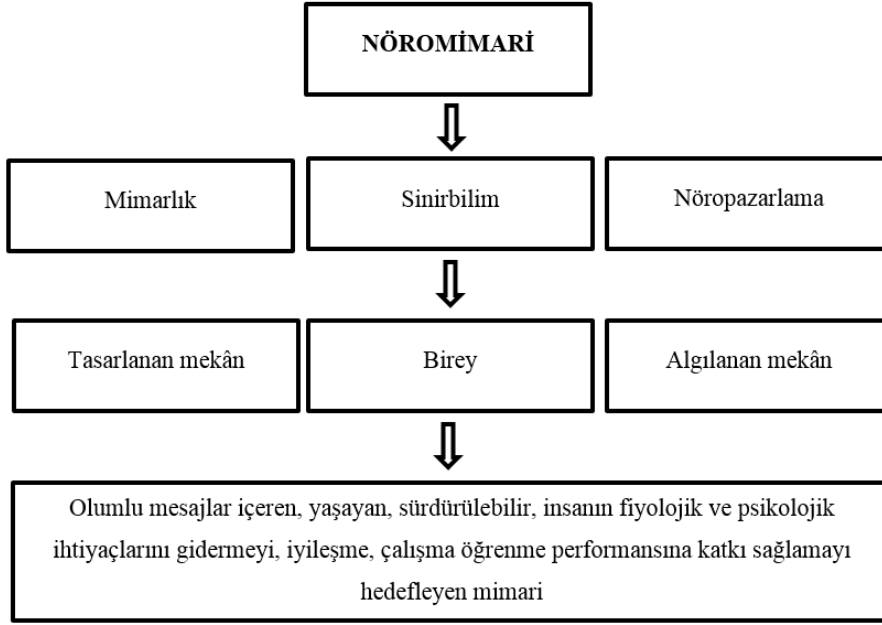
Tüm bu örneklerden anlaşılmaktadır ki; hastane tasarımlarında mimari mekânların iyileşme süreçlerine dahil edilmesi son derece hassas bir konu olarak ele alınmalıdır. Aksi takdirde hastanın güvensizlik, belirsizlik, endişe gibi duygularını tetikleyen olumsuz uyarılar, motivasyonu düşürerek iyileşme sürecini etkileyebilir. Bundan dolayıdır ki; özellikle sağlık yapılarında nöromimari temelli tasarımlar doğru bir yaklaşım olacaktır.

IV. SONUÇ VE DEĞERLENDİRMELER

Tasarım tasarımcısını tasarımlar mottosuyla hazırlanan bu çalışma, mimarlık ve sinirbilimin kesiştiği noktada çevreye ya da mekâna ait algılar, yorumlar ve dışavurumlar hakkında yönlendirici bir paradigma sunmaktadır. Tasarım bilişsel bir işlem olmasının yanı sıra bilinçdışı, psikoloji, algısal yorumlamalar, hayat görüşü, estetik algı, kültürel ve sosyal alt yapı gibi kavramları da kapsar. Bütüncül bakış açısıyla değerlendirilmesi gereken önemli bir konudur.

Mekânsal unsurların doğru biçimde kullanıldığı alanlarda kullanıcı psikolojik ve sosyal açıdan kendini iyi ve güvende hisseder. Dolayısıyla mekânın kalitesi, insanın fizyolojik gereksinmelerini karşılaması yanında psikolojik gereksinmelerini de karşılama düzeyi ile ölçülmelidir. Mekân kalitesini yani yaşam kalitesini artırmak, tasarlanan mekân ile algılanan mekân arasındaki uyum sonucu oluşmakta, fiziksel mekândan alınan veriler, duygusal veriler ile birleşerek psikolojik, sosyal ve fizyolojik yapıda değişkenliklere neden olmaktadır.

Bu bağlamda, Şekil 1'de görüldüğü gibi mimarlık, sinirbilim ve nöropazarlama araştırmalarının birlikteliği ile geliştirilecek olan holistik bakış açısı; olumlu mesajlar içeren, yaşayan, sürdürülebilir, insanın fizyolojik ve psikolojik ihtiyaçlarını gidermeyi, iyileşme, çalışma, öğrenme performansına katkı sağlamayı hedefleyen mimari anlayışın gelişmesine katkı sağlayabilir.



Şekil 1. Nöromimarinin Mimarlık disiplinine katkısı [20].

Nöromimari; sinirbilim, beyin yapısı, duyu, algı teorileri ve Gestalt psikolojisinin yanı sıra müzik, sanat, doğa ve mimariyi, yapısal parametrelere, bireyin mimari mekân içindeki hareketine ve bilinçdışının dışavurumuna odaklanan bütüncül bir yaklaşımla ele almaktadır.

Ayrıca nöropazarlama araştırmaları reklam ve pazarlama sektöründen mimarlığa kadar kullanılabilir geniş kapsamlı sonuçları ihtiva etmektedir. Bu sonuçlardan elde edilen çıkarımlar mekân tasarımlarında yol gösterici olabilir. Nöropazarlamada kullanılan renk, doku, koku, müzik (ses) gibi duyu uyaranları aynı zamanda mekân tasarımlarında davranış şekillendirici olarak çok büyük etkiye sahiptir. Amaç bu deneylerin kavranması ve mekân tasarımlarında pratikte de uygulanması için bir bilinç oluşturmaktır.

Bu bağlamda duyu ve algı süreçleri bilmek nöromimari bakış açısında konuya hakimiyeti kolaylaştırabilir. Algı sürecinin öznel ve genel fenomenlerin etkisiyle farklı dışavurumlara sebebiyet vermesi kullanıcı ve mekân arasındaki etkileşime tesir etmektedir.

Bu yüzden sinirbilim, mimarlık ve nöropazarlama disiplinlerinden elde edilen veriler ışığında tasarıma multidisipliner bir anlayışla yaklaşmak nöromimari paradigmasında yol gösterici olabilir. Bu aşamada beyin fizyolojisi ile hormonal sistemleri bilmek bilinçdışının dışavurum mekanizmalarını algılamakta son derece önemlidir.

Tüm bunların sonucu olarak, nöromimari anlayışıyla yapılacak olan tasarımlarda aşağıda belirtilen sıralama izlenebilir:

1. Sinirbilim, beyin, duyu ve algı ile ilgili literatür araştırmaları yapmak. Yani algı süreci mekânizmalarını, mekânsal tetikleyicilerin davranışsal ve duygusal süreçlerine etkisine dair çalışmaları incelemek.
2. Mekânsal- algısal fenomenler arasındaki iletişime dair uzmanlarla görüşmek.
3. Projelendirme aşamasında gerektiğinde sinirbilim deneylerinden örnekleri uzmanlar yardımıyla kullanıcı denek gruplarına uygulayarak sürecin doğruluğunu teyit etmek.
4. Bu bilgiler ışığında, tasarım parametreleri, mekânın kullanım amacı ve kullanıcıların profilleri de dikkate alınarak projelendirmeyi yapmak.

5. Sanal simülasyon yöntemi ile geliştirilen alanlarda kullanıcılara beyin aktivitelerini ölçecek cihazlar yerleştirilerek ve kullanıcıların olumlu veya olumsuz tepkilerine göre mekânsal unsurlar değiştirilerek doğru tasarımı bulmayı hedeflemek.

Önerilen bu yöntem projelendirme aşamasında geliştirilebilir ya da değiştirilebilir. Burada önemli olan husus nöromimari anlayışının projelendirme aşamasına dahil edilmesidir. Tüm kamu kurum ve kuruluşlarında, sosyal alanlar ve konutlarda uygulanmasının yararlı olacağı; dolayısıyla bu paradigmanın “*yaşayan ve sürdürülebilir mimari*” anlayışını geliştirebileceği düşünülmektedir.

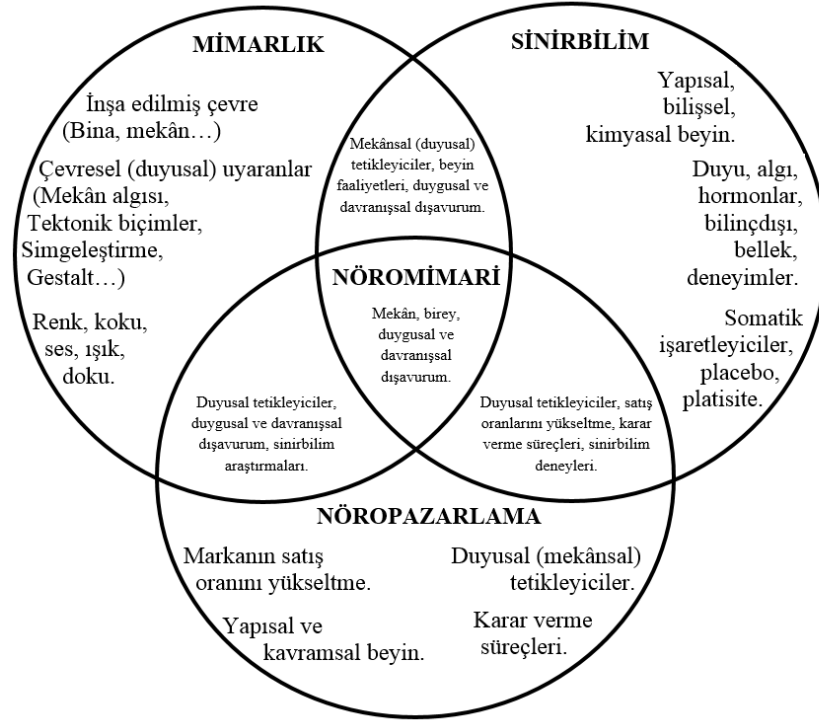
Özellikle sağlık yapılarında mekânsal unsurları da iyileşme sürecine dahil etmek holistik şifa için elzemdir. Zira olumsuz mesajlar içeren hastane mekânları iyileşme sürecini engelleyebilir. Bu açıdan, çalışmada da gösterildiği gibi dünyada nöromimari bakış açısıyla tasarlanan yapılarda hastanelerin veya sağlık kuruluşlarının seçilmesi tesadüf değildir.

Verilen hastane örnekleri; tasarım kriterlerinin sosyo-kültürel alt yapıdan beslendiği, yerel esintileri barındıran, insani ölçekte, kişilerin yaş, hastalık grupları ve duygusal ihtiyaçlarının dikkate alındığı tasarımlardır.

Mekânın insanın ruhsal, bilişsel ve fiziksel performansına olan etkisi düşünülerek yapılan bu hastane tasarımlarında hastaların aidiyet ve kendilerini güvende hissetme duygularını pekiştirme hedeflenmiştir. Belirsizlik, kaygı, korku gibi duygularla hastaneye gelen hasta ve yakınlarını bu olumsuz duygulardan kurtaracak mekânlar tasarlamak onların yaşama bağlanmasında ve sağlıklarını geri kazanmalarında yardımcı olabildiği görülmüştür. Bu da hasta ile empati kurularak yapılan bu tasarımların iyileşme süreçlerindeki olumlu etkisi nöromimari anlayışının ne denli önemli olduğunu kanıtlar niteliktedir.

Sonuç olarak, bundan sonraki süreçte yapılacak olan nöromimari çalışmalarındaki sinirbilim ve nöropazarlama araştırmalarından faydalanılarak, mimarlığa ışık tutan bir yol haritası çizilebileceği düşünülmektedir. Özellikle kanıta dayalı sonuçların alınması mimarlığa formel yapıların ötesinde olumlu mesajlar veren zihinsel ve duygusal dünyayı geliştiren bilişsel bir anlam da kazandıracaktır. Sinirbilim deneylerinin önemli olmasının bir başka nedeni ise; söz konusu bilinçdışı olduğunda bilinç düzeyinde yapılan yorumların yanıltıcı olabilmesidir.

Şekil 2’de nöromimari anlayışın mimarlık, sinirbilim ve nöropazarlama disiplinlerinin bir araya gelmesinin bir sonucu olduğu gösterilmektedir. Grafikte bu disiplinlerin birbirleriyle ortak ya da bağımsız bileşenlerine de yer verilmektedir. Bu bileşenleri insanın duygusal uyaranlara karşı duygusal ve davranışsal dışavurumlarının nedenini keşfetmeye yardımcı unsurlar olarak değerlendirmek mümkündür.



Şekil 2. Mimarlık, Sinirbilim ve Nöropazarlama'da Nöromimari kesişimi [20].

Kesinlikten yoksun sonuçlara ulaşmak yerine kanıta dayalı verileri hedeflemek mimarlık disiplinine katkı sağlayabilir. Mimarlık fenomenleri ile bilişsel fenomenlerin ortak paydasında daha yaşanabilir, iyileşme-öğrenme-çalışma performansını destekleyecek doğru mekânlar oluşturulabilir.

Nörobilim (sinirbilim) ve nöropazarlama teknikleriyle geliştirilen nöromimari kavramının Türk Mimarlık literatüründe bir paradigma olarak, daha güçlü bir şekilde yer alması, kuramsal bir nitelik kazanması ve pratikte de uygulanabilmesi adına yapılan bu çalışmanın mimarlık disiplinine katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

V. KAYNAKLAR

- [1] T. Canserver, *İslam'da Şehir ve Mimari*, Türkiye: İstanbul, Timaş Yayınları, 2012.
- [2] A. Botton, *Mutluluğun Mimarisini*, Çeviri: Banu Tellioglu, İstanbul, Türkiye, Sel Yayıncılık, 2017.
- [3] A. Uslu ve N., Shakouri, "Zihinsel ve fiziksel engelliler için hortikültürel terapi," *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, c. 12, s. 1, ss. 134-143, 2012.
- [4] Ç. Sakıcı ve M. Var, "Ruh ve sinir hastalıkları hastane bahçelerinin (açık alan terapi üniteleri) düzenlenmesi ve düzenlenirken dikkat edilmesi gereken kriterler", *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, c. 14, s. 1, ss. 101-112, 2014.
- [5] C. Kayan, "Neuro- Architecture Enriching Healthcare Environments For Children", Master Thesis Project, Chalmers Architecture, MPARC, 2011.
- [6] Anonim, "Dünyanın İlk Ahşap Lamine Binası; Maggie's Oldham", [mimarizm.com](https://www.mimarizm.com/haberler/gundem/dunyanin-ilk-ahsaplamine-binasi-maggie-s-oldham). <https://www.mimarizm.com/haberler/gundem/dunyanin-ilk-ahsaplamine-binasi-maggie-s-oldham> (Erişim tarihi Haziran 3,2020).

- [7] Anonim, “Maggie's Centre. Fife (Scotland). Zaha Hadid. 2006”, floornature.com. <https://www.floornature.com/maggie-s-centre-fife-scotland-zaha-hadid-2006-4856/> (erişim tarihi Mart 18,2020).
- [8] Anonim, “Maggie's Cancer Centre Manchester / Foster + Partners”, archdaily.com. <https://www.archdaily.com/786370/maggies-cancer-centremanchester-foster-plus-partners> (erişim tarihi Mayıs 2, 2020).
- [9] E. Baldwin, “The Architecture of Healing: 12 Maggie’s Centres by Gehry, Hadid, Heatherwick and More”, architizer.com. <https://architizer.com/blog/inspiration/collections/maggies-centres/> (erişim tarihi Mart 23,2020).
- [10] S. Glynn, “Maggie’s Centre, Dundee Frank Gehry 2003”, galinsky.com. <http://www.galinsky.com/buildings/maggiescentre/index.htm> (erişim tarihi Mayıs 12, 2020).
- [11] Anonim, “Maggie’s South West Wales”, kisho.co.jp. <https://www.kisho.co.jp/page/467.html> (erişim tarihi Temmuz 5, 2020).
- [12] T. Whitehead, “Kisho Kurokawa's Maggie's Centre”, building.co.uk. <https://www.building.co.uk/buildings/kisho-kurokawas-maggiescentre/5037683.article> (erişim tarihi Temmuz 5, 2020).
- [13] Anonim, “Maggies Cancer Caring Center Snøhetta”, theplan.it. <https://www.theplan.it/eng/architecture/maggies-cancer-caring-center-en> (erişim tarihi Haziran 27, 2020).
- [14] A. Davis, “Maggie's Aberdeen by Snøhetta”, dezeen.com. <https://www.dezeen.com/2013/09/13/maggies-centre-aberdeen-by-snohetta/> (erişim tarihi Şubat 13,2020).
- [15] Anonim, “Maggies Cancer Caring Center”, arch2o.com <https://www.arch2o.com/maggies-cancer-caring-center-snohetta/> (erişim tarihi Mart 16,2020).
- [16] T. Heatherwick, “Architecture and design – Leeds”, maggies.org. <https://www.maggies.org/our-centres/maggies-leeds/architecture-and-design/> (erişim tarihi Mart 16,2020).
- [17] Anonim, “Princess Máxima Centre for child oncology”, archello.com. <https://archello.com/project/princess-maxima-centre-for-child-oncology> (erişim tarihi Haziran 18,2020).
- [18] Anonim, “Östra Hospital Psychiatric Facility”, terrapinbrightgreen.com. <https://www.terrabinbrightgreen.com/wp-content/uploads/2015/11/Ostra-Psychiatry-Case-Study.pdf> (erişim tarihi Haziran 1,2020).
- [19] Anonim, “Sick Kids Children Hospital Boomerang Health Centre”, archello.com. <https://archello.com/project/sick-kids-children-hospital-boomerang-health-centre> (erişim tarihi Mayıs 11,2020).
- [20] E. Sözer, “Nöromimari” Yaklaşımı ve Hastane Yapılarındaki Mekânsal Öğelerin Kullanıcılar Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi,” Yüksek lisans tezi, Mimarlık Anabilim Dalı, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye, 2020.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Ordu Kent Merkezi Kentsel Alan Değişimlerinin Yeniden Fotoğraflama ve Fraktal Analiz Yöntemi ile Değerlendirilmesi

 Mesut GÜZEL ^{a,*},  Elif Gülderen GÜZEL ^b,  Ömer ATABEYOĞLU ^a

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

^b Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ordu Üniversitesi, Ordu, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: mesutguzel@odu.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.945017

ÖZ

Birçok insanın yaşadığı kentler; fiziksel ve sosyal yönden, canlı bir organizma gibi sürekli gelişim ve değişim içerisindedir. Bu değişimlerin ne yönde olduğunun belirlenmesi kentlerin geleceğine ışık tutacaktır. Ordu kent merkezinde; geçmişten günümüze hızla gerçekleşen kentsel alan değişimleri, kentin büyükşehir statüsü alması sonucunda ivme kazanmıştır. Bu kapsamda çalışmanın amacı; Ordu kentindeki kentsel alan değişimlerinin ortaya konulmasıdır. Çalışmada, Ordu kent merkezine ait eski tarihli hava fotoğrafları ve kent merkezinde belirli noktalardan çekilmiş olan eski kent fotoğrafları kullanılmıştır. Hava fotoğrafları günümüzün uydu görüntüleri ile kıyaslanmıştır. Kentsel mekânlara ait konumu belirlenen fotoğraflar ise mümkün olan en yakın açı ile yeniden çekilmiş ve geçmiş ile günümüz arasındaki değişim değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmenin kantitatif olarak desteklenebilmesi için fraktal analiz yönteminden yararlanılmıştır. Kent kimliğinin pekiştirilmesine katkı sağlayan olumlu değişimler ile kent kimliğine zarar veren ve plansız yapılaşmanın göstergesi olan olumsuz değişimler çalışmanın bulguları kapsamında tartışılmıştır. Çalışma sonucunda kent merkezinin tarihsel süreçte estetik yönden doğru bir gelişim göstermediği belirlenmiştir. Bununla birlikte fraktal analiz sonuçlarına göre kent merkezinde karmaşanın ve mekân zenginliğinin geçmişe göre arttığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kentsel alan, Peyzaj değişimi, Yeniden fotoğraflama, Fraktal analiz, Ordu kent merkezi

Evaluation of Urban Area Changes in Ordu City Center with Repeat Photography and Fractal Analysis Methods

ABSTRACT

Cities where many people live are in a continuous development in terms of physical and social aspects like a living organism. Determining the direction of these changes will shed light on the future of cities. In Ordu city center; The rapid urban area changes from the past to the present have gained momentum because of the city's metropolitan status. In this context, the study reveals the urban area changes in the city of Ordu. In the study, old-dated aerial photographs of Ordu city center and old city photographs taken from certain points in the city center were used. Aerial photographs have been compared with today's satellite images. The photographs of the urban spaces, whose location was determined, were re-taken with the closest possible angle and the change between the past and the present was evaluated. This evaluation was quantitatively supported using the fractal analysis method. The positive changes that contribute to the reinforcement of the urban identity and the negative changes that damage the urban identity and are the indicator of unplanned construction are discussed within the scope of the findings of the study. Because of the study, it was determined that the city center did not show a correct development in terms of aesthetics in the historical process. However, according to the results of fractal analysis, it was determined that the complexity and richness of space in the city center increased compared to the past.

I. GİRİŞ

Kent; insanların hayatını düzenlemek üzere meydana getirdiği, insan hayatını yönlendiren, biçim veren bir çevresel yapıyı [1], aynı zamanda kendine özgü ilkelere sahip, ulaşılabilir, özgün ve kültürel yapıyı ifade etmektedir [2]. Bir kenti daha iyi ve yaşanabilir bir hale getirmek, insan yaşamını daha kaliteli kılmak ve refah düzeyini artırmak ancak kentin koruma-kullanma dengesi içinde devamlılığının sağlanması ile mümkündür.

Sanayi devriminin bir sonucu olarak insan gücünün yerini makinelerin alması, teknolojinin hızla gelişmesi, nüfusun kontrolsüz ve aşırı artışı, çarpık kentleşme gibi olgular kentlerin kendine özgü yapısını olumsuz yönde etkilemiş ve kentleri değiştirmeye zorlamıştır. Bu değişimden ülkemiz de payını almış ve yaklaşık olarak son iki yüz yıldır toplumsal olarak, son yüz yıldır ise mekânsal olarak bir değişim süreci içine girmiştir. Kentsel değişim olgusu Osmanlı döneminde başlamış, Cumhuriyet dönemi ile birlikte çağdaşlaşma olarak sadece içerik değiştirmiştir. Bu süreçte kültürel değişimle birlikte günümüz yaşam koşullarına kadar gelmiş ve kentlerimiz mekânsal olarak bir değişim sürecine girmiştir [3].

Yüzyıllar boyunca şekillenerek günümüze ulaşan kentler hiç şüphesiz tarihi bir değer atfedilen ve medeniyetleri buluşturan yerlerdir [4]. Bir kentin tarihi arka planı; kentin gelenekleri, göreneklere, insanların yaşayış biçimleri, bugüne kadar var olan eserleri hakkında önemli bilgiler vermektedir. Ordu kent merkezinde de günümüze dek ulaşabilmiş ve belirli koruma statüleri olan cami, şadırvan, kilise, konut gibi çok sayıda tarihi yapı bulunmaktadır. Bu yapıların büyük çoğunluğu; Şarkıye, Taşbaşı, Saray, Zaferimilli, Düz, Aziziye ve Selimiye mahallelerinde yer alır. Bu mahallelerin oluşturduğu bölge kentin tarihi çekirdeği olarak nitelendirilebilir. Taşbaşı, Zaferimilli ve Aziziye mahallelerinin bir kısmını içine alan bir adet kentsel sit alanı yer almaktadır. Tescilli yapıların varlığı, kentteki sit alanı ile sınırlı değildir. Kentteki tescilli yapı sayısı 143 olup, bunların 131 tanesi sivil mimari örneği, 12'si ise anıt eser niteliğindedir. Bu 143 tescilli yapının, 94 tanesi sit alanı içinde, 49 tanesi ise sit alanı dışında bulunmaktadır [5].

Kentsel ve kırsal peyzajlarda meydana gelen değişimlerin izlenmesinde uzaktan algılama yöntemleri etkili ve doğru sonuç verdiğinden sıklıkla kullanılmaktadır. Bununla birlikte, kentlere ait geçmiş tarihli fotoğraflar, süreç içinde yaşanan değişimleri insan ölçeğinde detaylar ile gözler önüne sermektedir. Bu noktada karşımıza yeniden fotoğrafçılık (repeat photography) yöntemi çıkmaktadır. 1880'li yıllarda buzulların izlenmesi amacıyla Avrupa'da geliştirilen bu yöntem; farklı zamanlarda aynı çekim noktasından ve yaklaşık olarak aynı perspektiften fotoğraf çekiminin tekrarlanması sürecidir [6]. Yeniden fotoğrafçılık; tarihi kent dokusunda meydana gelen değişimlerin ortaya konulması [7], geniş peyzajlarda ve bitki örtüsünde meydana gelen değişimlerin belirlenmesi [8-14], afet sonrası değişimin ortaya konulması [15-18], buzullarda meydana gelen erimenin ne düzeyde olduğunun belirlenmesi [19-21] gibi değişim ve dönüşüm içeren pek çok konuda birtakım analizler için kullanılmaktadır. Çalışmada; yeniden fotoğrafçılık ile elde edilen bulgular, fraktal analiz yöntemi ile desteklenmiştir. Fraktal analiz; kentsel alan değişimindeki karmaşıklık, mekân zenginliği, doku gibi değişkenlerin ortaya konulmasında pek çok çalışmada kullanılan bir yöntem olmuştur [4, 7, 22-29].

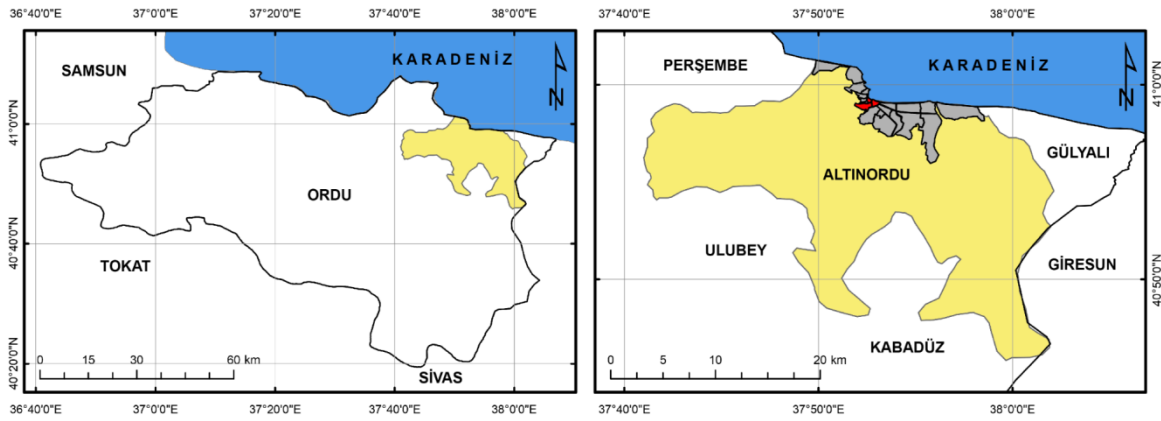
Bu çalışmanın amacı; Ordu kentinin geçmişten günümüze kentsel alan değişimlerinin ortaya konulmasıdır. Çalışmada, Ordu kent merkezinde belirli noktalardan çekilmiş olan eski fotoğraflar yeniden fotoğraflanarak aralarındaki değişim değerlendirilmiş ve bu değerlendirme fraktal analiz

yöntemi ile desteklenmiştir. Ortaya çıkan olumlu ve olumsuz değişimler çalışma kapsamında tartışılmıştır.1

II. MATERYAL VE METOT

A. MATERYAL

Çalışmanın materyalini Ordu kent merkezi oluşturmaktadır. Şekil 1’de görüldüğü üzere, Doğu Karadeniz bölgesinde yer alan Ordu ili; kuzeyde Karadeniz, doğuda Giresun, batıda Samsun, güneyde ise Sivas ve Tokat illeriyle çevrilidir. Ordu ili, Kuzey Anadolu dağlarının Karadeniz’e paralel uzanan kollarından biri olan Canik Dağları ile Karadeniz arasındaki alanda yer alan küçük bir körfezde kurulmuştur. Turnasuyu Deresi, Melet Irmağı ve Cıvil Deresi kentteki önemli akarsulardandır [30].



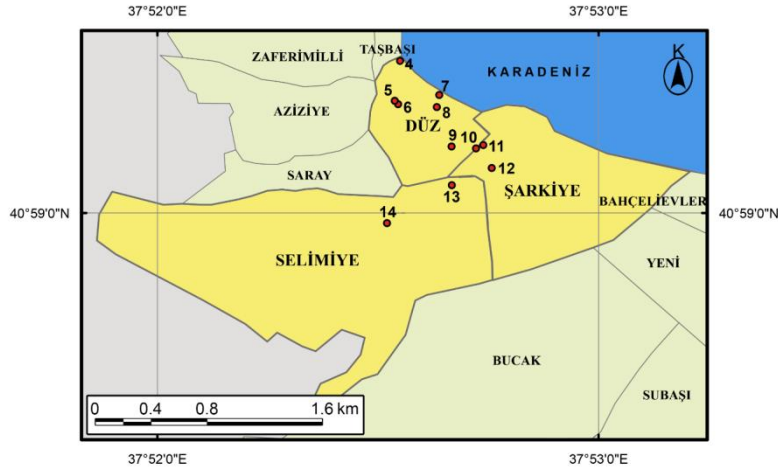
Şekil 1. Çalışma alanının konumu.

Tarihsel süreçte birçok medeniyete ev sahipliği yapan Ordu ilinde, bilinen ilk yerleşim yeri “Kotyora” olarak da adlandırılan Bozukkale’dir. Kentte 18. yüzyıl sonlarına kadar belirgin bir şehirleşme meydana gelmemiştir. Bu hareketsizlik Eskipazar’ın kurulması ile canlanmış ve şehirleşme başlamıştır. Türklerin bölgeye gelmesi ile çeşitli yerleşimler vadi boyunca kurulmuştur. Günümüzde Bucak Mahallesi olarak bilinen bölgede, şehirleşme ve nüfus artışı hız kazandığından Eskipazar önemini kaybetmeye başlamıştır. O dönemlerde Bucak Mahallesi; Selimiye, Aziziye, Saray, Kirazlımanı, Taşbaşı ve Düz mahallerini kapsayan geniş bir alan konumunda yer almaktadır. 1869 Yılında Bucak adının değiştirilmesi ile kent, Ordu adı ile bilinir olmuştur. Ordu ili sürekli ve hızlı değişim süreci ile birlikte gerekli statüleri sağlamasından dolayı 1921 yılında il ilan edilmiştir.

B. METOT

Ordu ilinin genelinde yer alan tarihi dokuda meydana gelen olumlu ve olumsuz değişimler yerinde yapılan gözlem ve arazi çalışması ile sağlanmıştır. Bu çalışmaya farklı kaynaklardan elde edilen eski tarihi dokuya ait fotoğraflar destek sağlamış ve kentin tarihi dokusunun geçmiş ile günümüz arasındaki farkları karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Değerlendirmede kullanılan eski tarihli fotoğraflar, geniş kapsamlı bir arşiv taraması sonucunda seçilmiştir. Fotoğrafların seçiminde; kentteki ilk yerleşimlerin kurulduğu alan içerisinde yer alması, yapı kitleleri ve çevresi itibarıyla tarihi dokuyu en iyi şekilde yansıtması ve yeniden fotoğraflamaya olanak tanınması kriterleri göz önünde bulundurulmuştur. Bu kriterleri sağlayan 14 fotoğrafın çekim noktaları Şekil 2’de verilmiştir. Seçilen bu fotoğraflarda sokaklar, kentin panoramik görüntüleri ve sivil mimari örnekleri yaklaşık olarak aynı bakış açısı ve aynı perspektifle ele alınarak şehrin genelinde meydana gelen değişimin somut olarak ortaya konulması amaçlanmıştır. Bu amaçla, eski fotoğraflar aynı perspektif ile yeniden fotoğraflanmıştır. Yeniden fotoğraflama, referans alınan fotoğrafın yaklaşık olarak aynı açı ve perspektifle çekilmesine olanak

tanıyan “Before-After Cam PRO” adlı mobil uygulama ile gerçekleştirilmiştir. Değişimin ortaya konulmasında ise fraktal analiz yönteminden yararlanılmıştır.



Şekil 2. Çalışmada kullanılan fotoğrafların çekim noktaları ve çalışma alanının lokasyonu.

Kutu sayma esasına dayanan fraktal analiz; uzaydaki bir, iki ve üç boyutlu objeleri tam sayılar yerine kesirli (rasyonel) sayılarla ifade etmektedir. Fraktal boyut değerlerinin elde edilmesinde öncelikle, görüntüleri işlemek için kullanılan yazılım aracılığıyla görüntü siyah beyaz verilere dönüştürülür. Ardından görüntü; yazılım aracılığıyla siyah obje tarafından tamamen kapsanan siyah renkli kareler (DB), siyah objeyle çakışan fakat siyah obje ile tamamen kaplı olmayan siyah-beyaz renkli kareler (DBW) ve siyah objeyle örtüşmeyen beyaz renkli objeler (DW) şeklinde sınıflandırılır. Değerlendirmede kullanılan görüntü, siyah-beyaz vektörel formatta analiz edilmeye hazır hale getirilir. Fraktal değerlerin hesaplanması ve analize hazırlık aşamaları, ImageJ 1.53a yazılımında gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucunda işlenen görüntülerdeki fraktal yapı dağılımının bir göstergesi olarak fraktal değeri elde edilmiştir. Fraktal değer, matematiksel olarak 1 ile 2 arasında değişim gösterir. Elde edilen değer 2'ye yaklaştıkça; şeklin karmaşıklaştığı, estetik özelliklerin ve organik yapının arttığı, objenin uzaydaki oranının büyüdüğü, görsel kalitenin ve mekân zenginliğinin arttığı anlaşılır. Değerin küçülerek 1'e yaklaşması ise, bu sonuçların tam tersini karşılamaktadır [7]. Tam fraktal aralığı 1 ve 2 değerleri arasındaki eşit aralıklı değerleri ifade etmektedir. Bu çalışma kapsamında ayrıca literatürdeki benzer çalışmaların [7, 24-26] izlediği yöntem esas alınarak, eski ve yeni fotoğraflardan elde edilen fraktal değerleri, en küçük ve en büyük değerler arasında eşit aralıklı olarak 5 sınıfa ayrılmıştır. Bu sınıflandırmalar Tablo 2 ve Tablo 3'te verilmiştir. Fraktal analiz sonuçları, kent ölçeğinden yapılan çalışmalarda; kentin karmaşıklığı ve estetik potansiyeli, kentsel unsurların mekânsal dağılımı ve yoğunluk gibi değerlendirmelerin yapılmasına olanak tanımaktadır [7].

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

ImageJ yazılımı ile analiz edilen eski ve yeni fotoğraflara ait fraktal analiz değerleri, mukayesenin daha net gerçekleştirilebilmesi için iki şekilde kategorize edilmiştir. İlki fotoğraflardan elde edilen en yüksek ve en düşük fraktal değer aralığına göre, ikincisi ise fraktal sistemin olabilecek en yüksek ve düşük sınırlarına göredir. Tablo 1 ve Tablo 2'de görüldüğü gibi her iki kategoride de 5 farklı değer aralığı belirlenmiştir. Bu yolla, fotoğrafları hem sabit bir dereceleme sistemi ile genel fraktal alemdeki yerlerini, hem de fotoğrafların kendi şartlarına uygun bir dereceleme sistemine göre kendi aralarındaki durumlarını değerlendirebilmek mümkün olmaktadır. Buna göre; eski fotoğraflar en düşük 1,353 ve en yüksek 1,806 arasında fraktal değerler almıştır. Yeni fotoğraflar ise, en düşük 1,216 ve yüksek 1,855 arasında değerler almıştır. Yeni fotoğraflar, eski fotoğraflara göre daha geniş bir aralıkta sıralanmıştır. Tablo 3'te sunulan bilgilere göre, en genel değerlendirme ile yeni fotoğraflardaki kentsel mekanların, eski hallerine göre nispeten daha geniş bir çeşitliliğe sahip olduğu söylenebilir.

Tablo 1. Eski ve yeni fotoğraflara ait fraktal değerlerin tam fraktal değer aralığına göre sınıflandırılması.

Fraktal değer aralığı (1,000-2,000)	Tanım
1-1,2	(1) Çok düşük
1,2- 1,4	(2) Düşük
1,4 – 1,6	(3) Orta
1,6 – 1,8	(4) Yüksek
1,8-2	(5) Çok yüksek

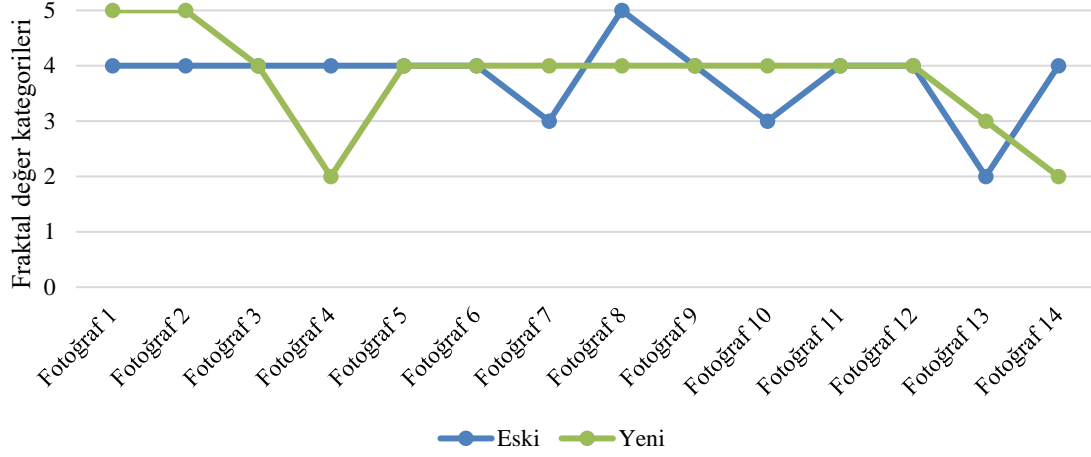
Tablo 2. Eski ve yeni fotoğraflara ait fraktal değerlerin fotoğraflardan elde edilen değerlere göre sınıflandırılması.

Eski fotoğraflar (1,353-1,806)		Yeni fotoğraflar (1,216-1,855)	
Fraktal değer aralığı	Tanım	Fraktal değer aralığı	Tanım
≤ 1,443	(1) Çok düşük	≤ 1,335	(1) Çok düşük
1,444 – 1,533	(2) Düşük	1,336– 1,446	(2) Düşük
1,534 – 1,624	(3) Orta	1,447 – 1,562	(3) Orta
1,625 – 1,715	(4) Yüksek	1,563 – 1,678	(4) Yüksek
≥ 1,716	(5) Çok yüksek	≥ 1,679	(5) Çok yüksek

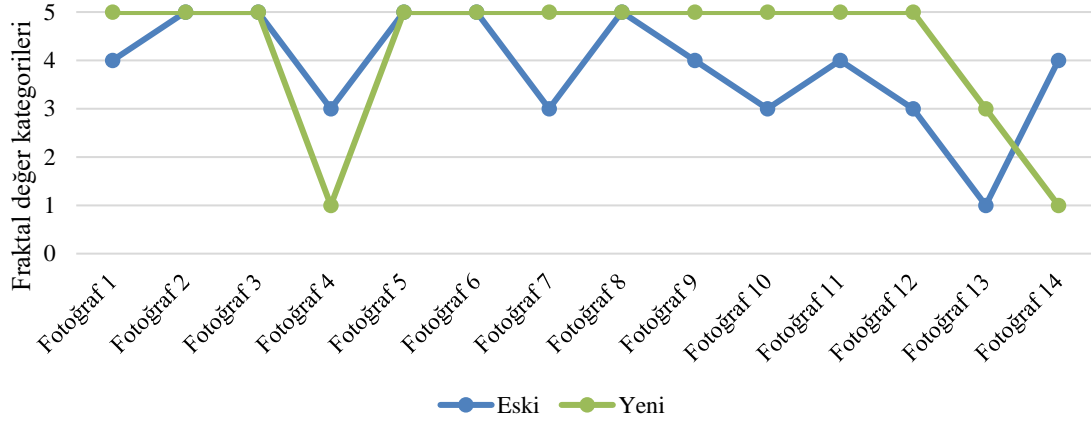
Tablo 3. Eski ve yeni fotoğraflara ait fraktal değerlerinin sınıflandırılması.

Fotoğraf	Eski			Yeni		
	Fraktal değer	Değer aralığı		Fraktal değer	Değer aralığı	
		(1-2)	(1,353-1,806)		(1-2)	(1,216-1,855)
1	1,677	Yüksek	Yüksek	1,801	Çok	Çok yüksek
2	1,777	Yüksek	Çok yüksek	1,855	Çok	Çok yüksek
3	1,753	Yüksek	Çok yüksek	1,798	Yüksek	Çok yüksek
4	1,611	Yüksek	Orta	1,216	Düşük	Çok düşük
5	1,733	Yüksek	Çok yüksek	1,741	Yüksek	Çok yüksek
6	1,744	Yüksek	Çok yüksek	1,726	Yüksek	Çok yüksek
7	1,594	Orta	Orta	1,742	Yüksek	Çok yüksek
8	1,806	Çok yüksek	Çok yüksek	1,747	Yüksek	Çok yüksek
9	1,683	Yüksek	Yüksek	1,730	Yüksek	Çok yüksek
10	1,553	Orta	Orta	1,794	Yüksek	Çok yüksek
11	1,629	Yüksek	Yüksek	1,774	Yüksek	Çok yüksek
12	1,620	Yüksek	Orta	1,739	Yüksek	Çok yüksek
13	1,353	Düşük	Çok düşük	1,497	Orta	Orta
14	1,627	Yüksek	Yüksek	1,294	Düşük	Çok düşük

Tablo 1 ve 2'deki sınıflandırmalar esas alınarak oluşturulan eski ve yeni fotoğrafların fraktal değer sınıfları Şekil 3 ve 4'te verilmiştir. Buna göre, fotoğraf çiftlerinin pek çoğunda fraktal değerinin yüksek ve çok yüksek değer aralığında olduğu görülmektedir. Ancak, bazı fotoğraf çiftlerinde dramatik değişimler gözlemlenmiştir. 4 numaralı fotoğrafın eski fraktal değeri yüksek/orta değerde iken, yeni karşılığı düşük/çok düşük kategorisindedir. Benzer şekilde 14 numaralı fotoğrafın da eski versiyonu yüksek değer aralığında iken, yeni versiyonu düşük/çok düşük değer aralığında çıkarak ciddi bir düşüş göstermiştir. Bunun tersi durumlarda söz konusudur. 7 ve 10 numaralı fotoğraflarda eski versiyonu orta değerden, yeni versiyonda yüksek/çok yüksek değere, 13 numaralı fotoğrafta da düşük/çok düşük değerden, orta değere yükselmiştir.



Şekil 3. Eski ve yeni fotoğrafların tam fraktal aralığına göre değişimi.



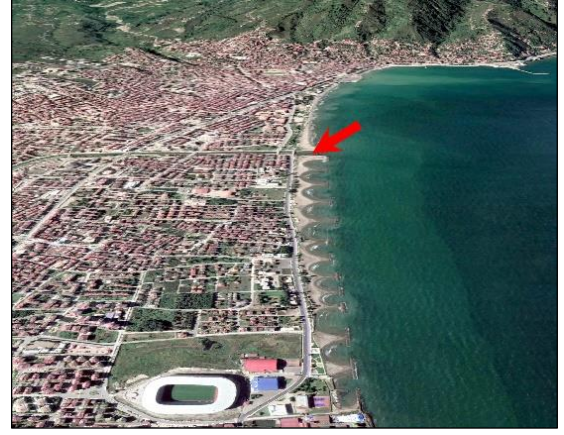
Şekil 4. Eski ve yeni fotoğrafların elde edilen fraktal aralığına göre değişimi.

A. KENTSEL ALAN DEĞİŞİMİNİN ÜST ÖLÇEKTEN DEĞERLENDİRİLMESİ

Ordu kent merkezinde meydana gelen kentsel alan değişiminin üst ölçekten analiz edilmesi amacıyla eski dönemlerde çekilmiş 3 hava fotoğrafı kullanılmıştır. Bu fotoğraflar ile günümüze ait uydu görüntülerinin kıyaslanabilmesi için uydu görüntüleri yaklaşık olarak aynı düzleme oturtulmuştur. Şekil 5'te Akyazı Mahallesi, Bahçelievler Mahallesi ve Boztepe eteklerinde yer alan birkaç mahalleyi kapsayan iki fotoğraf görülmektedir. Birinci durumda fraktal değer 1.677 iken ikinci duruma gelindiğinde bu değer artarak 1.801'e çıkmıştır. Fotoğrafta görülebilen alanda yapılaşmanın artması ve buna bağlı olarak yol ağlarının genişlemesi, Durugöl Mahallesi'nde yeni stadyumun inşa edilmesi, Akyazı Mahallesi kıyılarına yakın konumda yerleştirilen dalgakıranların sonucunda oluşan kumsal yapısı kent dokusunu eskisine göre daha kompleks bir duruma getirmiş ve fraktal değeri artırmıştır. Kent, doğu yönünde doğru yayılım gösterdiğinden ve yoğun yapılaşma baskısı altında olduğunda kent çeperindeki açık ve yeşil alanları yitirmiştir. Özellikle kıyı kesimindeki yeşil dokunun kaybedildiği ve kıyının yoğun şekilde yapılaştığı göze çarpmaktadır. Bununla birlikte kent, güney yamaçlara doğru da ilerlemiştir. Her iki fotoğraf arasındaki farkla kent içi açık ve yeşil alanların azaldığı, kentsel yoğunluğun ise arttığı belirgin bir şekilde ortaya çıkmaktadır.



a)



b)

Şekil 5. Akyazı ve Bahçelievler mahallelerinde meydana gelen değişim [32,33] (a) Fraktal değeri: 1.677 (b) Fraktal değeri: 1.801.

1967 yılında hizmete sunulan 19 Eylül Stadyumu ve yakın çevresinde zaman içerisinde meydana gelen değişim Şekil 6'da görülmektedir. Fotoğrafta görülen alanın özellikle üst kesiminde yapılaşma ciddi oranda artış göstermiştir. İki fotoğraf arasındaki değişim sürecinde; büyükşehir belediye binası, Atatürk Parkı, "Yeni Çarşı" olarak bilinen kapalı pazar alanı ve dolgu alan niteliğindeki otopark alanı gibi önemli yapısal eklemeler olmuştur. Gerçekleşen tüm bu değişimlerin bir sonucu olarak kent dokusundaki karmaşıklık ve mekân zenginliği artmıştır. Fraktal analiz sonucunda elde edilen değerler, ilk duruma göre artış göstererek 1.855'e yükselmesi bu olguyu doğrulamaktadır. Bununla birlikte, denizin doldurulması ile oluşturulan otopark alanı da yeni fotoğrafta görülmektedir. Kent merkezinde ve "kent kalbi" denilebilecek bir noktadaki bu otopark alanı kıyıda gözlemlenen en önemli değişimlerden biridir. Eski fotoğrafta boşluklu biçimde konumlanan yapıların aralarındaki mesafenin son görüntüde azalmış olması kentin maksimum yoğunluğa ulaştığını göstermektedir.



a)



b)

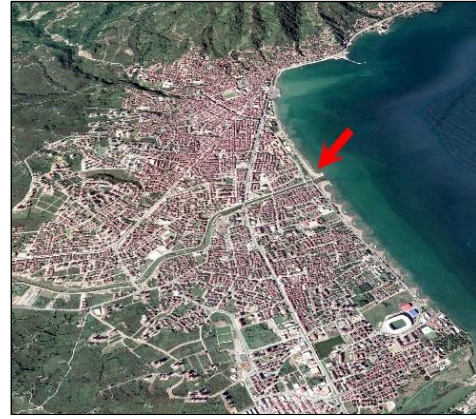
Şekil 6. 19 Eylül Stadyumu ve çevresinde meydana gelen değişim [32, 33] (a) Fraktal değeri: 1.777 (b) Fraktal değeri: 1.855.

Ordu kent merkezi ve çevresindeki yoğun kentleşme Şekil 7'de çarpıcı şekilde görülmektedir. Ordu kenti topoğrafyasından kaynaklanan bir şekilde güney ve doğu yönünde gelişim göstermektedir. Kentin güneyindeki nispeten eğimli alanlarda birtakım yapılaşmaların gerçekleştiği görülmektedir. Buna ek olarak; Akyazı, Durugöl, Karapınar ve Cumhuriyet mahalleleri kentin doğu yönünde gelişim gösteren alanlardır. Eski tarihli hava fotoğrafının fraktal değeri 1.753 iken güncel görüntünün değeri 1.798 değerine yükselmiştir. Bu durumun oluşmasında; tekdüze ve homojen arazilerde yeni yapı kitlelerinin

oluşması, yol ağının çeşitlenmesi gibi sebepler etkili olmuştur. Ayrıca, kent içi boşlukların dolması da fraktal değerdeki artışı tetiklemiştir.



a)



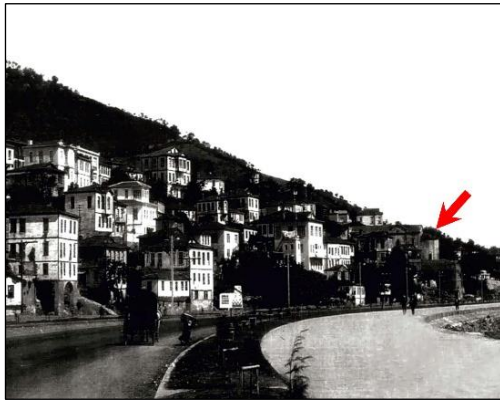
b)

Şekil 7. Ordu kent merkezinde meydana gelen değişim [33, 34] (a) Fraktal değeri: 1.753 (b) Fraktal değeri: 1.798.

B. KENTSEL ALAN DEĞİŞİMİNİN TARİHİ FOTOĞRAFLAR ÜZERİNDEN DEĞERLENDİRİLMESİ

Ordu kent merkezindeki kentsel alan değişimlerinin analiz edilmesi amacıyla 11 tarihi fotoğraf yeniden fotoğraflanmış ve iki durum arasındaki farklar fraktal analiz metodu ile irdelenmiştir.

Boztepe'nin eteklerine kurulan mahallelerden biri olan Taşbaşı Mahallesi ve mahallenin Karadeniz kıyısında yer alan bölümünde meydana gelen fiziksel değişim Şekil 8'de görülmektedir. Görseldeki perspektiften görülen en büyük değişim dolgu uygulaması ile anayol ve kıyı bandının genişletilmesidir. Buna ek olarak, eski fotoğraftaki karakteristik mimari yapının günümüzün klasik apartman yapısına dönüşümü açıkça görülmektedir. Bugün Rüşumat Parkı olarak adlandırılan kıyı alanında yapılan bitkilendirmenin bir sonucu olarak eski fotoğrafta görülen yapı kitlesinin büyük bir bölümü perdelenmiştir. Fraktal değer in eskiye göre düşüş göstermesinin temel nedeni, yapı kitlesinin örtülmesi sonucunda karmaşıklığın ve zenginliğin yerini daha monoton bir dokuya bırakmasıdır. Bu iki fotoğraf, mimari estetik bakımından zaman içerisinde yaşanan büyük bir yok oluşun da kanıtıdır. İlk fotoğraftaki mimari yapı, estetik olduğu kadar bu mimarinin oluşturduğu kentsel doku da topoğrafyayla uyumludur.



a)



b)

Şekil 8. Taşbaşı mahallesi ve sahil kesiminde meydana gelen fiziksel değişim [32] (a) Fraktal değeri: 1.611 (b) Fraktal değeri: 1.216.

Ordu kent merkezinin önemli caddelerinden biri olan Süleyman Felek Caddesi üzerinde zaman içinde meydana gelen değişim Şekil 9'da görülmektedir. Görselin bakış açısından caddenin solunda bulunan kaldırımın üzerindeki ağaçlar günümüze ait olan görselde yer almamaktadır. Geçmişten günümüze caddedeki binaların kat sayısı artmış ve daha tekdüze bir görünüme bürünmüştür. Yapılar, kentin diğer fotoğraflarında da görülen yapı karakteri ile aynıdır. Bu da kent genelinde karakteristik bir mimari geleneğin bulunduğunu göstermektedir. Ancak, günümüzde bu karakteristik mimari yaygınlığını yitirmiştir. Eski fotoğrafta bitkilendirmeden kaynaklanan organik yapının günümüze göre daha hâkim olduğu görülmektedir. Ancak fraktal değerdeki küçük artış bunun aksini göstermektedir. Normal şartlar altında günümüze ait görselde fraktal değer ilk duruma göre daha düşük olması beklenir ancak küçük de olsa bir artış söz konusudur. Bu durumun, cadde boyunca yapılar, yapı yüzeylerinde görüntüler ile algıyı olumsuz etkileyen tabelalar ve yol üzerindeki detaylardan kaynaklanmaktadır.



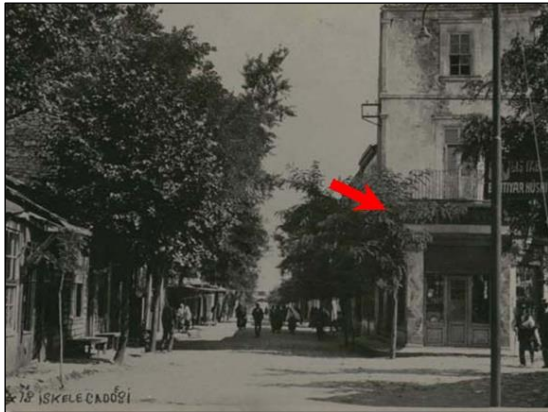
a)



b)

Şekil 9. Süleyman Felek Caddesi üzerinde meydana gelen fiziksel değişim [35] (a) Fraktal değeri: 1.733 (b) Fraktal değeri: 1.741.

Sırrı Paşa ve Süleyman Felek Caddelerinin birleştiği alanda meydana gelen fiziksel değişimler Şekil 10'da görülmektedir. Öncesinde çok yoğun bir bitkilendirmenin hâkim olduğu cadde organik ve daha kompleks bir yapı sergilemektedir. Ancak günümüze geldiğinde bitki kitlesinin yerini daha sert hatlara sahip bina cepheleri aldığından daha inorganik ve monoton bir görünüm ortaya çıkmıştır. Bu değişimi fraktal değerde meydana gelen azalış doğrulamaktadır.



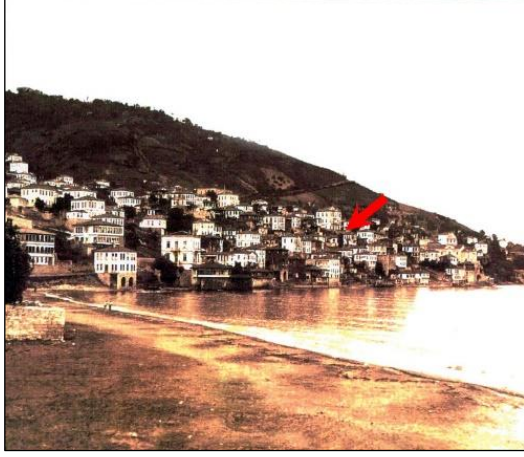
a)



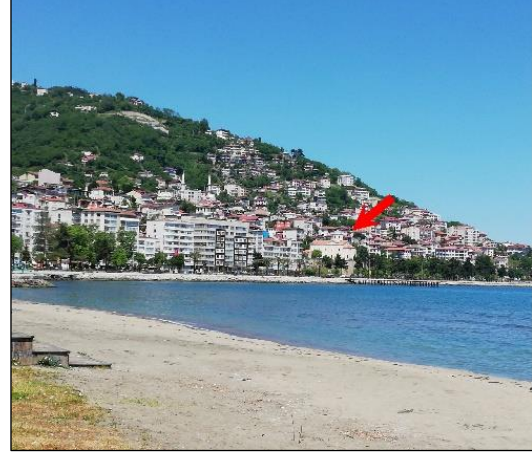
b)

Şekil 10. Sırrı Paşa Caddesi ve Süleyman Felek Caddesi kesişiminde meydana gelen fiziksel değişim [36] (a) Fraktal değeri: 1.744 (b) Fraktal değeri: 1.726.

Taşbaşı Mahallesi ve mahallenin kıyı bölümünde meydana gelen fiziksel değişim Şekil 11’de görülmektedir. Tarihsel süreç içinde geleneksel konut yapısı yerini çok katlı apartmanlara bırakmıştır. Öncesinde konutlar denize sıfır bir konumda iken ulaşım ve rekreasyon alanı yaratmak amacıyla denizin doldurulması sonucunda konutlar ile deniz arasındaki mesafe açılmıştır. Ayrıca yapılaşma yamacın üst bölümüne doğru yayılım göstermiştir. Yapılaşmanın artması ile kentsel doku çeşitlenmiş ve karmaşıklık artmıştır. Bu durumun bir sonucu olarak fraktal analiz değeri artarak 1.594 iken 1.742’ye çıkmıştır.



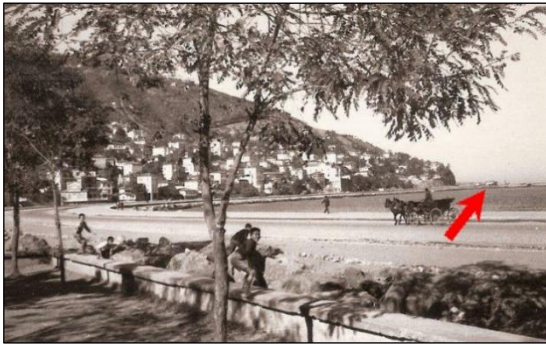
a)



b)

Şekil 11. Ordu sahili ve Taşbaşı Mahallesi’nde meydana gelen fiziksel değişim [32] (a) Fraktal değeri: 1.594 (b) Fraktal değeri: 1.742.

Düz Mahalle’nin kıyı bölümünde meydana gelen fiziksel değişim Şekil 12’de görülmektedir. Öncesinde Zaferimilli ve Taşbaşı mahallelerindeki yapı kitleleri net biçimde görülürken ileriki yıllarda sahil parkında yapılan ağaçlandırma sonucunda bakış açısı kapanmıştır. Ayrıca sahilde yapılan dolgu çalışması sonucunda araç yolunun genişlediği görülmektedir. Eski fotoğrafta bakış açısı içerisinde yamaç boyunca yer alan yapıların çeşitliliği bu fotoğrafın fraktal değerini de artırarak, olumlu etkiyi desteklemiştir.



a)



b)

Şekil 12. Düz Mahalle’nin sahil kesiminde meydana gelen fiziksel değişim [37] (a) Fraktal değeri: 1.806 (b) Fraktal değeri: 1.747.

Ordu kentinin önemli yaya bölgelerinden olan Sırrı Paşa Caddesi’nin 1960’lardan günümüze değin geçirdiği fiziksel değişim Şekil 13’te görülmektedir. Araç trafiğine tamamen kapalı olarak düzenlenmiş olan Sırrı Paşa Caddesi; geçmişten beri kentin önemli alışveriş, toplanma ve gezinti alanı olmuştur. Kent halkı arasında burası “Fidangör Caddesi” olarak bilinmektedir [31]. Cadde üzerinde geçmişten beri küçük düzenlemeler yapılsa da en kapsamlı değişim 2020 yılında büyükşehir belediyesi tarafından

gerçekleştirilmiştir. Bu değişim projesi kapsamında, cadde boyunca sıralanan 96 adet binanın dış cephesinde bakım ve iyileştirmeler yapılmıştır. Bina cepheleri farklı renklerde boyanmış ve dükkanların girişleri mermer kaplanarak standart bir tabela sistemine geçilmiştir. Ayrıca caddenin zeminine doğal taş uygulaması ile döşeme yapılmıştır [41]. Tüm bu değişimlerin sonucu olarak cadde, doku ve renk yönüyle daha kompleks bir hale geldiğinden fraktal değeri 1.683'ten 1.730'a yükselmiştir.



a)



b)

şekil 13. Sırrı Paşa Caddesi üzerindeki yapılarla meydana gelen fiziksel değişim (a) (Fraktal değeri: 1.683; İ. Dizman Arşivi, 1960'lı yıllar) (b) (Fraktal değeri: 1.730; Orijinal, 2020).

Ordu kentinin önemli tarihi yapılarından biri olan Osman Paşa şadırvanı ve çevresinde meydana gelen fiziksel değişim şekil 14'te görölmektedir. Birinci fotoğraftaki geleneksel mimarinin sadeliği ve zarafeti, ikinci fotoğrafta yerini son derece karmaşık ve estetikten uzak bir yapıya bırakmıştır. şadırvan çevresinde kullanılan her dem yeşil ağaç türleri fotoğraftaki bakış açısından şadırvanı örtmüştür. Bina cephesindeki reklam unsuru tabelalar, aydınlatma ekipmanı, satış ünitesi ve form verilmiş çalı türleri mekândaki karmaşıklığı ve çeşitliliği artırdığından, öncesinde 1.553 olarak hesaplanan fraktal değeri 1.794'e yükselmiştir.



a)



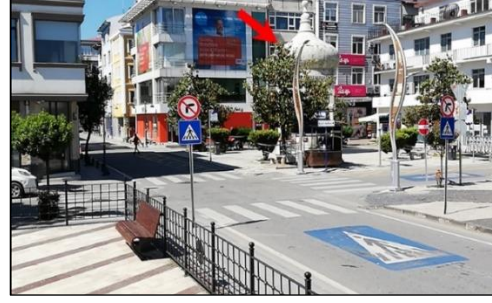
b)

şekil 14. Osman Paşa şadırvanı ve çevresinde meydana gelen fiziksel değişim [41] (a) Fraktal değeri: 1.553 (b) Fraktal değeri: 1.794.

Osman Paşa şadırvanı'nın çevresinde meydana gelen fiziksel değişimin daha geniş bir perspektiften görünümü şekil 15'te görölmektedir. Fotoğrafın perspektifine giren alan içerisinde, şadırvan dışındaki neredeyse tüm yapı unsurlarının köklü bir değişim geçirdiğini söylemek mümkündür. Eskiden son derece özdeş ve geleneksel yapı kitlelerin hâkim olduğu ve bütünlük arz eden kent sade ancak zarif bir görünüm sunmaktadır. Zaman içerisinde yapılan bitkilendirmeler, bina cepheleri ve binaların yapısındaki değişim, tabelaların varlığı gibi nedenler mekânsal kaosu ortaya çıkardığından fraktal değer eski duruma göre yükselmiştir.



a)



b)

Şekil 15. Osman Paşa Şadırvanı'nın çevresinde meydana gelen fiziksel değişim [32] (a) Fraktal değeri: 1.629 (b) Fraktal değeri: 1.774.

Sırrı Paşa Caddesi ve Kocakişi Caddesi kesişimindeki bölgede meydana gelen fiziksel değişim Şekil 16'da görülmektedir. Bu bölgenin alışveriş ve yaya bölgeleri üzerinde yer alması sonucunda binaların girişleri daima dükkân vazifesi görmüştür. Fotoğraf perspektifine göre yakında bulunan binanın yeniden inşa edildiği görülmektedir. Ayrıca geçmişte cadde üzerinde yer alan akasya ağaçları günümüzde bulunmamaktadır. Cadde üzerindeki yapıların cephesindeki sadelik kaybolduğundan fotoğrafın fraktal değeri yükselmiştir.



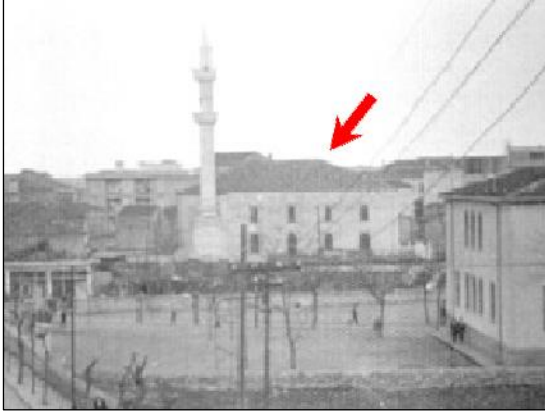
a)



b)

Şekil 16. Sırrı Paşa Caddesi ve Kocakişi Caddesi kesişimindeki bölgede meydana gelen fiziksel değişim [38] (a) Fraktal değeri: 1.620 (b) Fraktal değeri: 1.739.

Günümüzdeki hali ile 1802 yılında inşa edilmiş olan Atik İbrahim Paşa (Orta) Cami ve çevresinde meydana gelen fiziksel değişim Şekil 17'de görülmektedir. Cami çevresinde yapı yoğunluğu artmasına karşın caminin önündeki boş alan meydan işlevini halen sürdürmektedir. Eskiden mekânın hâkim kütleli durumu, günümüzde çok katlı bina yoğunluğunun artması sonucu baskılanmış ve etkisini kaybetmiştir. Artan ve yükselen kütleler nedeni ile de alanın fraktal değeri 1.497'ye yükselmiştir.



a)



b)

Şekil 17. Atik İbrahim Paşa (Orta) Cami ve çevresinde meydana gelen fiziksel değişim [39] (a) Fraktal değeri: 1.353 (b) Fraktal değeri: 1.497.

Günümüzde Etnografya Müzesi olarak kullanılan Paşaoğlu Konağı ve çevresinde meydana gelen fiziksel değişim Şekil 18’de görülmektedir. Konağın üst bölümündeki ince detaylar zaman içinde kaybolmuş ve daha sade bir görünüm kazanmıştır. Ayrıca konağın arka kısmındaki bitki varlığı yerini yüksek katlı binalara bırakmıştır. Tüm bu durumların bir sonucu olarak eski duruma göre daha az karmaşık ve çeşitlilik yönünden zayıf bir görünüm meydana gelmiştir.



a)



b)

Şekil 18. Günümüzde Etnografya Müzesi olarak kullanılan Paşaoğlu Konağı ve çevresinde meydana gelen fiziksel değişim [40] (a) Fraktal değeri: 1.627 (b) Fraktal değeri: 1.294.

IV. SONUÇ

Yapılan bu çalışma ile geçmişten günümüze Ordu kent merkezindeki kentsel alan değişimleri ortaya konulmuştur. Çalışmada; Ordu kent merkezinde belirli noktalardan çekilmiş olan eski fotoğraflar üzerinden yeniden fotoğraflanmış ve fraktal analiz yöntemi ile değişimlerin yönü irdelenmiştir. Süreç içerisinde meydana gelen olumlu-olumsuz değişimler fraktal analiz verilerinin de desteği ile yorumlanmıştır. Kentsel ve kırsal peyzajlardaki değişimlerin izlenmesinde yeniden fotoğrafılama yöntemi etkin sonuçlar verdiği için çalışmada tercih edilmiştir.

Sanayi ve teknolojide meydana gelen gelişmeler, plansız kentleşme, hızlı yapılaşma gibi olgular kentsel değişime sebep olmuş, kentin yapısını ve kent düzenini önemli derecede etkilemiştir. Kentlerin tarihi dokusu da bu olgular sebebiyle bir değişim içine girerek kentsel değişimden çoğu zaman olumsuz etkilenmiştir. Bir kentin kimliğini yansıtan tarihi doku plansız, yanlış ve eksik yapılaşmanın etkisinde kalarak hem estetik hem de fonksiyonel amaçlı bir tehdit altındadır. Ülkemizde birçok kentte özellikle plansız yapılaşmanın giderek arttığı şehirler de bu durumlarla karşı karşıya kalmaktadır. Kentsel değişim ve farklılaşmadan dolayı kentler kentsel kimliklerinden uzaklaşmışlardır. Ordu da ilk yerleşimin kurulduğu yıldan günümüze kadar birçok sebepten dolayı hem estetik açıdan hem de fonksiyonel açıdan kentsel değişimin etkisi altında kalan kentlerden biridir. 1883 yılında meydana gelen büyük yangın olayı kentin günümüzdeki tüm cadde ve sokaklarını, kentin yerleşimini, evlerin yapısını ve konumunu ciddi anlamda değiştirmiştir. Özellikle, bu yangından sonra kent büyük bir değişim sürecine girmiştir. 1939 yılında meydana gelen Erzincan Depremi de şehri büyük bir yıkıma uğrattığı geleneksel yapıyı neredeyse tamamen değiştirmiştir. Kentin geneline hâkim olan değişim sürecini aynı zamanda kıyı şeridinin değişmesi, denizin doldurulması, karayolunun günümüz koşullarına uygun olarak düzenlenmesi ve son olarak ilin büyükşehir olması sonucunda kent büyük bir değişim süreci geçirmiştir. Tüm bu çıkarımlar sonucunda Ordu ili sosyo-ekonomik etkenler ve doğal koşullara bağlı olarak büyük bir kentsel değişim göstermiştir.

Eski ve yeni fotoğraflara ilişkin fraktal değerler karşılaştırıldığında büyük bir değişim göze çarpmaktadır. Eski fotoğraflardan 3'ünde (4, 8 ve 14 numaraları fotoğraflarda) fraktal değer yeni duruma göre daha yüksektir. Yeni durumdaki bu düşüşün nedeni geneli itibariyle, büyük yapı ve bitki kitlelerinin kent içi ve vista bakış perspektiflerini perdelemeleri, böylece bakış açısındaki çeşitliliğin düşmüş olmasıdır. Bu durum kentsel estetiği de zayıflatıcı bir etki yaratmıştır. Kentsel algılanabilirlik, cazibe ve kentsel derinlik de böylece yok olmuştur. Yeni fotoğraflardan 5'inde (1, 2, 7, 10 ve 13 numaralı fotoğraflarda) fraktal değerler eskiye göre artış göstermiştir. Bu artış, teorik olarak estetiğin, homojenliğin ve çeşitliliğin arttığını ifade edebileceği gibi, fotoğraflar incelendiğinde aslında bu artışın kentteki karmaşanın ve düzensiz çeşitliliğin artışıyla kaynaklandığı görülmektedir. Reklam tabelalarından, düzensiz bir şekilde sıralanmış yapılar ve birbirine uymayan yapılaşma ile donatı karmaşası bu değerleri artıran başlıca etken olmuştur. 3, 5, 6, 9, 11 ve 12 numaralı fotoğrafların fraktal değerinde ise herhangi bir değişim olmamıştır. 14 fotoğrafın 5'inde fraktal değer eskiye göre daha yüksek, 3'ünde düşük, 6'sında ise değişim olmamasının sağladığı sayısal veriler ve yorumları ile ulaşılabilecek sonuç kent merkezinin geçmişten günümüze estetik anlamda doğru bir gelişim göstermediğidir. Kent merkezinde yapılaşma ve kentsel çeşitlilikte kuralsız bir artış olmuştur. Bu karmaşa ve donatı yoğunluğu ise kentin algılanabilirliği, tanınabilirliği, imajı ve karakteri üzerine olumsuz etkiler oluşturmaktadır. Ayrıca, kentsel mirasın korunamaması sorununu da ortaya çıkartmaktadır. Geçmiş tarihli 3 hava fotoğrafı üzerinden yapılan üst ölçekli değerlendirme Ordu kent merkezindeki kentsel değişimi net biçimde ortaya koymaktadır. Fraktal analiz sonuçları, kent merkezinde karmaşanın ve mekân zenginliğinin arttığını kantitatif olarak doğrulamaktadır.

Fraktal analiz yapısı ve arka planda işleyen algoritması gereği, motorlu taşıt ve yayalar gibi hareketli unsurlara karşı oldukça hassastır. Bu gibi durumların varlığında analiz sonuçlarında sapmalar olabilmektedir. Bu sapmaların önüne geçebilmek için araç ve yaya trafiğinin en az olduğu saat aralıklarında fotoğrafı yapılmalıdır. Eski ve yeni fotoğraflar arasında çekim teknolojisi yönünden farklılıkları ortadan kaldırmak için olabildiğince yüksek çözünürlüklü eski fotoğrafların tercih edilmesi gerekmektedir. Buna ek olarak, tarihi fotoğrafların aynı bakış açısından tekrar fotoğrafılması sürecinde, bu amaçla geliştirilen yazılım ve uygulamalardan faydalanılması hem zaman kaybının önüne geçecek hem de doğruluğu daha yüksek fotoğrafların elde edilmesine olanak tanıyacaktır.

Fotoğraf okumalarına göre kentte;

- geleneksel ve kültürel yapıların büyük çoğunluğu tahrip olmuş veya yok olmuştur. İşlevselliğini kaybeden ve çeşitli nedenlerle tahrip olmuş yapılar yıkılmıştır. Kaybolan geleneksel yapılarla birlikte kent de kendine özgü karakterini büyük ölçüde kaybetmiştir.
- üzerindeki tüm değişim baskılarına rağmen günümüze ulaşan geleneksel yapılar kent dokusu tarafından baskılanmıştır. Modern zamanın getirileri, artan nüfus ve ihtiyaçlar her geçen gün yeni yapı

ve fonksiyonların kente dâhil olmasına neden olmuştur. Yeni inşa edilen yapıların da geleneksel yapı stilinde inşa edilmemesi baskıyı her geçen gün artırmaktadır.

- vistaların bazıları perdelenmiş veya tamamen kapanmıştır. Kentin hem çevreleyen tepeleri hem de kent içerisinden derin ve geniş perspektifler sunan vista noktalarına sahip olduğu eski fotoğraflarında görülmektedir. Ancak, günümüzde genişleyip yükselen kitleler ile artan yapılaşma bu derin ve geniş bakış açılarının pek çoğunu ortadan kaldırmıştır. Ayrıca, eskiden görüş alanı içerisine giren ve manzarayı oluşturan kültürel kent dokusunun da büyük ölçüde ortadan kalmış olması, bugün hala mevcut vistaların da etkilerinin zayıflamasına neden olmuştur.

- silüetler bozulmuştur. Kent, yüksek tepeler ile çevrelediğinden etkili bir silüet potansiyeline sahiptir. Ancak, kültürel kent dokusu ve mimarinin yoğun bulunduğu dönemlerdeki silüetler günümüzde yerini yüksek katlı ve zayıf estetik değere sahip yapı kitlelerine bırakmıştır. Ayrıca, eski kentleşme topoğrafya ile uyumlu iken, yeni yapılaşmanın topoğrafyaya rağmen artıyor olması silüetleri zayıflatan bir diğer olgudur.

- kentte, benzer yapı kitlelerinin oluşturduğu sadelik kaybolmuş, kaos ve karmaşa kentsel mekâna hâkim olmuştur.

- mimari ve kentsel karakterdeki çeşitlilik, detay ve incelik kaybolmuştur. Eski fotoğraflarda, kentsel dokuda sadelik ve yapılardaki detaylar dikkat çekmektedir. Kentsel dokudaki bu sadelik yapıların ortaya çıkmasını ve görünür olmasını sağlarken, yapılardaki detaylar dönemin özen, zevk ve inceliğini göstermektedir. Ancak, geleneksel kent dokusu ve mimarinin yerini günümüzün standart ve seri üretim mimarisinin alması ile bu zevkli çeşitlilik ile ince detaylar da ortadan kaybolmuştur.

- görsel kalite ve estetik azalmıştır.

- kentsel yoğunluk artmış, kentsel boşluklar yok olmuş ve kentsel kitle/boşluk dengesi kaybolmuştur. Nüfus ve ihtiyaçların artması ile pek çok yapı ve fonksiyon kente eklenmiştir. Ayrıca, işlevselliğini yitiren veya dönüşen yapı ve fonksiyonların yerlerine daha büyükleri inşa edilmiştir. Bu da zamanla kent içi boş parsellerin de dolmasına sebep olmuştur. Bu durum kentin nefes aldığı açıklıkların kaybolmasına, kentin hantallaşmasına ve kent içi derinliklerin ve perspektiflerin kaybolmasına neden olmuştur.

- kentsel algılanabilirlik zayıflamıştır. Kentin yoğunlaşması ve kentsel karakteri ortaya çıkartan ortak payda ve belirteçlerin zayıflaması buna neden olmuştur. Ayrıca, vista ve perspektiflerin zayıflaması ve azalması, kitle boşluk dengesinin kalkması ve hantal yapı kütlelerinin artışı da algılanabilirliği olumsuz etkilemiştir.

Bu değerlendirmeler ışığında kentte;

- düzensiz yapılaşmanın önüne geçilmelidir. Bu noktada kent merkezi için geç kalınmış olduğu düşünülebilir. Ancak kentsel yenileme ve dönüşüm çalışmalarının sürekli devam ettiği varsayılırsa kentin bu olumlu düzeltmeyi yapmak için hala bir şansı bulunmaktadır.

- sokak iyileştirme çalışmaları artırılmalıdır. Bu çalışmalar, kentsel karakterin yok olup, sıradanlaşmasını geri çevirerek, sonradan da olsa kaybolmuş kültürel doku ve mimariyi geri getirmek için fırsat oluşturabilir.

- özellikle kent merkezi, silüetler ve vista noktalarında bakış açısı ve perspektiflerin önü açılmalıdır. Böylece kentte derinlik etkisi artacak, perspektiflerin ortaya çıkması ile kent estetik açıdan dikkat çekmeye başlayabilecektir.

- kentin algılanabilirliği artırılmalıdır. Kent okunup, algılanabildiği düzeyde dikkat çeker. Bu aynı zamanda kentin yaşanabilirliği için önemli bir etkidir. Hem kent sakinleri hem de yerli ve yabancı turistler için kentin algılanabilirliği kent potansiyelinin gizlenmesinin önüne geçerek potansiyelin artırılmasını sağlayacaktır.

- nitelikli ve karakteristiği olan yapılaşma özendirilmelidir. Yeni yapılarda geleneksel ve kültürel mimari öğelerin kullanılması, mevcuttaki yapıların da müdahaleler ile dönüştürülmesi kentin yeniden tarihi ve kültürü ile etkili olmasını ve dikkat çekmesini sağlayacaktır. Böylece kentsel turizmin canlanmasının önü açılmış olacaktır.

- gereğini aşan nitelik ve nicelikte kentsel donatılardan kaçınılmalıdır. Kentlerde, artan ihtiyaçlar nedeniyle sürekli daha fazla donatı ve fonksiyona ihtiyaç duyulmaktadır. Böylece kentlerde donatı kirliliği en büyük sorunlardan birisi haline gelmiştir. Kentte, bu ihtiyaçlardan kaynaklı donatıların

niteliğinin artırılarak, ihtiyaç fazlası donatıların kaldırılması kentteki kaosu azaltacaktır. Böylece algılanabilirlik, estetik ve fonksiyonellik artacak, karmaşa ve görsel dezavantajlar azalacaktır.

- yapılaşma standartları oluşturulmalı ve uygulanmalıdır. Kentin kendine has karakteristik dokusunu yeniden kazanması için kent ve mimariye standartlar getirilmeli ve kararlılıkla uygulanmalıdır. Bu standartlar ancak mimar, şehir plancısı ve peyzaj mimarı ile sosyolog ve sanat tarihçilerinden oluşturulan uzman bir heyetin önerileri ile oluşturulabilir.

- tarihi doku ve kültürel miraslar algılanabilir ve ayırt edilebilir şekilde kentsel dokuya kazandırılmalıdır. Bu türdeki sivil mimari örnekleri, anıtlar ve öğelerin çevreleri açılarak görünürlükleri artırılmalıdır. Ayrıca çevre düzenlemeleri yapılarak, kentin etkin fonksiyon alanlarına dönüşmeleri sağlanmalıdır.

V. KAYNAKLAR

[1] T. Cansever, “Şehir,” *Kent ve Kültürü*, 1. Baskı. İstanbul, Türkiye: Yapı Kredi Yayınları, 1996, böl. 13, ss. 125-131.

[2] Ö. Atabeyoğlu, H. Turgut, P. Yeşil ve H. Yılmaz, “Tarihi Bir Kentin Değişimi: Erzurum Kenti,” *İTÜ Dergisi Mimarlık, Planlama ve Tasarım Serisi*, c. 8, s. 1, ss. 41–53, 2011.

[3] A. Ulu ve İ. Karakoç, “Kentsel Değişimin Kent Kimliğine Etkisi,” *Planlama*, c. 3, s. 29, ss. 59–66, 2004.

[4] H. Turgut, Ö. Atabeyoğlu, P. Yeşil ve H. Yılmaz, “Fiziksel Kent Gelişimi ve Nüfus İlişkisinin Değerlendirmesinde Farklı Bir Yaklaşım,” *Alatoo Academic Studies*, c. 4, s. 1, ss. 12–21, 2009.

[5] Ö. Atabeyoğlu, “Büyükşehir Olma Sürecinde Bir Kent: Ordu”, *Adnan Menderes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, c. 1, s. özel, ss. 160–177, 2014.

[6] H. V. Herrero, J. Southworth, E. Bunting and B. Child, “Using Repeat Photography to Observe Vegetation Change Over Time in Gorongosa National Park,” *African Studies Quarterly*, vol. 17, no. 2, pp. 65–82, 2017.

[7] Ö. Atabeyoğlu, H. Turgut, P. Yeşil ve H. Yılmaz, “Evaluation of Alterations on Historical Urban Structure of Erzurum with Fractal Analysis Method,” *The Journal of Süleyman Demirel University Faculty of Forestry*, vol. 13, pp. 162–171, 2012.

[8] A. Byers, “An Assessment of Landscape Change in the Khumbu Region of Nepal Using Repeat Photography,” *Mountain Research and Development*, vol. 7, no. 1, pp. 77–81, 1987.

[9] J. Pickard, “Assessing Vegetation Change Over A Century Using Repeat Photography,” *Australian Journal of Botany*, vol. 50, no. 4, pp. 409–414, 2002.

[10] P. R. Bierman, J. Howe, E. Stanley-Mann, M. Peabody, J. Hilke and C. A. Massey, “Old Images Record Landscape Change Through Time,” *GSA Today*, vol. 15, no. 4, pp. 4–10, 2005.

[11] C. A. Kull, “Historical Landscape Repeat Photography As A Tool for Land Use Change Research,” *Norsk Geografisk Tidsskrift-Norwegian Journal of Geography*, vol. 59, no. 4, pp. 253–268, 2005.

[12] J. L. Zier and W. L. Baker, “A Century of Vegetation Change in the San Juan Mountains, Colorado: An Analysis Using Repeat Photography,” *Forest Ecology and Management*, vol. 228, no. 1-3, pp. 251–262, 2006.

- [13] L. E. Hendrick and C. A. Copenheaver, "Using Repeat Landscape Photography to Assess Vegetation Changes in Rural Communities of the Southern Appalachian Mountains in Virginia, USA," *Mountain Research and Development*, vol. 29, no. 1, pp. 21–29, 2009.
- [14] A. Khan, A. Ulhaq, R. Robinson, and M. U. Rehman, "Detection of vegetation in environmental repeat photography: a new algorithmic approach in data science," in *Statistics for Data Science and Policy Analysis*. Singapore: Springer, 2020, pp. 145–157.
- [15] C. Burton, J. T. Mitchell and S. L. Cutter, "Evaluating Post-Katrina Recovery in Mississippi Using Repeat Photography," *Disasters*, vol. 35, no. 3, pp. 488–509, 2011.
- [16] S. F. Khan, U. Kamp and L. A. Owen, "Documenting Five Years of Landsliding After the 2005 Kashmir Earthquake, Using Repeat Photography," *Geomorphology*, no. 197, pp. 45–55, 2013.
- [17] W. Yang, W. Qi, M. Wang, J. Zhang and Y. Zhang, "Spatial and Temporal Analyses of Post-Seismic Landslide Changes Near the Epicentre of the Wenchuan Earthquake," *Geomorphology*, no. 276, pp. 8–15, 2017.
- [18] M. Hill, "Understanding the Effects of Large Storms on Dominica: An Analysis Using GIS and Repeat Photography," *Keck Geology Consortium*, vol. 31, pp. 1–7, 2018.
- [19] D. R. Butler and L. M. De Chano, "Environmental Change in Glacier National Park, Montana: An Assessment Through Repeat Photography from Fire Lookouts," *Physical Geography*, vol. 22, no. 4, pp. 291–304, 2001.
- [20] A. C. Byers, "An Assessment of Contemporary Glacier Fluctuations in Nepal's Khumbu Himal Using Repeat Photography," *Himalayan Journal of Sciences*, vol. 4, no. 6, pp. 21–26, 2007.
- [21] R. D. J. Karpilo and D. Ronald, "Glacier Monitoring Techniques," *The Geological Society of America*, pp. 141–162, 2009.
- [22] H. S. Kaya ve F. Bölen, "Kentsel Dokudaki Değişimin Fraktal Geometri Yöntemiyle İncelenmesi," *İTÜ Dergisi/a*, c. 10, ss. 39–55, 2011.
- [23] F. Terzi ve H. S. Kaya, "Dynamic Spatial Analysis of Urban Sprawl Through Fractal Geometry: the Case of Istanbul," *Environment and Planning B: Planning and Design*, vol. 38, no. 1, pp. 175–190, 2011.
- [24] Ö. Atabeyoğlu ve Y. Bulut, "Ordu Kenti Mevcut Yeşil Alanlarının Değerlendirilmesi," *Akademik Ziraat Dergisi*, vol.1, s. 2, ss. 67–76, 2012.
- [25] Ö. Atabeyoğlu ve Y. Bulut, "Ordu Kenti Kentsel Peyzaj Karakter Analizi," *Akademik Ziraat Dergisi*, vol. 2, s. 1, ss. 1–12, 2013.
- [26] Ö. Atabeyoğlu, "The Correlation of Water with Settlement and Transportation Network: A Case Study of Turkey," *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, vol. 24, no. 3, pp. 200–209, 2016.
- [27] D. Öztürk, "Shannon entropi ve fraktal analiz ile kentsel yayılmanın incelenmesi: Samsun örneği," 16. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı'nda sunuldu, Ankara, 2017.
- [28] Ö. Atabeyoğlu ve A. Argan, "Değişen ve dönüşen kent; siluet ve vistalarıyla Ordu kenti," *Uluslararası Kentleşme ve Çevre Sorunları Sempozyumu*'nda sunuldu, Eskişehir, 2018.

- [29] A. Uyar ve D. Öztürk, “Fraktal Analiz Kullanılarak Arnavutköy’ün Kentsel Yayılma Özelliklerinin Zamansal Değişiminin İncelenmesi,” *Teknik Bilimler Dergisi*, c. 9, s. 3, ss. 28–31, 2019.
- [30] Anonim, “Ordu İli Doğa Turizm Master Planı 2013-2023,” Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Türkiye, 2013.
- [31] H. B. Akbaş ve Ö. Atabeyoğlu, “Sırrı Paşa (Fidangör) Yaya Bölgesinin Engelli Kullanımı Açısından Ulaşılabilirliğinin Değerlendirilmesi,” *Artium*, c. 3, s. 2, ss. 37–53, 2015.
- [32] Anonim, *Bir Zamanlar Ordu-Siyah Beyaz Ordu Fotoğrafları*, 1.baskı, Ordu, Türkiye: OBB Kültür ve Sosyal İşler Daire Başkanlığı Kültür Yayınları, 2015, ss. 10-37.
- [33] Google Earth. (2021, 24 Ocak). *Google Earth* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://earth.google.com/web>.
- [34] Anonim. (2021, 24 Ocak). *Geocities / ORDU* [Çevrimiçi]. Erişim: <http://www.geocities.ws/siteordu/ordu.htm>.
- [35] Anonim. (2021, 24 Ocak). *Ordu İlinin Tarihçesi-Ordu Ticaret ve Sanayi Odası* [Çevrimiçi]. Erişim: <http://otso.org.tr/index.php/tr/ordu-hakkinda/tarihcesi>.
- [36] Anonim. (2021, 24 Ocak). *Ordu (Kotyora)-Yeşil ile Mavinin Ahenkle Kucaklaştığı Şehir* [Çevrimiçi]. Erişim: <http://www.forumgercek.com/karadeniz/70038-ordu-kotyora-yesil-ile-mavinin-ahenkle-kucaklastigi-sehir.html>.
- [37] S. Yazıcı. (2021, 24 Ocak). *Ordu-Pinterest* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://tr.pinterest.com/pin/426575395930813607>.
- [38] N. Güney. (2021, 24 Ocak). *Ordu-Twitter* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://twitter.com/hnagy52/status/1298160620655857664/photo/1>.
- [39] M. U. Mistepe. (2021, 24 Ocak). *Ordu, Ünye ve Zile Ortaokulları Kuruluşları* [Çevrimiçi]. Erişim: <http://www.unyetev.net/icerik/kose-yazilari/ordu-unya-ve-zile-ortaokullari-kuruluslari>.
- [40] N. Güney. (2021, 24 Ocak). *Ordu-Twitter* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://twitter.com/hnagy52/status/1298150372993884161/photo/2>.
- [41] Anonim. (2021, 24 Ocak). *Sırrıpaşa Caddesi Cephe ve Zemin İyileştirme Projesi* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.ordu.bel.tr/Proje/Detay/77/sirripasa-caddesi-cephe-ve-zemin-iyilestirme-projesi>.
- [42] Anonim. (2021, 20 Ocak). *Ordu İli Eski Fotoğrafları* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://ordu.ktb.gov.tr/TR-130358/eski.html>.



Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

A Parametric Study of Pile Behavior In Liquefied Soils

 Pınar Sezin ÖZTÜRK KARDOĞAN^{a,*},  Nihat Sinan IŞIK^b

^{a, b} *Department of Civil Engineering, Faculty of Technology, Gazi University, Ankara, TURKEY*

* *Corresponding author's e-mail address: sezinozturk@gazi.edu.tr*

DOI:10.29130/dubited.986915

ABSTRACT

Liquefaction in saturated sandy soils under cyclical loads has a significant part in the structural damage cases. Pile foundations, used for soils with bearing capacity problems, might get exposed to various liquefaction-based damages. The finite element program FLAC2D is utilized to understand the pile behavior in liquefied soils under dynamic loads. The 1999 Kocaeli earthquake record was used in the numerical analysis for a single pile element in the layered soil profile with liquefied and non-liquefied soil. The pile-head of the model used in the layered soil sample was left free for rotation. Calculations for a single pile profile where axial load and horizontal load are affected simultaneously were performed by considering both the kinematic and inertial effect. Finite difference analyzes were performed by changing the embedded lengths of pile socket according to the existence and absence of a non-liquefying crust layer on the liquefied soil in the layered soil profile. As the results of the pile-head displacement and maximum moment value output were assessed.

Keywords: *Liquefaction, Crust layer, FLAC2D, Embedded length of pile, Inertial- Kinematic effects.*

Sıvılaştan Zeminlerde Kazık Davranışına Dair Parametric Bir Çalışma

ÖZ

Tekrarlı yükler altında suya doymun kumlu zeminlerde meydana gelen sıvılaşma olayı yapısal hasarların meydana gelmesinde etkin rol oynamaktadır. Taşıma gücü problemleri olan zeminler için kullanılan kazık temeller sıvılaşma olayından dolayı çeşitli hasarlara maruz kalabilirler. Bu çalışmada, dinamik yükler altında sıvılaştan zeminlerdeki kazık davranışı anlamak için sonlu farklar programı FLAC2D kullanılmıştır. Sıvılaştan ve sıvılaşmayan zeminin bulunduğu tabakalı zemin profilindeki tek bir kazık elemanı için yapılan numerik analizde 1999 Kocaeli deprem kaydı kullanılmıştır. Tabakalı zemin örneği içinde kullanılan kazık modelinin kazık başı dönmeye serbest hareketli olarak bırakılmıştır. Eksenel yük ve yatay yük aynı anda etkitilen tek kazık profili için hem kinematik etki hem de ataletsel etki göz önüne alınarak hesaplama yapılmıştır. Tabakalı zemin profilindeki sıvılaştan zemin üzerine sıvılaşmayan kabuk tabakası bulunması ve bulunmaması durumlarına göre kazık soket boyları değiştirilerek sonlu farklar analizleri gerçekleştirilmiş kazık başı deplasman değeri ve oluşan maksimum moment değeri sonuçları değerlendirilmiştir.

Anahtar kelimeler: *Sıvılaşma, Kabuk tabakası, FLAC2D, Kazık soket derinliği, Ataletsel-Kinematik etki.*

I. INTRODUCTION

Pore water pressure increases caused by dynamic loads on saturated soils can transform the soils from solid to liquid state hence the liquefaction. Due to liquefaction, effective stress and shear strength decreases. It is known that liquefaction does not occur in all soil layers in the field. Therefore, it is required to assess liquefaction potential. Most critical soils which prone to liquefaction are silty sands, fine clean sands and presence of non plastic fine particles decreases liquefaction resistance. Although liquefaction depth limit is accepted as around 15 to 20 meters, there are liquefaction cases with greater depths. The pile foundations were damaged in the past due to the liquefaction and the lateral spreading events occurred after the earthquakes. Attributing the pile damage under dynamic loads only to the soil behavior is not a comprehensive approach. Understanding pile behavior in liquefied soils is possible through assessing the soil features, the mechanical-physical properties of the pile, embedded length of the pile, and the existence of a non-liquefied crust soil layer on the liquefied soil as a whole. The fact that the pile damages occurred during the recent earthquakes are still observable is due to the liquefied soil behavior and the additional dynamic forces affecting the pile during the earthquake are not completely known at the design stage. Settlements, lateral spreads and bearing capacity losses were observed due to liquefaction during the last earthquakes in the world and in our country. While some of the structures on the liquefied ground collapsed, excessive settlements were also observed.

The pile responses due to only the inertial effects under dynamic loads are analyzed by civil engineers but kinematic effects are generally omitted. However, it is known that the design of pile foundations in liquefied soils under dynamic loads is a complex phenomenon with pile-soil interaction which must be designed for both inertial and kinematic effects [1].

The number of contemporary academic studies conducted to understand the negative effects of liquefied soils on pile foundations have gained momentum. Numerical methods have been applied to determine the permanent displacements caused by liquefaction and pile damages in the past and present [2, 3]. In particular, it was predicted that pile damage usually occurs in the interfaces between the liquefied and non-liquefied soil and the deformations in the interface layer should be higher. Moreover, it was concluded that the most critical design stage for piles is the rotation limitation of the pile-heads, the presence of a liquefied and non-liquefied layered soil conditions. Appropriate analyses considering these effects should be performed earthquake loads [4, 5].

Assessing pile behavior in liquefied soils requires the simultaneous consideration of the effects caused by inertial and kinematic interactions on soil-pile behavior [6-8] Engineering practice generally relies on pseudo-static approaches and neglects the kinematic effect [9]. However, earthquakes experienced in the past and studies show how important the kinematic effect is [10-12].

It is known that large soil displacements caused by kinematic effects are an important criterion for pile control. The kinematic effects increase in the liquefied and non-liquefied soil interface, the piles are also affected [13, 14]. It was observed that the highest bending moments (for fixed-headed piles) occurred at the pile-heads and at the soil interfaces with highest shear wave velocity ratio [15].

Moreover, simple equations and analysis methods were developed to evaluate the kinematic effect at the pile-head and at the interface of the layers [16-22].

It has been observed that inertial effects are effective at a depth of approximately 15 pile diameters from the pile-head, while kinematic effects are effective at greater depths [23]. When the pile-supported structures are exposed to earthquake loads, the inertial loads from the superstructure and the kinematic load generated by the ground motion act together, hence a complex dynamic soil-structure-pile interaction problem occurs. Therefore, ground motion, the state of free field conditions, the

inertial effects from the superstructure and the soil-pile-structure interaction should be considered to understand the pile behavior in liquefied soils [24]. It is known that the damages occurring near the upper part of the piles after the liquefaction event under earthquake loads are caused by inertial effects. Additionally, the lateral ground movement caused by the liquefaction directs the pile damage towards the middle parts due to kinematic effects [25]. Kinematic and inertial effects on liquefied soils were examined together by some researches [26].

In addition, the liquefied soil thickness and pile socket depth near the ground surface are important factors to determine the pile behavior in liquefied soils. There are numerous sources and abundant research on the subject. Cubrinovski, Kokusho and Ishihara (2006) [27], performed an experimental study through which they changed the pile length and thickness of the liquefied soil layers on single steel and concrete piles. They concluded that flexible piles have the greatest displacement through equal movement with the ground, while rigid piles have less displacement. Dash and Bhattacharya (2007) [28], mentioned that the piles must be inserted into the non-liquefied soil, the shear strength of piles should not exceed the allowable capacity, the axial load on the piles should be designed in a way that impedes buckling and bending failures during liquefaction and settlement of piles should be in allowable values. Dash, Govindaraju and Bhattacharya (2009) [29], examined the pile foundations damaged by liquefaction and lateral spreading in the Kandla port, which was damaged in the 2001 Bhuj earthquake, and asserted that the piles should be inserted into the non-liquefied soil adequately.

It is also important to know the soil properties and the mechanical properties of the pile to assess the pile damage caused by lateral spreading due to liquefaction, as well as whether there is a non-liquefied crust layer on the liquefied soil layer. Several scholars have studied this subject and discussed the effects of the crust layer. Tokida et al. (1993) [30] examined the liquefaction based lateral spreading through shaking table experiments as they found that the length of the spreading soil, the thickness of the liquefied soil layer and the non-liquefied crust layer and the angle of the sloping surface have important effect on this phenomenon.

The presence of the crust layer on the liquefied soil affects the analysis for the pile foundation [31]. Lateral spreading under seismic loads during an interaction between the soil crust layer and the pile-head should be existent and evaluated together [32]. Cases with pile damage in liquefied soils and the presence of non-liquefied crustal layer indicates higher shear force and moment values on piles [33].

Finite difference analysis in the time domain was performed to determine the pile behavior with different diameters in liquefiable soils of different thicknesses and relative densities. In this study finite difference analyses were performed by changing the embedded lengths of pile socket according to the existence and absence of a non-liquefying crust layer on the liquefied soil in the layered soil profile. As the results of these analyses pile-head displacements and maximum moment values were assessed.

II. MATERIALS AND METHODS

A. FINITE DIFFERENCE METHOD

Finite difference method is the process of dividing the problem function into equal intervals and obtaining a result by solving this function. The FLAC2D [34] program utilized in this study is a finite difference program, and the models included in the program and applied during the analyzes are stated below. Since analyses were performed in plane strain condition, behaviour of a single pile with neglecting the effect of pile spacing was assessed.

Mohr-Coulomb model

Mohr-Coulomb model is a classical model applied to model shear failure in soils and rocks [35]. The Mohr-Coulomb model is visualized by an irregular hexagonal pyramid with the same axis, and this model is shown in Figure 1.

Failure model and yield function are included in the Mohr-Coulomb model, while hardening/softening functions are not [36].

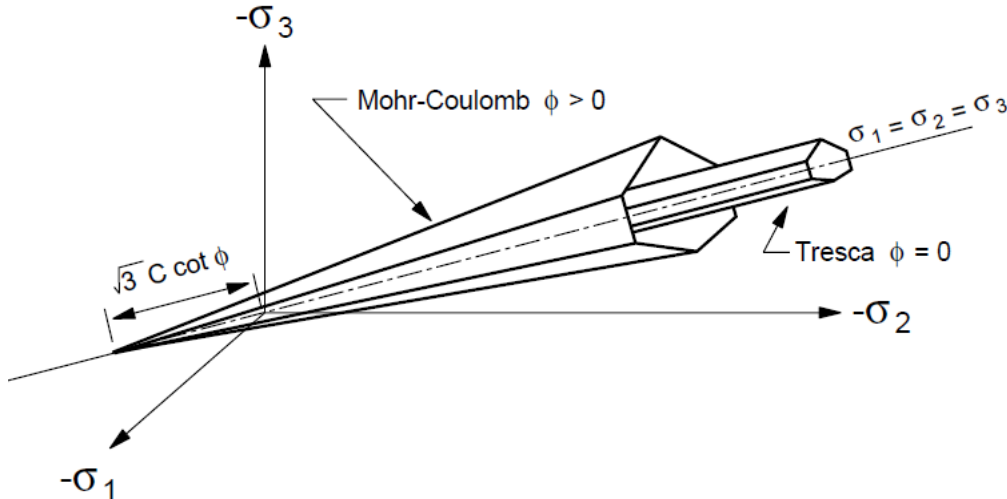


Figure 1. Mohr-Coulomb and Tresca failure surfaces in stress space [35].

Finn liquefaction model

The Finn Model, used in the FLAC finite difference program to simulate liquefied soils, uses the assumed linear elastic-perfect plastic stress-deformation behavior with the Mohr-Coulomb failure criteria [37]. Martin, Finn, and Seed (1975) [38] defined the effect of cyclical loading on pore water pressure as a result of permanent volumetric unit deformations of the soil mass. Hence the spaces between the grains try to decrease and the pore water pressure increases. The increase in volumetric unit deformation ($\Delta\varepsilon_v$) that occurs in any cycle of dynamic loading depends on the shear deformation (γ) in this cycle and the previously accumulated volumetric deformation (ε_v).

III. PARAMETRIC ANALYSES MADE WITH FINITE DIFFERENCE METHOD

The finite difference network, boundary conditions and pile element used in these analyzes are presented in Figure 2. As observable in Figure 2, special non-reflective free field conditions were used to model the presence of infinite soil at the side boundaries of the model.

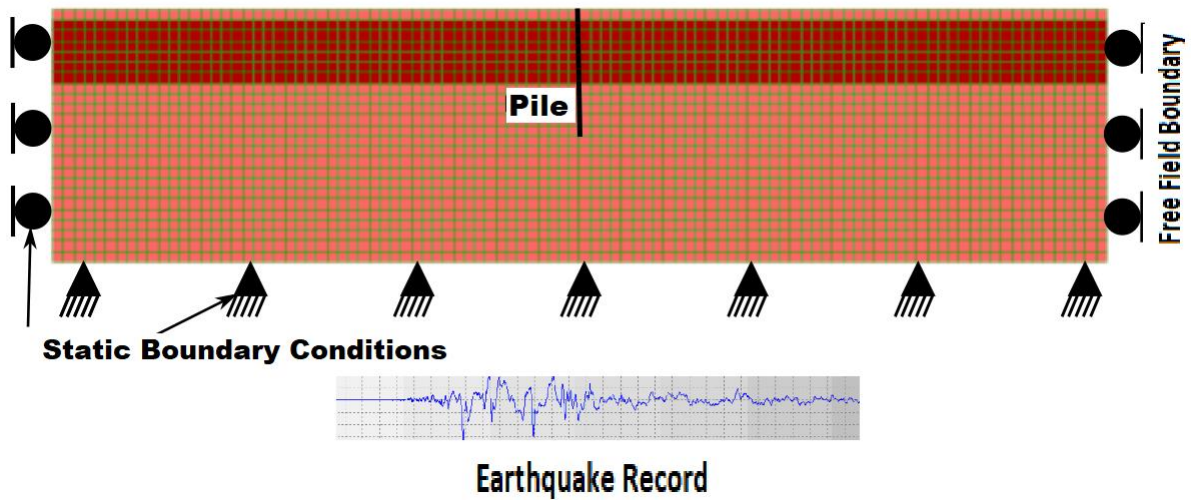


Figure 2. Boundary conditions and finite difference network used in parametric finite difference analyses.

As the first stage effective stress values due to pore water pressures and weight of the soil mass were calculated. After this stage, the pile and the structural element were added to the model, and analysis performed under static loading conditions and the deformations that occurred were nulled to only assess the earthquake-induced deformations. After this stage, dynamic analyses were performed. Piles were modeled with the "pile" element in the FLAC2D analyses by using reinforced concrete section properties.

A simple structural element was modeled in the FLAC2D in such a way that the natural vibration of it corresponds to 0.6 seconds (usually the natural vibration period of the viaduct piers is in the range of 0.6-0.8 seconds). Axial loads applied by the structural element to the pile are set as 348 kN for 0.6-meter diameter and 716 kN for 1-meter diameter piles. In a parametric test to understand the pile behavior in liquefied soils, SPT values ($N_{(1)60}$) of liquefiable sand were selected as 5, 10 and 15. The "Kocaeli Earthquake Record", which was recorded during the 1999 Marmara earthquake, was used in the analyses because it creates high spectral accelerations over a wide period of time (Figure 3). Kocaeli earthquake record was filtered according to finite difference grid size and baseline correction was performed to enable the velocity and displacement to equal to zero at the end of the earthquake. Deconvolution process was applied to the Kocaeli earthquake record in DEEPSOIL [39] program to enable the transfer of Kocaeli acceleration recorded on the surface to the base of the FLAC2D model.

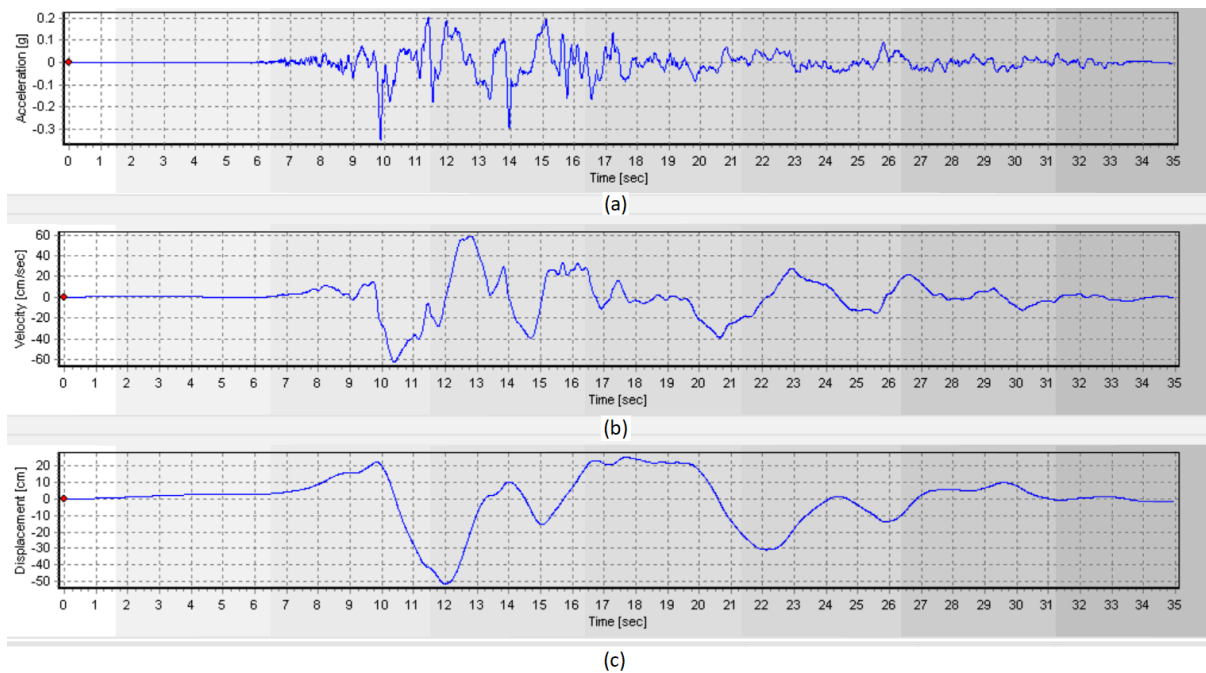


Figure 3. a) acceleration-time b) velocity-time c) displacement-time graphs of the Kocaeli earthquake record used in dynamic finite difference analyses.

For the liquefiable soil "Finn Liquefaction Model" was used, the model parameters controlling the pore pressure development (C1, C2) are calculated from corrected SPT values using suggested equations. The layer in which the piles are socketed is assumed to be stiff clay and modeled by "Mohr Columb" as failure criterion with the elastic perfect plastic soil model. The model parameters used are presented in Table 1. Liquefiable soil layer is assumed as clean sand.

Table 1. Soil parameters.

Non-liquefied soil layer (Clay)			Liquefied soil layer (Sand)							
Undrained Cohesion (kPa)	Undrained Elasticity Modulus (MPa)	ϕ°	$(N_1)_{60} = 5$		$(N_1)_{60} = 10$		$(N_1)_{60} = 15$			
			E (MPa)	C ₁ C ₂	ϕ°	E (MPa)	C ₁ C ₂	ϕ°	E (MPa)	C ₁ C ₂
120	40	29°	25	1.164 0.344	30°	50	0.489 0.818	32°	75	0.295 1.357

Pile soil interface elements were used in the analyses, and since these were carried out under plane deformation conditions, the pile section properties were scaled as the pile spacing and diameter ratios were equalized in piles with a diameter of 0.6 and 1 m.

The pile-head is modeled free to rotate. However, as the piles are connected to the superstructure element, the pile-head is not completely free to rotate as in the spring beam (Winkler model) methods. The model is schematically shown in Figure 4.

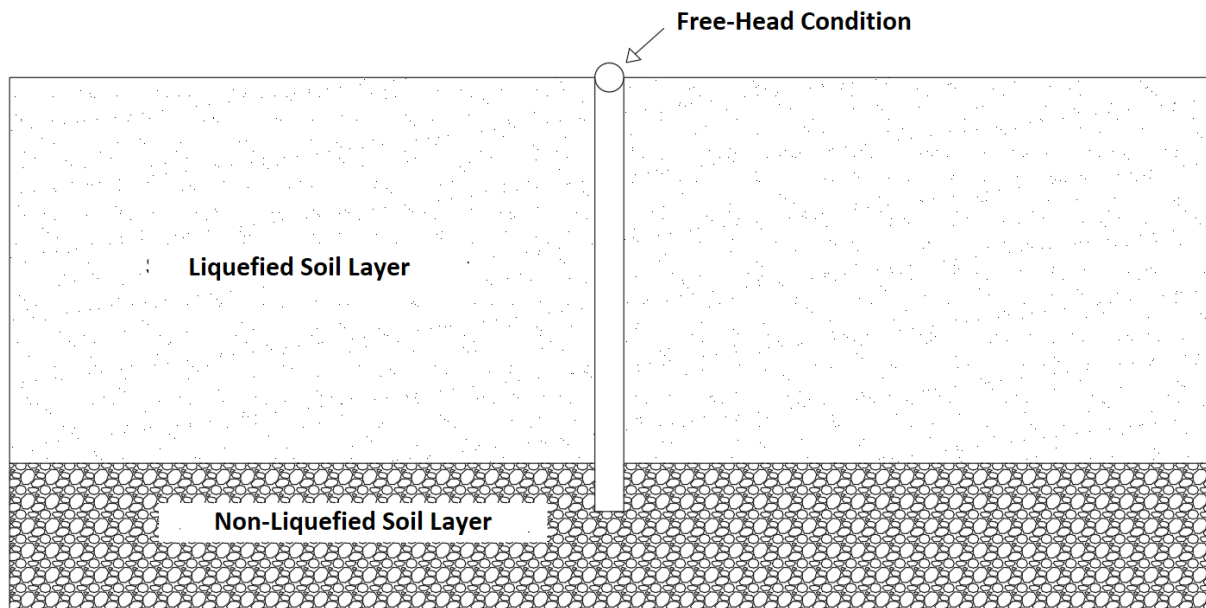


Figure 4. The pile-head is modeled free to rotate.

It was observed that high moments in piles occur in the finite difference analysis at the interface layers and at the top of the pile and it was determined that the moments were in the same phase with the accelerations affecting the superstructure. In other words, the occurrence of maximum accelerations and maximum moments coincide. For example, the graph of the moment in the interface layer and the accelerations at the upper point of the building element is given with solution steps for the pile with 12 meter length and 0.6 meter diameter, socketed to a 8 meter thick liquefiable soil, of 1 meter in the non-liquefiable crust layer, shown in Figure 5. For the accelerations to be apparent in the graph, the accelerations in the unit m/s^2 have been magnified 30 times.

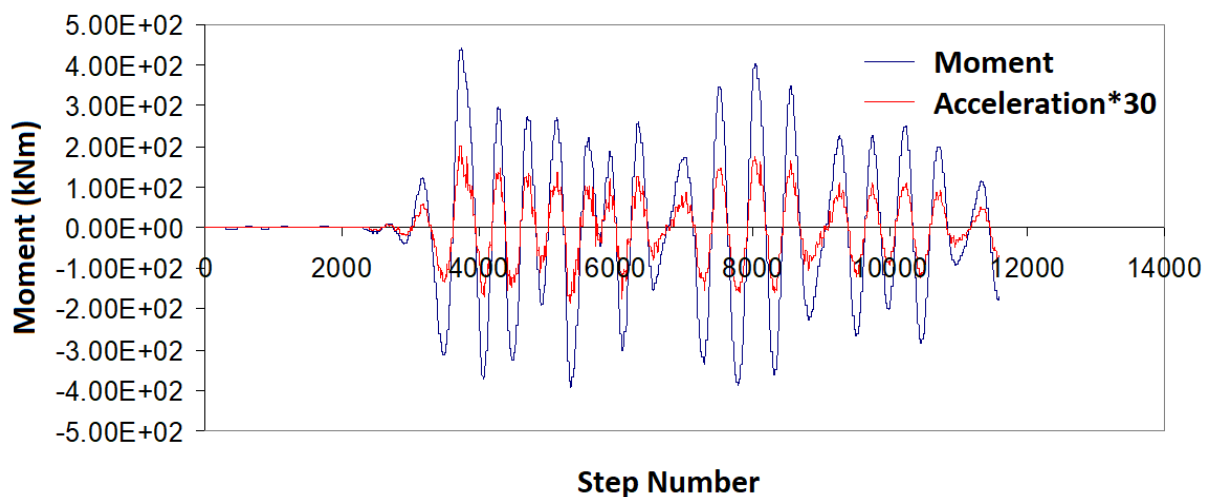


Figure 5. The graph of the moment in the interface layer and the accelerations at the upper point of the building element is given with solution steps for the pile with 12 meter length and 0.6 meter diameter, socketed to a 8 meter thick liquefiable soil, of 1 meter in the non-liquefiable crust layer

This situation indicates that the inertial and kinematic effects must be affected simultaneously in liquefied soils.

For instance, the pore pressure distribution through the analysis obtained from the finite difference analysis for an 8-m long, 0.6-m diameter pile is shown in Figure 6. The deformation vectors obtained for this analysis are provided in Figure 7.

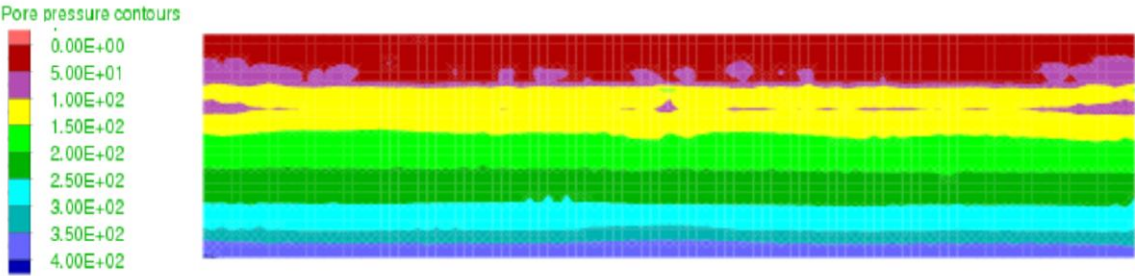


Figure 6. Pore pressure distribution at the end of the analysis obtained from finite difference analysis for an 8-m long pile with a 0.6-m diameter.

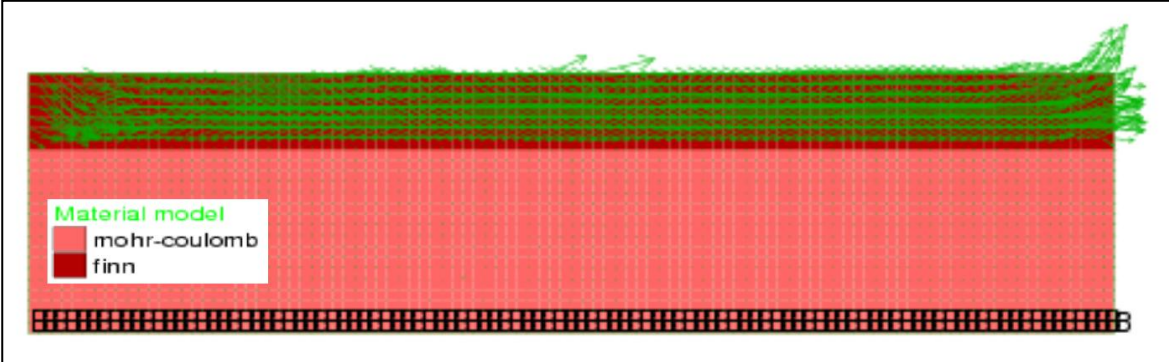


Figure 7. Deformation vectors at the end of the analysis obtained from the finite difference analysis for an 8-m long pile with a 0.6-m diameter.

Piles with a total length of 8 meters of which 7 meters are in the liquefiable soil were modeled in the first group analysis. The results obtained from the analyses are shown in Table 2.

Table 2. The results of the finite difference analysis for 8-m piles, with a free rotating pile-head and an embedded length of 1 m.

Diameter (m)	Pile-head displacement (m)			Maximum moment (kN.m)		
	SPT 5	SPT 10	SPT 15	SPT 5	SPT 10	SPT 15
0,6	0,70	0,52	0,32	210	190	180
1,0	0.68	0.58	0.34	502	500	467

Moment capacities of piles under operating axial loads are 391 kN.m for 0.6-m diameter and 1469 kN.m for 1 m diameter. The moment values obtained through the analysis are below the pile moment capacities. However, pile-head deformations appear to be high. It seems insufficient to socket the piles into 1 meter of non-liquefied ground.

The pile length was changed to 12 m and the embedded length to 4 m, and the analyzes were repeated for liquefiable soils with corrected SPT values of 5, 10 and 15. The results obtained by the analyses are summarized in Table 3.

Table 3. The results of the finite difference analyses for 12-m piles, with a free rotating pile-head and an embedded length of 4 m.

Diameter (m)	Pile-head displacement (m)			Maximum moment (kN.m)		
	SPT 5	SPT 10	SPT 15	SPT 5	SPT 10	SPT 15
0,6	0,56	0,62	0,30	290	270	250
1,0	0,37	0,37	0,16	835	820	790

In the simulation with the corrected SPT value of 5, moment values and pile-head displacement values were higher than other other cases. Increasing the embedded length decreased the pile-head deformations and increased the moments. There are two reasons why the moment increases with the pile diameter. First, as the pile diameter increases, higher axial load and hence higher inertial lateral forces are applied because of the safe pile bearing capacity increases. Second, when more rigid elements are exposed to similar deformations, higher cross-section stresses occur.

One meter thick non-liquefiable crust layer was added to the upper part of the soil profile in the consecutive parametric analyses and simulations were repeated for the 12-m long pile. The results are presented in Table 4. The schematic visual of the soil profile with an added crust layer is shown in Figure 8.

Table 4. Finite difference analysis results for 12-m long piles with free rotating pile-head, a 4-m embedded length and 1-m non-liquefied crustal layer.

Diameter (m)	Pile-head displacement (m)			Maximum moment (kN.m)		
	SPT 5	SPT 10	SPT 15	SPT 5	SPT 10	SPT 15
0,6	0,48	0,47	0,45	940	905	890
1,0	0,60	0,61	0,49	2505	2520	2340

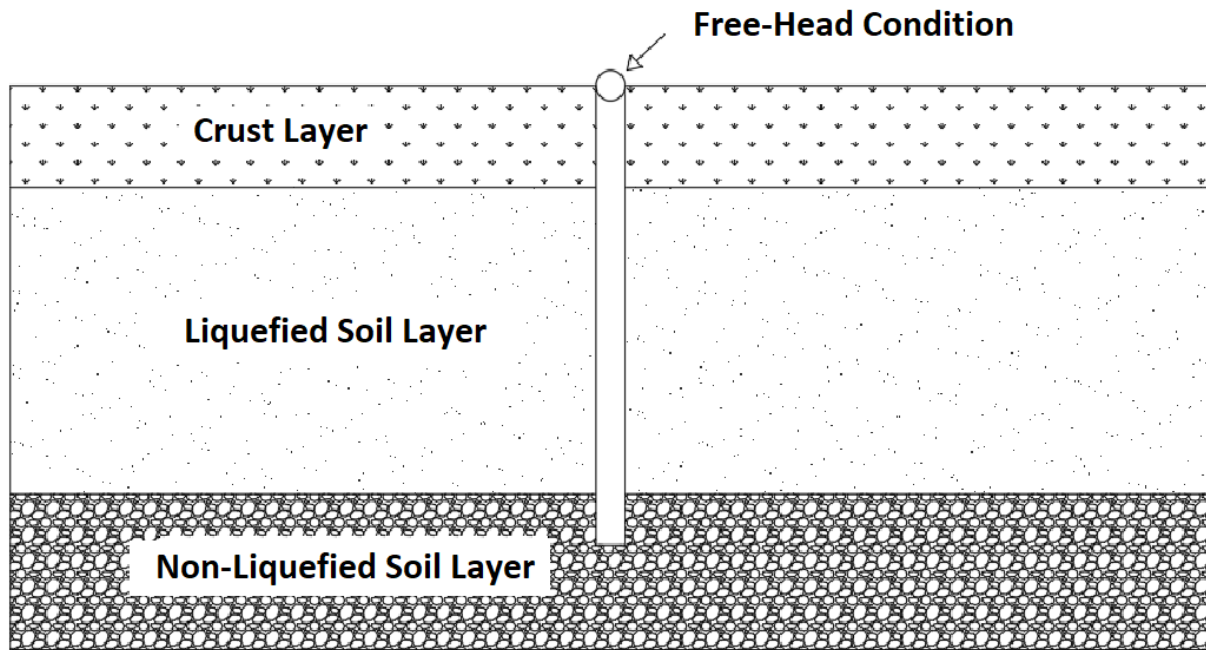


Figure 8. Schematic representation of a pile with free rotating head and a crust layer.

IV. CONCLUSION

Presence of liquefiable layers impose additional forces on pile foundations. Piles with insufficient rigidity may buckle and sheared. Excessive lateral displacements may occur due to lateral spreading. The results indicate that the crust layer has an impact that immensely increases the moment values. Increasing the SPT values, decreased displacement and moment values observed in the pile-head. For a liquefiable soil with 15 corrected SPT value, the liquefied soil behaved more rigid and supported the pile more, hence less the displacement and moment values observed at the pile head compared to liquefiable soils with 5 and 10 corrected SPT values. In cases where no crust layer exist, the increase in the diameter of the pile caused smaller displacements at the pile head, opposite results were observed when non liquefiable crust layer exist. Moreover, the displacement value at the pile-head decreased as the pile length and socket depth increased in the cases with no crust layer. In the sample with a pile length of 8 m and embedded length of 1 m, the moment value was found to be lower than the sample analysis with the pile length 12 m and embedded length of 4 m as the pile is able to rotate without bending.

Moment capacities are exceeded in both pile simulations with different diameters when a crust layer exists. However, since behaviour of pile cross-section is linear in FLAC2D calculated moments continued to increase.

The pile diameter, length, embedded length, and crust layer properties should be assessed accurately and included in the analysis accordingly for the proper pile design. These results are valid only for the parametric study presented in this study, and it is clear that more analyses and experimental studies such as field measurements and shake-table tests are necessary to reach concrete conclusions.

V. REFERENCES

- [1] K. Chatterjee, D. Choudhury, V. Dilli Rao, and H.G. Poulos, "Seismic response of single piles in liquefiable soil considering P-delta effect," *Bulletin of Earthquake Engineering*, 17, pp.2935–2961, 2019.

- [2] K. Tokimatsu and Y. Asaka, “ Effects of liquefaction-induced ground displacements on pile performance in the 1995 Hyogoken-Nambu earthquake,” *Special Issue of Soil and Foundations*, 38, pp.163-177, 1998.
- [3] G.R. Martin and C.Y. Chen, “Response of piles due to lateral slope movement,” *Computers and Structures*, 83(8-9), pp.588-598, 2005.
- [4] K. Horikoshi, A. Tateishi and H. Ohtsu, “ Detailed Investigation of Piles damaged by Hyogoken Nambu Earthquake,” *12th World Conference on Earthquake Engineering*, 2477, 2000.
- [5] W.D.L. Finn and N. Fujita, “ Piles in liquefiable soils: seismic analysis and design issues,” *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 22(9-12), pp.731-742, 2002.
- [6] B.K. Maheshwari, K.Z. Truman, M.H. El Naggar and P.L. Gould, “Three-dimensional nonlinear analysis for seismic soil-pile-structure interaction,” *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 24(4), pp. 343–356, 2004.
- [7] K.Tokimatsu, H. Suzuki and M. Sato, “ Effects of inertial and kinematic interaction on seismic behavior of pile with embedded foundation,” *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 25(7-10), pp.753-762, 2005.
- [8] N. Chenaf and J-L. Chazelas, “The Kinematic and Inertial Soil-Pile Interactions: Centrifuge Modelling” *3rd International Workshop of Young Doctors In Geomechanics*, France, 65-68, November, 2008.
- [9] J. Chioua, W. Hung and Z. Young, “Combined dynamic structure-pile-soil interaction analysis considering inertial and kinematic effects,” *Computers and Geotechnics*, Volume 125, 103671, September, 2020,
- [10] A.S. Nikolaou, G. Mylonakis, G. Gazetas, T., Tazoh, “Kinematic pile bending during earthquakes analysis and field measurements,” *Geotechnique*, 51 (5), pp. 425-440, 2001.
- [11] K.T. Chau, C.Y. Shen and X. Guo, “Nonlinear seismic soil–pile–structure interactions: Shaking table tests and FEM analyses,” *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 29, pp. 300-310, 2009.
- [12] M.N. Hussien, T. Tobita, S. Iai and M. Karray, “Soil-pile-structure kinematic and inertial interaction observed in geotechnical centrifuge experiments,” *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 89, pp. 75-84, 2016.
- [13] M. Cubrinovski and K. Ishihara, “Simplified method for analysis of piles undergoing lateral spreading in liquefied soils,” *Soils and Foundations*, 44(5), pp.119-133, 2004.
- [14] X. Wei, Q. Wang and Wang, J. “Damage patterns and failure mechanisms of bridge pile foundation under earthquake,” *The 14th World Conference on Earthquake Engineering*, Beijing, China, 2008.
- [15] S. Stacul and N. Squeglia, “Simplified assessment of pile-head kinematic demand in layered soil” *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Volume 130, March, 2020.
- [16] A.E. Kampitsis, E.J. Sapountzakis, S.K. Giannakos and N.A. Gerolymos, “Seismic soil–pile–structure kinematic and inertial interaction-a new beam approach,” *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 55, pp. 211-224, 2013.

- [17] R. Di Laora, G. Mylonakis and A. Mandolini, "Pile-head kinematic bending in layered soil," *Earthquake Engineering Structure Dynamics*, 42 (3), pp. 319-337, 2013.
- [18] F. Liang, H. Chen, and W.D. Guo, "Simplified boundary element method for kinematic response of single piles in two-layer soil," *Journal of Applied Mathematics*, 2013.
- [19] R. Di Laora and E. Rovithis, "Kinematic bending of fixed-head piles in nonhomogeneous soil," *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 141 (4), p. 04014126, 2015.
- [20] R. Luo, M. Yang and W. Li, "Assessments of kinematic bending moment at pile head in seismic area," *Journal of Earthquake Engineering*, 25(5), pp.970-991, 2018.
- [21] S. Stacul and N. Squeglia, "KIN SP: A boundary element method based code for single pile kinematic bending in layered soil," *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 10(1), pp. 176-187, 2018.
- [22] W. Ke, Q. Liu and C. Zhang, "Kinematic bending of single piles in layered soil" *Acta Geotechnica*, 14, pp. 101-110, 2019.
- [23] D. Erdoğan, S. Altun, S., A. Sezer ve G. Özden, "Kinematik zemin-kazık etkileşiminin winkler temeline oturan kiriş yöntemi ile analizi," *Teori ve Uygulamada Zemin-Yapı Etkileşimi, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği I. Özel Konulu Sempozyumu*, İstanbul, 2007.
- [24] D. Choudhury, V.S. Kanth and G.R. Reddy, "Recent Advances in Analysis and Design of Pile Foundations in Liquefiable Soils during Earthquake: A Review," *Proceedings of The National Academy of Sciences*, India, 2009.
- [25] K. Ishihara, "Terzaghi Oration: Geotechnical Aspects of The 1995 Kobe Earthquake," *Proceedings of Fourteenth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Hamburg, pp. 2047-2073, 1997.
- [26] A. Janalizadeh and A. Zahmatkesh, "Lateral response of pile foundations in liquefiable soils," *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 7(5), pp. 532- 539, 2015.
- [27] M. Cubrinovski, T. Kokusho and K. Ishihara, "Interpretation from large-scale table tests on piles undergoing lateral spreading in liquefied soils," *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 26(2-4), pp. 275-286, 2006.
- [28] S. R. Dash and S. Bhattacharya, "Criteria for design of piled foundations in seismically liquefiable deposits," *4th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering*, Thessaloniki, Greece, 1724, 25-28 June, 2007.
- [29] S.R. Dash, L. Govindaraju and S. Bhattacharya, S. "A case study of damages of the Kandla Port and Customs Office tower supported on a mat-pile foundation in liquefied soils under the 2001 Bhuj Earthquake," *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 29(2), pp. 333–346, 2009.
- [30] K. Tokida, H. Matsumoto, T. Azuma and I. Towhata "Simplified procedure to estimate lateral ground flow by soil liquefaction," *Transactions on the Built Environment*, 3, pp. 381-396, 1993.
- [31] S.J. Brandenberg, P. Kashighandi, J. Zhang, Y. Huo and M. Zhao, "Sensitivity Study of an Older-Vintage Bridge Subjected to Lateral Spreading," *Geotechnical Earthquake and Engineering and Soil Dynamics IV Congress*, Sacramento, California, May, 2008.
- [32] J. A. Knappett, S. Mohammadi and C. Griffin, "Lateral spreading forces on bridge piers and pile caps in laterally spreading soil: Effect of angle of incidence," *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 136(12), pp. 1589-1599, 2010.





- [33] Q. Li, X. Zhang and Z. Yang, "Analysis of laterally loaded piles in liquefiable soils with a frozen crust," *Geo Congress*, Oakland, California, United States, 25-29 March, 2012.
- [34] FLAC2D, Software program, Version 6, Itasca Consulting.
- [35] FLAC2D (2002). Fast Lagrangian Analysis of Continua User's Guide, Constitutive Models: Theory and Implementation, Itasca Consulting Group Inc. Version 4.
- [36] K.Z. Lee, "Verification of FLAC Mohr-Coulomb Model For Granular Materials Under Monotonic Loading," Report DSO-14-02, U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation Technical Service Center Denver, Geotechnical Engineering Group 3, Colorado, 2014.
- [37] A. Soroush and S. Koohi, "Numerical analysis of liquefaction-induced lateral spreading," *13th World Conference on Earthquake Engineering* Vancouver, B.C., Canada, 2004.
- [38] G.R. Martin, W.D.L Finn. and H.B. Seed, "Fundamentals of liquefaction under cyclic loading," *Journal of the Geotechnical and Geoenvironmental Engineering Division*, 101(5), pp.423-438, 1975.
- [39] DEEPSOIL 6.1, Software program, University of Illinois at Urbana-Champaign.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Farklı Yapıdaki Kumaşlara Antimikrobiyal Apre Uygulaması ve Etkinliklerinin Karşılaştırılması

 Nisa Sipahi^{a,*},  Ekrem Akbulut^b,  Aysun Yenice^b,  Tuğba Zengin^b

^a Düzce Üniversitesi Geleneksel ve Tamamlayıcı Tıp Uygulama ve Araştırma Merkezi, 81620 Düzce, TÜRKİYE

^b Küçükçalık Tekstil San ve Tic A.Ş. 16400 Bursa, TÜRKİYE

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

DOI: 10.29130/dubited.1040842

ÖZ

Hastalıklardan korunmada tekstil ürünlerin büyük rolü bulunmaktadır. Tekstil materyaller günlük hayatın birçok yerinde karşımıza çıkmaktadır. Özellikle son iki yıldır yaşanan covid-19 pandemisi tekstilin önemine daha da dikkat çekmiştir. Bununla birlikte “tekstil bizi salgınlardan koruyabilir mi?” sorusunu da gündeme getirmiştir. Bakterilerle dolu bir çevremiz olması, virüslerin bakterilere tutunarak saçılması ve nozokomiyal hastalıkların son yıllarda artış göstermesi, antimikrobiyal tekstil üretimine gereksinim olduğunu düşündürmektedir. Bu çalışmada farklı yapıdaki kumaşlara gümüş ve kuarterner amonyum tuz (QAS) apre uygulanması ve antimikrobiyal etkinliklerinin karşılaştırılması amaçlanmıştır. Kumaşlardan birisi %100 pamuk liflerden diğeri ise %100 poliester liflerden dokunmuştur. Uygulanan antimikrobiyal bitim işlemleri sonrası etkinlikleri AATCC 100 test metoduna göre belirlenmiştir. Kontrol olarak apre uygulanmamış kumaşlar aynı teste tabi tutulmuştur; ancak herhangi bir mikrobiyal inhibisyona rastlanmamıştır. Buna göre tüm gümüş apreli pamuk kumaşlarda etkinin diğerlerine oranla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. En yüksek inhibisyon oranı %99,03 ±0,49 olarak gümüş apreli pamuk kumaşta tespit edilmiştir. En düşük inhibisyon oranı ise QAS apreli poliester kumaşta %59,43 ±1,87 olarak bulunmuştur. Ayrıca kumaşların gram pozitif bakterilere karşı daha etkin olduğu görülmüştür. Aynı zamanda uygulanan apre işleminin kumaşlarda renk değişimi, pilling (boncuklanma) ve hidrofiliteye neden olup olmadığı da test edilmiş ve herhangi bir etki olmadığı görülmüştür. Sonuç olarak bu çalışmada farklı yapıdaki kumaşlara uygulanan antimikrobiyal bitim işlemlerinin yüksek etkinlik gösterdiği görülmüştür. Çeşitli enfeksiyon hastalıklarındaki eradikasyon çalışmalarında, günümüz pandemisi ve hastane enfeksiyonları ile mücadelede antimikrobiyal tekstil sektörünün oldukça büyük bir yere sahip olduğu ve geliştirilmesi gerektiği düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Antimikrobiyal apre, Gümüş, Kuarterner Amonyum Tuzu, Salgın, Pamuk, Poliester

Application of Antimicrobial Finishing on Different Fabrics and Comparison of Effectiveness

ABSTRACT

Textile products have a great role in protecting against diseases. Textile materials are encountered in many parts of daily life. In particular, the COVID-19 pandemic in the last two years has drawn even more attention to the importance of textiles. However, “can textiles protect us from epidemics?” also raised the question. The fact that we have an environment full of bacteria, viruses spread by clinging to bacteria, and nosocomial diseases have increased in recent years suggests that antimicrobial textile production is needed. In this study, it was aimed to antimicrobial finishing with silver and quaternary ammonium salt (QAS) on different fabrics and to compare their antimicrobial activities. One of the fabrics was woven from 100% cotton fibers while the other was woven

from 100% polyester fibers. The antimicrobial effect of the fabrics was determined by the AATCC 100 test method. Fabrics that did not treatment as a control were tested however, no microbial inhibition was observed. Accordingly, it was found that the effect was higher in all silver-finished cotton fabrics compared to others. The highest inhibition rate was found to be $99.03 \pm 0.49\%$ in cotton fabric with silver finish. The lowest inhibition rate was found to be $59.43 \pm 1.87\%$ in polyester fabric with QAS finishing. It has also been observed that fabrics are more effective against gram-positive bacteria. At the same time, it was also tested whether the finishing process applied caused discoloration, pilling and hydrophilicity in the fabrics and it was seen that there was no effect. As a result, in this study, it was observed that antimicrobial finishing processes applied to fabrics of different structures showed high efficiency. In the eradication studies of various infectious diseases, it is thought that the antimicrobial textile sector has a very large place in the fight against today's pandemic and nosocomial infections and should be developed.

Keywords: Antimicrobial finishing, Silver, Quaternary Ammonium Salt, Epidemic, Cotton, Polyester

I. GİRİŞ

Tekstil ürünler, sağlığın korunmasında birçok rol üstlenmektedir. Günümüzde yaşanan pandemi bunu daha anlaşılır bir hale getirmiştir. Bilindiği üzere Aralık 2019'un sonlarında, ilk olarak Çin'de ortaya çıkan, SARS-CoV 2 kaynaklı salgın Dünya Sağlık Örgütü tarafından Covid-19 pandemisi olarak ilan edilmiş ve aynı zamanda Mart 2020'den itibaren Türkiye'de de görülmüştür. Halen (Aralık 2021) devam etmekte olan bu salgın kısa sürede birçok sektörün işleyişinde aksamalara neden olmuştur [1-3]. Bununla birlikte birçok ülkede günlük yaşam biçimlerinin değişmesine sebebiyet vermiştir. Virüsün solunum yoluyla ve damlacıklarla bulaşması sebebiyle çeşitli koruyucu ekipmanların günlük hayata kullanımı çoğu ülkede zorunlu hale getirilmiştir [4,5]. Dünyayı etkisi altına alan covid-19 pandemisinden korunma yollarında maske, eldiven ve benzeri koruyucu kıyafetlerin kullanımı halen tartışma konusu olsa da genel kabul gören bir durumdur [6]. Bu da covid-19'un akıllara yeni bir soru getirmesine neden olmuştur. Tekstil bizi enfeksiyöz hastalıklardan ve salgınlardan koruyabilir mi? [7]. Covid-19 salgını aynı zamanda toplumun, mikroorganizma kaynaklı diğer enfeksiyonlar hakkında ve birçok patojen bakteri konusunda bilinçlenmesine neden olmuştur. Aynı zamanda bizlere günlük hayatta birçok patojen ile temasta olduğumuzu hatırlatmıştır. Tarihsel süreç içinde birçok pandemi yaşandığı ve bunların bazılarının bakteriyel olduğu (ki halen 7. Kolera salgını gelişmemiş ülkelerde devam etmektedir) bilinmektedir [8]. Salgınlardan korunma yöntemleri incelendiğinde öne çıkan ana ürün hep tekstil materyalleri olmuştur. Bulaşıcı hastalıklardan korunmak için geliştirilen kişisel koruyucu ekipmanların büyük bir bölümü tekstilden elde edilmiştir. Günlük kullanılan eldiven, şapka gibi aksesuarlardan tüm kıyafetlerimize, hastane kıyafetlerine, ameliyathanede kullanılan giysilere, mutfakta kullanılan bazı materyallere kadar tekstil hayatımızın birçok yerinde karşımıza çıkmaktadır [9]. Diğer yandan enfeksiyöz etmenler her zaman salgınlar halinde kendini göstermeyip günlük yaşamın oldukça içerisinde yer almaktadır. Bakterilerle dolu bir çevremiz bulunmakta ve pek çok bulaşıcı hastalık, özellikle kış aylarında oldukça etkin olarak hayatımızda yer almaktadır. Patojen mikroorganizmaların neden olduğu hastalıklar için mikroorganizmaların bulaş yolları ve temas oldukça önemlidir. Covid-19 araştırmalarından bazıları virüsün ağız mukozasından bakterilere ve tükürük sıvısına yapışarak saçıldığına dikkat çekmektedir [10]. Bu durumda havada asılı kalan partiküllerin bakterilerle birlikte üzerimize düşmesi ve kıyafetler ile taşınması da olasıdır. Tekstil, bakterilerin potansiyel bir üreme alanı olabilmektedir. Çünkü tekstil yüzeyleri, mikrobiyal yapışmada güçlü rol oynamakta ve insan derisiyle temas halinde olup mikroorganizma büyümesi için besin, nem, sıcaklık gibi elverişli ortamı sağlayan bir araç durumundadır [11]. Bu nedenle, antibakteriyel tekstilin geliştirilmesi, mikroorganizmaların büyümesini engellemek, kullanıcının sağlığını ve güvenliğini korumak açısından çok önemlidir. Bu çalışmada farklı yapıdaki kumaşlara gümüş ve tuz bazlı kaplama yapılarak antimikrobiyal kumaş üretilmesi ve etkinliklerinin araştırılması amaçlanmıştır.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

A. MATERYAL

A.1. Kimyasallar

Antimikrobiyal kumaş kaplaması için gümüş ve kuarternler amonyum tuzu (QAS) kullanılmıştır. Pamuk kumaşlara kasar işlemi uygulamak için kostik, (sodyum hidroksit 48 bome), peroksit, peroksit stabilizatörü ve iyon tutucu kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan kimyasallar Küçükçalık Tekstil San ve Tic A.Ş.'den temin edilmiştir.

A.2. Test Suşları ve Kültür

Çalışmada *Staphylococcus aureus* ATCC 25923, *Klebsiella pneumoniae* ATCC 13883 suşları kullanılmıştır. Suşlar bir gün önceden NB (Nutrient broth, Merck) sıvı besiyerine inoküle edilerek 37°C'de 24 saat inkübe edilmiştir. Test öncesi suşlar $1-1,5 \times 10^5$ cfu/ml konsantrasyonuna seyreltilerek kullanılmıştır.

B. YÖNTEM

B.1. Kumaşların Hazırlanması

Çalışmada temel olarak iki farklı kumaş dokuması yapılmıştır. Amaç %100 selüloz esaslı kumaş yapıları ile %100 sentetik esaslı kumaş yapılarının etki farkını görmek olduğu için elyaf içeriği dışında tüm özellikler sabit tutulmuştur. Kumaşlardan birisi %100 pamuk liflerden diğeri ise %100 poliester liflerden üretilmiştir. Her iki kumaşta da, en temel örgü yapısı olan bezayağı tekniği kullanılmıştır. Kumaşlar, çözgü sıklıkları 31 tel/cm, atkı sıklıkları 22 tel/cm olarak dokunmuştur ve mamül gramajları 110 gr/m^2 olarak ölçülmüştür. Kullanılan ipliklerin birbirine yakın olması için poliester kumaşta atkı ve çözgü iplikleri 150 denye 48 filament tekstüre, pamuk kumaşta Ne 30/1 olarak seçilmiştir. Ayrıca pamuklu kumaşlara kasar işlemi uygulamak için 3 gr/lt kostik, 5 gr/lt peroksit (%50lik), 1 gr/lt peroksit stabilizatörü, 1 gr/lt ıslatıcı, 1 gr/lt iyon tutucu kullanarak 95°C'de 45 dk bekletilmiştir. Arkasından soğuk suyla 10 dk durulama-nötralizasyon, 50°C'de 0,5 gr antiperoksit enzimi ile çalkalama işlemleri yapılarak 150°C'de 30 mt/dk hızla kurutma yapılmıştır. Üretilen kumaşlar ve teknik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

B.2. Antimikrobiyal Apre Uygulaması

Kumaşların, bitim işlemleri sırasında çözülmüş halde gümüş veya QAS içeren apre banyolarına daldırılarak antimikrobiyal özellik kazanması sağlanmıştır. Apreler fular ile verilmiştir. İşlem 150°C'de 30 mt/dk hızla uygulanmıştır.

Tablo 1. Çalışmada üretilen antimikrobiyal kumaş numuneleri

Numune	Yapısı	Üretim Şekli
1	Gümüş bazlı poliester	Yıkama + Apre
2	Gümüş bazlı poliester	Yıkama + Apre
3	Tuz bazlı poliester	Yıkama + Apre
4	Tuz bazlı poliester	Yıkama + Apre
5	Gümüş bazlı pamuk	Kasar + Apre
6	Gümüş bazlı pamuk	Kasar + Apre
7	Tuz bazlı pamuk	Kasar + Apre
8	Tuz bazlı pamuk	Kasar + Apre

B.3. Antimikrobiyal Test

Üretilen kumaşların antimikrobiyal etkinlikleri AATCC100 metoduyla belirlenmiştir. Kumaşlar 4±0,1 cm dairesel olarak kesilmiştir. Kumaş üzerine belirtilen yoğunlukta hazırlanan bakteri süspansiyonu inoküle edilerek hızlıca steril su içerisinde çalkalanmış ve agar plak üzerine bırakılmıştır. Bu noktada bakteri kolonilerinin sayılması için NA (Nutrient agar, Merck) katı besiyeri üzerine yayma ekim yapılmış ve 37°C'de 24 saatlik inkübasyona bırakılmıştır. Böylece 0. zaman bakteri kolonileri kaydedilmiştir (B). Bununla birlikte her bir kumaşın bakteriler üzerindeki inhibisyon yüzdesinin belirlenmesi için kumaşlar üzerine emdirilen bakteri kültürü aynı şartlarda inkübasyona bırakılmıştır. Ardından 24. zamanda hızlıca steril su içerisinde daldırılıp ekim yapılarak tekrar inkübe edilmiş ve bakteri üremeleri kaydedilmiştir (A) [12]. Oransal inhibisyon (R) aşağıdaki formül ile belirlenmiştir:

$$R(\%) = 100 (B-A)/B$$

B.4. Diğer Testler

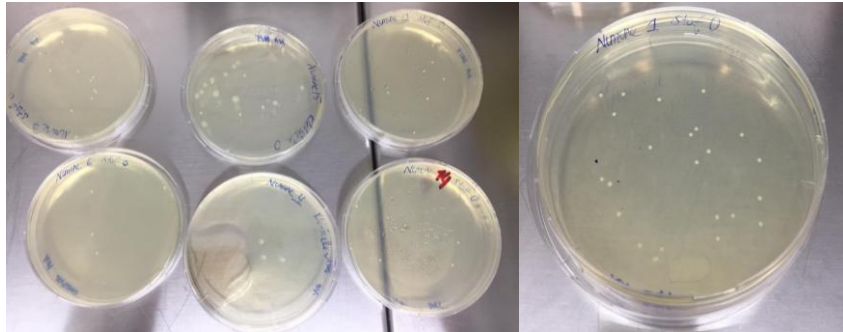
Kumaşlarda apre sonrası renk değişimi ve boncuklanma testleri Küçükçalık Tekstil San ve Tic A.Ş. Arge Merkezinde gerçekleştirilmiştir.

B.5. İstatistiksel Analiz

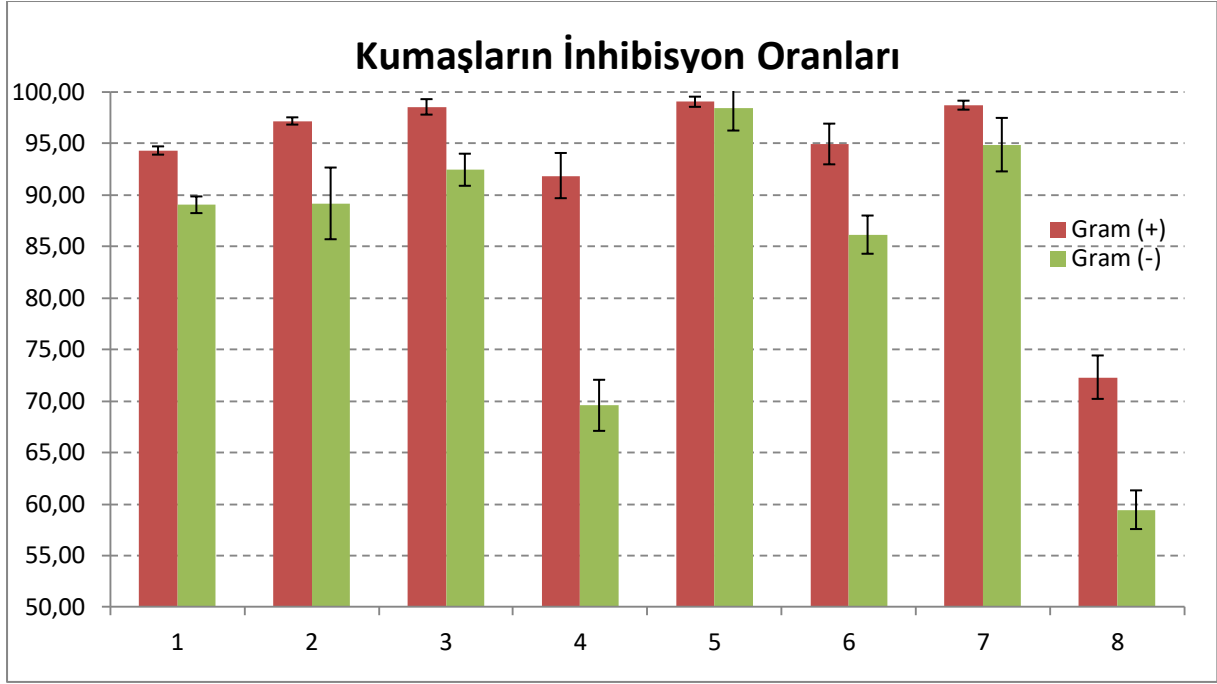
Antimikrobiyal testler 3 tekrarlı olarak çalışılmıştır. İnhibisyon oranları % ortalama ±SD olarak verilmiştir. Gram pozitif ve gram negatif bakteri için ayrı ayrı olmak üzere tüm gruplar arasındaki inhibisyon farkı Kruskal-Wallis varyans analizi ile hesaplanmıştır.

III. ARAŞTIRMA BULGULARI

Üretilen kumaşlar antimikrobiyal apre sonrası spektrofotometrede, karşılaştırmalı olarak ölçülmüş ve dE <0,6 olarak bulunmuştur. Buna göre, renk değişimi olmadığı tespit edilmiştir. Yapılan apre çalışmalarının pilling (boncuklanma) ve hidrofilité üzerinde hem %100 pamuk hem %100 poliester kumaşlarda etkisi olmadığı görülmüştür. Bakterilerin antimikrobiyal etkinlikleri bakterilerin üreme inhibisyon oranlarının 0. ve 24. zamanda agar plak üzerinde üreyen koloni miktarlarının karşılaştırılmasıyla belirlenmiştir (Şekil 1). Üretilen kumaşların AATCC 100 test standardına göre antimikrobiyal etkinlik sonuçları Tablo 2'de verilmiştir. Çalışmada işlem görmeyen poliester ve pamuk kumaşlar kontrol olarak aynı test işlemine tabi tutulmuş; ancak bu apresiz kumaşlarda inhibisyon görülmemiştir. Üremelerin bakterinin kendi logaritmik hızıyla devam etmesi sebebiyle tabloda apresiz kumaşlara yer verilmemiştir. Buna göre en yüksek inhibisyon oranı %99,03 ±0,49 olarak gümüş apreli pamuk kumaşta tespit edilmiştir. En düşük inhibisyon oranı ise QAS apreli poliester kumaşta %59,43 ±1,87 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 1. Agar üzerinde oluşan kolonilerinin görüntüsü.



Şekil 2. Kumaşların bakteriler üzerindeki inhibisyon oranları: Gram (+) bakteri: *S. aureus*, Gram (-) bakteri: *K. pneumoniae*. Tüm bakterilerin inhibisyon oranları karşılaştırıldığında anlamlı farklılık tespit edilmiştir ($p=0,003$).

Çalışmada test edilen tüm kumaşların gram pozitif bakterilere karşı daha etkin olduğu görülmüştür. Bununla birlikte tüm gümüş apreli pamuk kumaşlarda etkinin diğerlerine oranla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Gümüş aprenin ise her ki kumaş yapısında da daha fazla etkin olduğu görülürken tuz aprenin ise poliester kumaşta pamuk olana göre daha etkin olduğu sonucuna varılmıştır. Gram pozitif bakteride inhibisyon oranları tüm gruplar arasında Kruskal-Wallis varyans analizi ile karşılaştırıldığında anlamlı fark tespit edilmiştir ($p<0,01$). Gram negatif bakteride inhibisyon oranları tüm gruplar arasında Kruskal-Wallis varyans analizi ile karşılaştırıldığında anlamlı fark tespit edilmiştir ($p<0,01$).

IV. TARTIŞMA

Son yıllarda enfeksiyon hastalıklarındaki artış ve iki yıldır yaşanan pandemi süreci ile birlikte toplumun hijyen beklentilerinin artması tekstil sektöründe antimikrobiyal malzemeye yönelimin artmasına neden olmuştur. Günlük yaşam içerisinde tekstil materyallerde antimikrobiyal apre kullanımı, sağlığın korunmasında önemli roller üstlenebilmektedir. Ancak, üretimde kullanılan antimikrobiyal maddelerin türü de bir o kadar önem teşkil etmektedir. Kullanılan maddelerin kimyasal yapısı, etki şekli, doğaya zararlı olup olmadığı, oldukça önemlidir. Aynı zamanda uygulandıkları ürüne tutunma karakteristikleri, çeşitli dış etkilere dayanıklılıkları da kullanılan madde seçiminde önem arz etmektedir [13].

Antimikrobiyal kumaş üretiminde son yıllarda en fazla öne çıkan madde gümüş ve amonyum tuzları olmuştur. Cerrahi maske gibi benzeri koruyucu kıyafetlere işlevsellik katmak ve viral filtrasyonu arttırmak için gümüş, bakır, amonyum tuzları gibi moleküllerin ilave edilmiş ve bakterilere karşı etkinlikleri araştırılmıştır [14]. Gümüş, geniş spektrumlu etki göstermesi ve günlük kullanılan eşyalara kolayca kaplanabilmesi açısından son yıllarda tekstilde geniş kullanım alanı bulmaktadır [15]. Benzer şekilde amonyum tuzları da geniş spektrumlu etki göstermekte ve gram pozitif bakterilerin yanı sıra gram negatif bakterilerde, mantar, maya ve virüslere karşı da etkin olabilmektedir. Bunun dışında amonyum tuzları, uzun yıllardır biosid olarak geniş kullanım alanı bulmuş önemli

antimikrobiyal bir ajandır [16]. Yapılan çalışmalarda gümüş içerikli pamuk ya da poliester kumaşların çeşitli bakterilere karşı etkin olduğu gösterilmiştir [17,18]. Bu çalışmada *S. aureus* ve *K. pneumoniae* bakterilerine karşı tüm kumaşların antimikrobiyal etki taşıdığı görülmüştür. Test edilen numunelerden 3, 5 ve 7 numaralı kumaşların %95'in üzerinde etkin olduğu görülmüşken, 4 ve 8 numaralı kumaşlar hariç tüm kumaşların ortalama %90'nın üzerinde inhibisyon oranına sahip olduğu görülmüştür. Gram pozitif bakteri *S. aureus*'a karşı etkinlik, gram negatif bakteri *K. pneumoniae* bakterisine göre daha yüksek olarak bulunmuştur. Bunun, gram pozitif ve negatif bakteriler arasındaki hücre duvarı gibi yapısal farklılıklardan kaynaklandığı düşünülmektedir. Gram pozitif bakterilerin hücre duvarı gram negatif bakterilere kıyasla daha kalın, daha sert bir yapıya sahiptir. Ancak Gram negatif bakteriler kompleks bir hücre duvarı yapısına sahiptir. Gram negatif bakterilerde hücre duvarı daha ince olmasına karşın dış kısmında ikinci bir lipopolisakkarit tabakaya sahiptir. Dış membran adı verilen bu katman büyük molekülü antimikrobiyal ajanların penetrasyonuna karşı bir bariyer gibi işlev gösterebilmektedir. [19,20]. Akpınar (2019), çalışmasında MRSA (metisilin dirençli *S. aureus*) ve *E. coli*'ye karşı etki saptarken test ettiği diğer bakterilere (*Enterococcus faecalis*, *Streptococcus pneumoniae*, *K. pneumoniae* ve *Pseudomonas aeruginosa*) karşı bir etkinlik görülmediğini bildirmiştir [21]. Korkmaz'ın yaptığı çalışmada poliester kumaşlara yapılan uygulamalarda antimikrobiyal aktivite tespit edilemezken pamuk kumaşların hepsinde etkinlik tespit edilmiştir [22]. Bir başka çalışmada ise gümüş kaplamalı pamuk ve poliester *S. aureus*, *E. coli* ve *Aspergillus niger*'e karşı yüksek etkinlik saptanmıştır [20]. Başka bir çalışmada sentezlenen gümüş katkılı toz kimyasal apre kimyasalı olarak kullanılmış ve *E. coli* bakterisine karşı yüksek etkinlik gösterdiği tespit edilmiştir [23]. Taylan ve ark. (2019) nano gümüş emprenye ettiği kumaşlarda maya gelişiminin olmadığını görmüştür [15]. Simoncic ve Tomsic, amonyum tuzlarının tekstil materyaller için en umut verici antimikrobiyal ajanlardan biri olduğunu bildirmişlerdir [16].

Tekstil materyalleri üzerindeki mikrobiyal üreme aynı zamanda onun bozunmasına ve parçalanmasına da sebebiyet verebilmektedir. Bundan dolayı bu tür çalışmalar hem endüstriyel açıdan hem de sağlık açısından değerlendirilmektedir. Kumaşın üzerinde apre olarak kullanılan antimikrobiyal ajan hem kumaşın yıpranmasına yol açmamalı hem de uzun süre etkin kalmalıdır. Bu çalışmada apre kimyasallarının kumaşlar üzerinde pilling ve hidrofiliteye neden olmadığı tespit edilmiştir. Çalışmada gümüş aprenin daha etkili olduğu görülmüşken kalıcılık ve dayanıklılık testleri yapılmamıştır. Bu sebeple ileriki çalışmalar ile kumaş üzerindeki antimikrobiyal etkinin kalıcılığının değerlendirilmesi gerekmektedir. Yapılan çalışmalarda kuarter amonyum tuzunun bakır gibi bazı metal iyonlarına, polybioguanidlere ve N-halaminlere göre kumaş üzerinde daha uzun süre dayanıklı ve etkin olduğu gösterilmiştir [24]. Diğer yandan tekstil ürün kullanım yeri ve amacına göre uzun süre nemli ortama maruz kalıyorsa, dayanıklı antimikrobiyal madde ilavesi oldukça önemlidir. Çünkü nem, mikrobiyal gelişimde oldukça önemli bir faktör olmaktadır. Genel olarak kumaşlar üzerinde en uzun süre canlı kalabilen mikroorganizmaların bakteriler olduğu bildirilmiştir [25]. Bu durum hastane tekstili açısından oldukça önemli bir durumdur. Yapılan çalışmalarda nazokomiyal infeksiyonlara neden olan bakterilerin direnç gelişiminde ve hastane ortamına yayılmasında, hastane tekstilinin rol oynadığı görülmektedir [11]. Özellikle Hepatit B ve AIDS gibi hastalıklar düşünüldüğünde hasta ile yakın temasta olan personelde hastalık gelişim ve taşıma riski oldukça önemlidir [26]. Dolayısıyla antimikrobiyal hastane tekstil ürünlerinin yaygınlaştırılması oldukça önemlidir. Diğer yandan antimikrobiyal tekstilin sadece medikal tekstilde değil, otomotiv tekstilleri ve ev tekstilleri gibi diğer alanlarda da artış göstermesi beklenmektedir. Çünkü son yıllarda nüfus artışı, gelişen sanayi, birçok sektörde çalışan insan sayısındaki artış, kozmopolit yaşam bulaşıcı hastalıkların da artmasına neden olmuştur. Bununla birlikte son 2 yıldır yaşanan pandeminin ilk yoğunlaştığı dönemde ana faaliyet alanına bakmaksızın çeşitli sektörlerden firmaların antimikrobiyal tekstil materyal (maske vb) üretmek isteği de bir sorun olarak kendini göstermiştir. Bu sebeple üretimin her alanda olduğu gibi bu konudaki yetkin kimselerce yapılması, tekstil sektöründe faaliyet gösteren yerli firmaların, yerli antimikrobiyal kumaş üretimine yönelim göstermesi oldukça önemli diğer bir konudur.

V. SONUÇ

Sonuç olarak bu çalışmada farklı yapıdaki kumaşlara uygulanan antimikrobiyal bitim işlemlerinin yüksek etkinlik gösterdiği görülmüştür. Öne çıkan kumaş türü pamuk apre kimyasalı ise gümüş olmuştur. Ancak işlemlerin kalıcılığının açısından ileriki çalışmalarla değerlendirilmesi gerekmektedir. Çeşitli enfeksiyon hastalıklarındaki eradikasyon veya sağaltım çalışmalarında ve günümüz pandemisiyle mücadelede antimikrobiyal tekstil sektörünün oldukça büyük bir yere sahip olduğu unutulmamalıdır. Virüslerin taşınımında da rol oynayan bakterilerin üremesini engelleyen bu tür kumaşların yaygınlaştırılmasının günlük hayatın birçok yerinde sağlık için önemli avantajlar sağlayacağı düşünülmektedir.

VI. KAYNAKLAR

- [1]. H. Amawi, G.A. Abu Deiab, A.A. Aljabali, K. Dua, K. And M.M. Tambuwala, “COVID-19 pandemic: an overview of epidemiology, pathogenesis, diagnostics and potential vaccines and therapeutics,” *Therapeutic Delivery*, vol. 11, no. 4, pp. 245-268, 2020.
- [2]. Türkiye Bilimler Akademisi (TÜBA), “Covid-19 Pandemi Değerlendirme Raporu”, 17 Nisan 2020, Ankara.
- [3]. G. E. Güraksın, S. Barın, E. Özgül, and F. Kaya, “COVID-19 Diagnosis Using Deep Learning.” *“Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi”*, Ek Sayı, 8-23, 2021.
- [4]. K. O’Dowd, K.M. Nair, P. Forouzandeh, S. Mathew, J. Grant, R. Moran, ... & S. C. Pillai, “Face masks and respirators in the fight against the COVID-19 pandemic: A review of current materials, advances and future perspectives,” *Materials*, vol. 13, no. 15, pp. 3363, 2020.
- [5]. J. T. Wu, K. Leung, M. Bushman, N. Kishore, R. Niehus, P. M.de Salazar, G. M. Leung, “Estimating clinical severity of COVID-19 from the transmission dynamics in Wuhan, China,” *Nature Medicine*, vol. 26, no. 4, pp. 506-510, 2020.
- [6]. S. E. Eikenberry, M. Mancuso, E. Iboi, T. Phan, K. Eikenberry, Y. Kuang, ... & A.B. Gumel, “To mask or not to mask: Modeling the potential for face mask use by the general public to curtail the COVID-19 pandemic,” *Infectious Disease Modelling*, vol.5, pp. 293-308, 2020.
- [7]. S. Beesoon, N. Behary, and A. Perwuelz, “Universal masking during COVID-19 pandemic: Can textile engineering help public health? Narrative review of the evidence,” *Preventive Medicine*, vol. 106236, 2020.
- [8]. B. Altan, “XIX. Yüzyıl Sonlarında Cizre’de Kolera Salgını ve Yol Açtığı Tahribat,” *Mukaddime*, c. 10, s.1, ss. 37-52, 2019.
- [9]. N. Karim, S.Afroj, K. Lloyd, L.C. Oaten, D.V. Andreeva, C. Carr, and K.S. Novoselov, “Sustainable Personal Protective Clothing for Healthcare Applications: A Review,” *ACS nano*, vol. 14, no. 10, pp. 12313-12340, 2020.
- [10]. A. Rodriguez-Palacios, F. Cominelli, A.R. Basson, T.T. Pizarro and S. Ilic, S. “Textile Masks and Surface Covers—A Spray Simulation Method and a “Universal Droplet Reduction Model” Against Respiratory Pandemics,” *Frontiers in Medicine*, vol. 7, pp. 260, 2020.

- [11]. S. Varshney, A. Sain, D. Gupta, and S. Sharma, "Factors Affecting Bacterial Adhesion on Selected Textile Fibres," *Indian Journal of Microbiology*, vol. 61, No. 1, pp. 31-37, 2020.
- [12]. S. Gang, "Durable and Regenerable Antibacterial of Fabrics: Biocidal Properties," *Textile Chemist and Colorist*, vol. 6, pp. 26-30, 1998.
- [13]. M. Bilgiç ve Ş.S. Uğur, Ş. S. "Antimikrobiyal Medikal Tekstil Ürünleri için Oleuropein Uygulaması," *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c.19 s.2, ss. 104-110, 2015.
- [14]. I. Rubino and H.J. Choi, "Respiratory Protection against pandemic and epidemic diseases," *Trends in Biotechnology*, vol. 35, no. 10, pp. 907-910, 2017.
- [15]. G. Taylan, A. Tulpar, A. Demirural, ve T. Baykara, "Nano Gümüş Emprenye Edilmiş Üç Boyutlu Kumaşlarda Anti-mikrobiyal Etkinlik," *Beykent Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 12, s.1, ss. 36-42, 2019.
- [16]. B. Simoncic and B. Tomsic, "Structures of novel antimicrobial agents for textiles-a review," *Textile Research Journal*, vol. 80, no. 16, pp. 1721-1737, 2010.
- [17]. F. Zhao, S. Chen, Q. Hu, G. Xue, Q. Ni, Q. Jiang and Y. Qiu, "Antimicrobial three dimensional woven filters containing silver nanoparticle doped nanofibers in a membrane bioreactor for wastewater treatment," *Separation and Purification Technology*, vol. 175, pp. 130-139, 2017.
- [18]. J. M. Zuniga and A. Cortes, "The role of additive manufacturing and antimicrobial polymers in the COVID-19 pandemic," *Expert Review of Medical Devices*, vol. 17, no. 6, pp. 477-481, 2020.
- [19]. G. McDonnell and A. D.Russell, "Antiseptics and disinfectants: activity, action, and resistance," *Clinical Microbiology Reviews*, vol. 12, no. 1, pp. 147-179, 1999.
- [20]. M. Orhan, Serpil Koç, C. Özakin, A. Hocekenberger, and M. Sınırtaş, "Hastanelerde Kullanılan Tekstillerin Antibakteriyel ve Antimantar Etkinliklerinin Değerlendirilmesi" *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 22, s. 1, ss. 19-31, 2019.
- [21]. E. S. Akpınar, "Antibakteriyel bitim işleminin pamuklu çarşaflık kumaşların bazı mekanik özellikleri üzerindeki etkilerinin incelenmesi" *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*, 2019.
- [22]. G. Kokmaz, "Kalkon türevlerinin farklı hammaddeye sahip örme kumaş yapıları üzerindeki antibakteriyel aktivitelerinin incelenmesi," *Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*, 2019.
- [23]. M. E. Üreyen, A. Çavdar, A. S. Kopalalı, A. Doğan, "Yeni Geliştirilen Gümüş Katkılı Antimikrobiyal Tekstil Kimyasalı ve Bu Kimyasal İle İşlem Görmüş Kumaşların Antibakteriyel Performansları," *Tekstil ve Mühendis Dergisi*, c. 15, s. 69, ss. 26-31, 2008.
- [24]. P. Zhu, and G. Sun, "Antimicrobial finishing of wool fabrics using quaternary ammonium salts," *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 93, no. 3, pp. 1037-1041, 2004.
- [25]. G. Kampf, "How long can nosocomial pathogens survive on textiles? A systematic review," *GMS Hygiene And Infection Control*, vol. 15, 2020.
- [26]. D. E. A. Boryo, "The Effect of Microbes on Textile Material: A Review on the Way-Out So Far", *International Journal of Engineering Science*, vol. 2, no. 8, pp. 9-13, 2013.



Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

Structural and Thermal Analyses of F Class Gas Turbine Compressor Blade

 Mustafa GERENGİ^{a*},  Fikret POLAT^a

^a Faculty of Engineering, Mechanical Engineering., Düzce University, Düzce, TURKEY

* Corresponding author's e-mail address: ararat04mustafa@yahoo.com

DOI: 10.29130/dubited.977192

ABSTRACT

Gas turbines are used extensively for aircraft propulsion, land-based power generation, and industrial applications. They consist of many parts. One of the important parts is the blade and disc. Blade and disc are individual components that make up the compressor section. That is why all effects on these components directly affect the unit itself. For that reason engineering calculations on such critical parts are important. Some power plants and gas turbines failed regarding wrong engineering calculations. One of them happened two years ago on GE (General Electric) 9FB gas turbine in Turkey. Some turbine blades have broken and created high-cost damage on the unit. Some engineering calculations have been failed regarding side running conditions. For that reason, this study has been performed to protect and verify the engineering value of AEN 94.3A F-type gas turbine side running conditions. In this study, the structural and thermal analysis of the final stage compressor rotor blade and disc, which are currently used on-site, was performed by using the ANSYS program. Initially, basic knowledge of blade and disc design drawings were reviewed and design steps of the existing 3D (Three dimensions) blade and disc configuration were described. For that reason, a 3D model of the existing compressor blade and the disc has been done in the SolidWorks design program. Later on, this model was transferred to the ANSYS program and analyzed. In the analysis, the parameters formed in the blade geometry were determined. By creating a design geometry with the selected parameters, the stress of the existing blade under operating conditions was examined. All external parameters in this study were taken from an F-type gas turbine operation under real field conditions. The stresses obtained from different regions on the blade were examined. After the thermal and structural analysis, obtained results have been compared with side engineering measurements. By comparison, it was observed and verified that the unit normal side running condition is safe and engineering calculations are sufficient.

In this study before starting the analysis, general information about gas turbines has been presented. Gas turbines have been briefly introduced and then, the basic operation principles of turbines have been explained. As it is known, gas turbines are shaped based on thermodynamic principles. In this study, engineering thermodynamics in gas turbines is briefly explained as well.

Keywords: Gas turbine, Structural and thermal analysis, Turbine blade,

F Sınıfı Gaz Türbini Kompresör Kanadının Yapısal ve Termal Analizinin Yapılması

ÖZ

Gaz türbinleri, uçak motorları, zemin esaslı enerji üretimi ve endüstriyel uygulamalar için yaygın olarak kullanılmaktadır. Birçok parçadan oluşurlar. Önemli parçalardan biri kanat ve disklerdir. Kanat ve disk, kompresör bölümünü oluşturan ayrı bileşenlerdir. Bu nedenle bu bileşenler üzerindeki tüm etkiler doğrudan ünitenin kendisini etkiler. Bundan dolayı bu tür kritik parçalar üzerinde mühendislik hesaplamaları önemlidir. Bazı santrallerde gaz türbinlerinde yanlış mühendislik hesaplarından dolayı arızalar meydana gelmektedir. Bu arızalardan biri iki yıl önce Türkiye'de GE (General Electric) 9FB gaz türbininde yaşandı. Bazı türbin kanatları kırılmış ve üniteye yüksek maliyetli hasar meydana gelmiştir. Bazı mühendislik hesaplamaları saha çalışma koşullarına uymadığından dolayı başarısız oldu. Bu çalışma, AEN 94.3A F tipi gaz türbininin saha çalışma mühendislik değerlerini kontrol etmek ve doğrulamak için yapılmıştır. Bu çalışmada, halihazırda sahada kullanılan son kademe kompresör rotor kanadı ve diskinin yapısal ve termal analizi ANSYS programı kullanılarak yapılmıştır. İlk olarak, kanat ve disk tasarım çizimlerinin temel bilgileri gözden geçirilmiş ve 3D (Üç boyutlu) konfigürasyonunun tasarımları yapılmıştır. SolidWorks tasarım programında mevcut kompresör kanadı ve diskinin 3 boyutlu modeli yapılmıştır. Daha sonra bu model ANSYS programına aktarılarak analiz edilmiştir. Analizde kanat geometrisinde oluşan parametreler incelenmiştir. Seçilen parametreler ile mevcut kanadın ve diskin işletme koşullarındaki gerilmeleri incelenmiştir. Bu çalışmadaki tüm çalışma parametreleri, gerçek saha koşullarında çalışan F tipi gaz türbini çalışma değerlerinden alınmıştır. Kanat üzerinde farklı bölgelerden elde edilen gerilmeler incelenmiştir. Elde edilen bu değerler sahada ölçülen mühendislik değerleriyle karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda ünitenin normal saha çalışma koşulunun güvenli olduğu ve mühendislik hesaplarının yeterli olduğu gözlemlenmiş ve doğrulanmıştır.

Bu çalışmada analize başlamadan önce gaz türbinleri hakkında genel bilgiler verilmiştir. Gaz türbinleri kısaca tanıtılmış, ardından türbinlerin temel çalışma prensipleri anlatılmıştır. Bilindiği gibi gaz türbinleri termodinamik esaslara göre şekillendirilmektedir. Bu çalışmada gaz türbinlerinde mühendislik termodinamiği de kısaca anlatılmıştır.

Anahtar sözcükler: Gaz türbini, Yapısal ve termal analiz, Türbin kanadı

I. INTRODUCTION

Gas turbines are an indispensable part of the modern power generation systems that are used to generate energy. They obtain their power by utilizing the energy of burnt gases and the air which is at high temperature and pressure by expanding through the several stages of fixed and rotating blades. Fixed and rotating blades increase the pressure and temperature. By increasing the pressure and temperature and as well as speed a centrifugal or axial compressor is needed. These types of compressors are sufficient for such an individual process. The last stage of a turbine is called as hot section side which the hot air from the combustion chamber is faced. The turbine hot section side is coupled to the turbine shaft. After the compression, the working hot fluid expands in a turbine, then assuming that there are no losses in each component, the power developed by the turbine can be increased by increasing the volume of working fluid at constant pressure or increasing the pressure at constant volume. If the working fluid passes from the combustion chamber, the pressure and temperature rise. Working fluid converts mechanical energy to electric energy by rotating coupled generators. The exhaust gas that loses its energy on the turbine can be sent to the atmosphere or can be used for heating and boiling water for the steam turbine. This system is called a combined cycle. The others which exhaust the gas to atmosphere is called as a simple cycle [1-4].

There are many manufacturers of these machines, as well as many types. The most important manufacturers are General Electric, Siemens, Mitsubishi, Ansaldo, and Alstom. These manufacturers produce gas turbines with various features according to their power and capacity. The most produced types are the heavy-duty (high capacity) ones called F-type. This type of unit is used in industry for producing electricity.

The first studies on gas turbines were done by Rowen and Undrill from General Electric. In these studies, basic control systems and modeling of combined cycle power plants were discussed. Later on, these studies have been developed by various companies and have survived to the present day. Today, the development studies of these processes are carried on further [5-6].

The reason why gas turbines are widely used in national networks is that the frequency of electricity can be kept constant. Frequency control is difficult in electrical energy obtained from other power plants like hydraulic, wind, solar, etc. For that reason, gas turbines are widely used all over the world.

Failure of a gas turbine can create a significant negative effect on power generation. For that reason, the engineering calculation should be verified regarding side running conditions. If side values do not inspect regarding design calculation the unit may fail. A couple of years ago GE 9FB gas turbines have been failed in some sites in different countries. When GE did root cause analyses they found that material and engineering calculations for stress analyses and material were wrong regarding side running conditions. Most of the turbine blades have been broken from the connection point of the disc. This issue created high-cost damage to the unit. This study is about the verification of engineering calculation AEN 94.3A Ansaldo F-type gas turbine. The calculation has been done on the last stage compressor blade and disc. Airflow reaches the maximum level of temperature, pressure, and vibration at the last stage. That is why some engineering calculation has been performed by using real side conditions.

Blade and disc are the heart of gas turbines engines and serve as a medium of transfer of energy from the gases to the turbine rotor. Blades are rounded around the disc shown in Figure 1. Each stage of the compressor has a different size and shape of blade and disc. All discs tied with each other via tie roads. These tie roads are strong and long enough for connecting all discs. AEN 94.3A gas turbine consists of 15 stages. All stages can be recoupled from each other by losing tie roads. This process creates great benefits for maintenance activities. Disc center shown in Figures 3,4, and 5 has a hole for using cold air regarding thermal expansions. Cooled air passes from this hole for cooling the turbine blades as well as the disc itself [2-6].

In the analysis of gas turbine blade and disc, discretizing a freestanding blade and disc and using appropriate element relation is more advantageous than the continuum approach, in that, it is simple to carry out the analytical work. During this study structural analyses have been performed on the blade and disc, and thermal analyses have been performed on the disc. The center of the disc is a hole and cooling air passes from here. That is why two different temperature is affecting the disc. The analyses are made to determine the positive or negative situation that may occur in the part due to external factors such as force, angular or radial velocity, and temperature acting on the part. ANSYS program is used for thermal and structural analyses [7-18].

When the literature is scanned, it is possible to come across some studies on structural analysis and shape efficiency in gas turbines. In these studies, researchers worked on many different analysis methods. Some of them used the Matrix Method, and some of them used the Finite Difference Method and the Finite Element Method (FEM) [16-21]. In their study, Meng and Zhangqi tried an analytical procedure by making simplifications in large-scale wind turbine structure. In this context, they used the matrix method and developed computer code to complete the details of the frequencies and mode shapes of the vibration beam. Finally, they stated that the obtained FEM analysis results were in agreement with the experimental study [19]. Krishnakanth et al. carried out the design and structural and thermal analysis of the gas turbine blade in their study. They used Ansys software as the finite

element software and determined the most suitable one among 3 different materials by performing steady-state analysis. They also stated that they observed maximum elongation at the tip of the blade and minimum elongation at the root of the blade [20]. In another study, a detailed report on the developments in the design and structural analysis of commercial jet engine fan blades is presented. It also includes the main technical problems related to fan blades in terms of high structural integrity, stability and durability, and solutions to these problems [21]. In another study, Kaus et al tried to predict the stress-strain state of a turbine blade model by performing thermal analysis and structural mechanical analysis. In the results, the two molybdenum-based alloys Mo-17.5Si-8B and Mo-9Si-8B were compared with the nickel-based superalloy CMSX-4, and they indicated that the molybdenum-based alloys showed much better resistance to deformation. As a result, it was emphasized that Mo-9Si-8B alloy is a very advantageous material for high pressure turbine blades [22]. Recently, the most common and most useful program for the finite element method is ANSYS software. This program is calculating all requests easily and gives the exact solution. That is why it is used by many design companies and gas turbine manufacturers [16-22]. This study has been performed to protect and verify the engineering value of AEN 94.3A F-type gas turbine side running conditions. In this study, the structural and thermal analysis of the final stage compressor rotor blade and disc, which are currently used on-site, was performed by using the ANSYS program.

II. DETERMINATION OF STRUCTURAL ANALYSIS METHOD

The turbine compressor usually sits at the front of the engine. There are two main types of compressors, the centrifugal compressor, and the axial compressors. Both of them draw air and compress it before it is fed into the combustion chamber. The compressor consists of discs and blades. Discs are compelled by each other via tied rods and blades are fixed on the disc for coupling together. Both rotate like a shaft.

Discs and blades faced high temperature, pressure, and speed. At the last stage of the compressor, these values reach the maximum level. For that reason, most of the failure gets at the last stage. That is why this study focused on the last stage analyses.

Before starting analyses, blade and disc modals have been inspected for the 3D (three dimensions) modal. Blade and disc current modal profiles are generated by using the SolidWorks CAD program. Key points are joined by drawing Spline curves used to obtain a smooth contour. The contour (2D) models are then converted into an area and then volume (3D) models were generated by extrusion, see below in Figure 1.

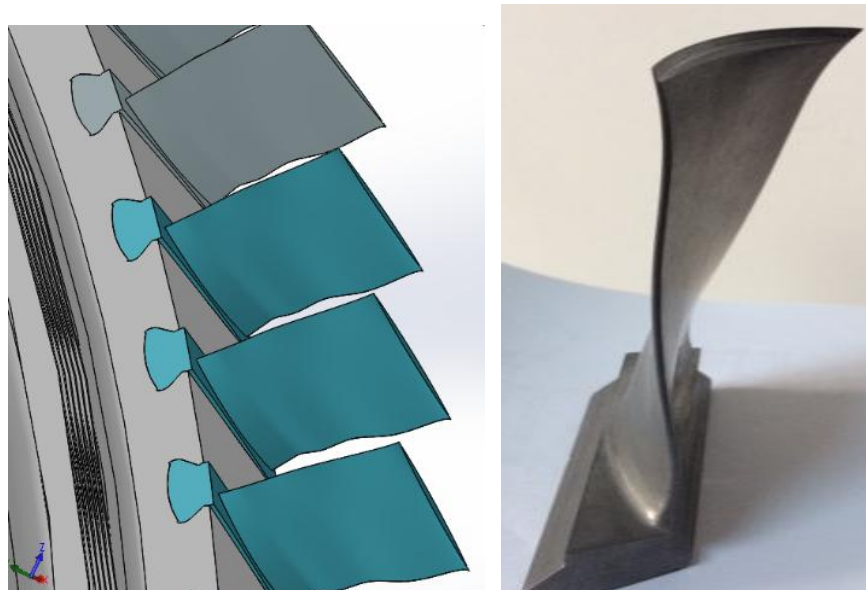


Figure 1. The geometry of the blade and disc

During the present paper, the effect of increasing the complexity and surface area of the air passages has also been studied. The thermal and structural analysis has been performed to investigate the effect of real side conditions on the blade and disc. The study has been performed assuming steady-state conditions by using ANSYS software.

The methodology used for performing the study followed a three-stage path. Design, thermal analysis of disc, and structural analysis of disc and blade. As it is seen in Figure 2, before starting analysis all side values of rotating direction applied force, temperature, and fixing points have been defined on the disc and blade

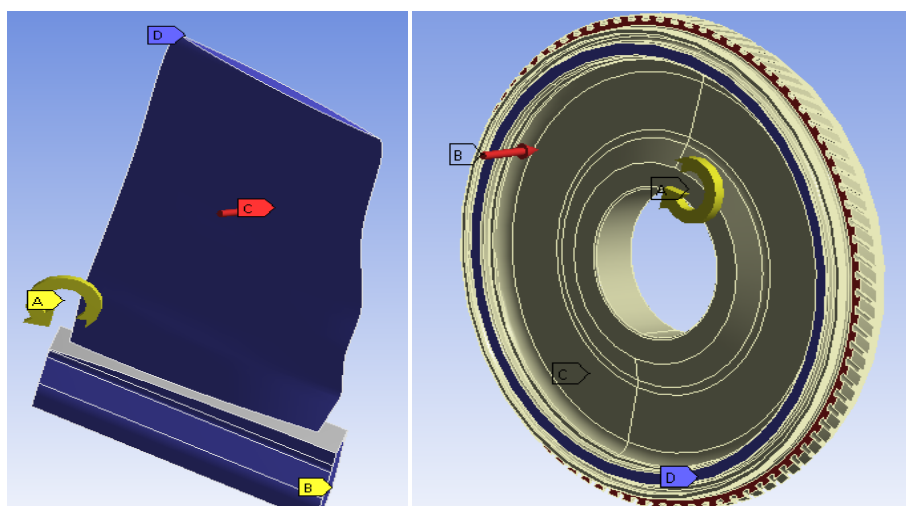


Figure 2. Applied side values on the and blade disc

The thermal analysis has been performed on the disc because cooling air passes from the center of the disc and on the top of the disc hot air follows. This means that there are temperature differences. Thermal analysis has been performed using the Steady State module on the ANSYS program. To initiate the method fine mesh has been generated on the 3 Dimensional models. On the other hand, thermal analysis has not been performed on the blade because the following air temperature is the same at every surface of the blade.

The structural analysis has been performed on the disc and blade by using the Static Structural modal of the ANSYS program. The speed of the unit is 3000 rpm and generally, all F-Type units have the same speed and acting force is 22 bar, the temperature is about 500⁰C. In Figure 2, the output effect of the unit has been shown on the surface of the blade and disc. After analysis, the result of both thermal and structural analysis have been compared with the actual measurement of the side-real calculations. These processes have been verified that the calculation result is convenient for the unit to run in safe conditions.

A.1 Determination of The Field Values

The values, which are used during the analysis, are taken from the DCS (Discriminational Control System) system while the unit is operating at different MWs (Mega Watts). The DCS system is the Siemens T3000 facility operating program, and in this program, the values are taken from the instruments in the field and transferred directly to the program in the control room. Operators in the control room monitor these values instantly. Generally, temperature, pressure, power, valve opening positions, flow values , and other parameters from the field are transferred to the DCS system digitally. DCS screenshot can be seen in Figure 3. As it is seen, all values related to the unit can be monitored and controlled from the DCS program. In this way, the control of the facility becomes very easy and safe.

The values that we need from DCS, have been recorded for about one month. These values have been taken under different power for our analysis safety. In Table 1, below, field values have been followed and recorded for about a month. On the table, thermodynamic real values have been calculated theoretically by using the Excell program.

During the analysis, the compressor outlet temperature was considered as the average while performing the thermal analysis of the last stage compressor disc. In the structural analysis, the temperature, speed, and pressure parameters were discussed and maximum values have been taken for safety.

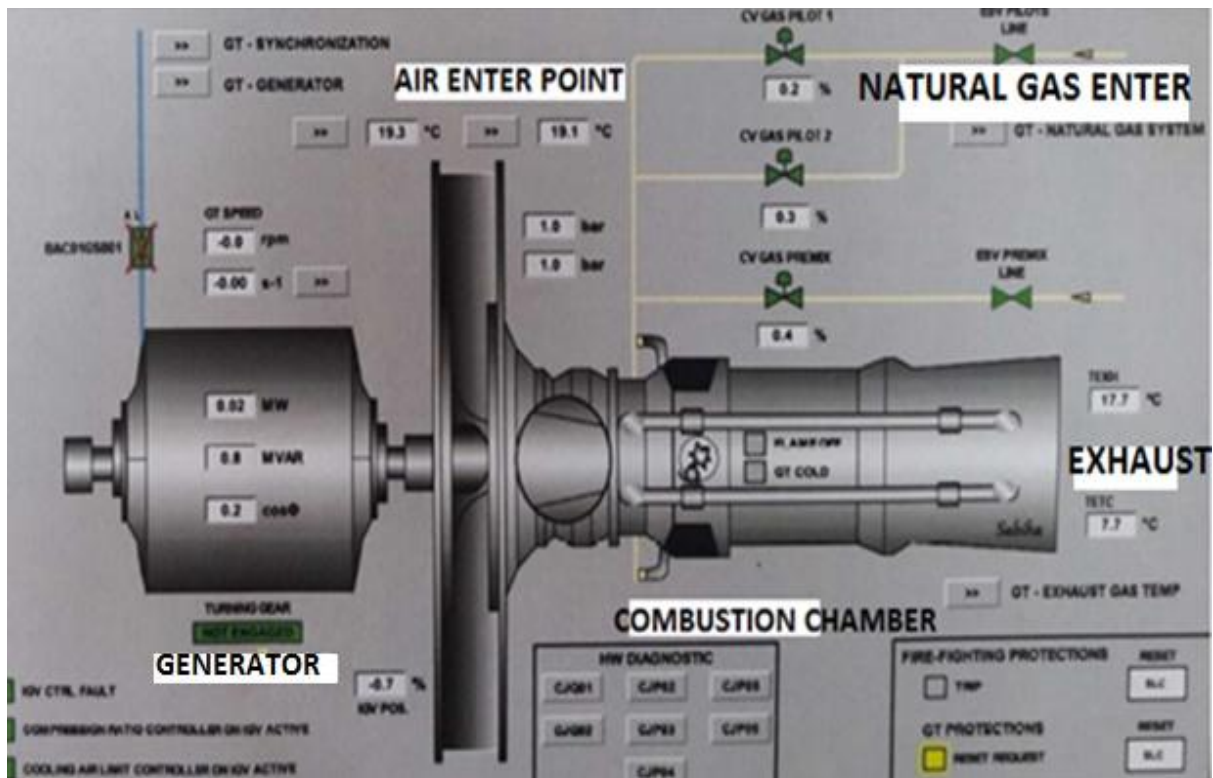


Figure 3. Turbine DCS view

A couple of years ago GE 9FB F-type gas turbine has been failed in some plants. Unfortunately, this failure has created great cost loss for users and GE. When GE did root cause analyses, it was observed that some engineering calculations on material and thermal expansion of the part did not match regarding the side-real running conditions. Figure 4 shows the broken blades from the turbine side. If the thermal and structural extensions are not the same with the cases means that blades may touch the cases and create tip grinding and after a while break on the proper zone. That is why this study has been performed to make sure that AEN 94.3A F-type gas turbine side running values are safe, reliable related to design parameters. During the analysis, it was observed that the unit parameters are sufficient enough for side condition



Figure 4. Broken blades on F-type unit

Table 1. Gas Turbine Thermodynamics Value

F CLASS GAS TURBINE THERMODYNAMIC VALUES DURING NORMAL RUNNING CONDITION																					
Test No	Relative Humidity %	Environment Temperature T1 °C	Compressor Exit Temperature T2 °C	Combustion Chamber Temperature T3 °C	Exhaust Temperature T4 °C	Environment Pressure P1 bar	Compressor Pressure P2	Compressor Exit Pressure P3	Exhaust Pressure P4	Environment Enthalpy h1	Compressor Enthalpy h2	Combustion Chamber Enthalpy h3	Exhaust Enthalpy h4	Work done in Compressor W34	Work done in Combustion Chamber W34	Net Work Wnet	Efficiency Wnet/Q23	Pressure Ratio	Power P(MW)	Net Power after Correction(MW)	
1	40.84	1.53	362.12	1212	557	0.962	18.24	0.239	0.434	2	370.42	1345.14	583.25	-372.42	974.72	761.89	1134.31	1.16	0.55	256	263
2	48.43	1.66	367	1227	556	0.963	18.51	0.239	0.376	2	373.15	1362.14	580.47	-375.15	988.99	781.67	1156.82	1.17	0.64	261	268
3	47.62	5.67	337	1236	540	0.96	16.32	0.199	0.266	5.08	345.04	1373.04	563.11	-350.12	1028	809.93	1160.05	1.13	0.75	216	219
4	93.36	5.18	371.9	1234	561	0.956	17.05	0.219	0.311	5.01	380.04	1371.06	586.13	-385.05	991.02	784.93	1169.98	1.18	0.70	242	244
5	66.73	2.16	382.97	1228	564	0.977	18.8	0.252	0.417	2	393.04	1362.04	583.14	-395.04	969	772.9	1167.94	1.21	0.60	260	273
6	70.59	3.56	386.04	1215	559	0.982	16.8	0.222	0.365	3.12	397.01	1348.2	584.89	-400.13	951.19	763.31	1163.44	1.22	0.61	228	239
7	52.94	3.88	404	1237	559	0.978	18.66	0.224	0.417	4.01	415.03	1376.04	584.89	-419.04	961.01	791.15	1210.19	1.26	0.54	265	276
8	74.59	8.78	359.83	1232	568	0.972	16.09	0.164	0.162	8.15	367.03	1371.4	594.86	-375.18	1004.37	776.54	1151.72	1.15	1.01	216	221
9	36.27	17.58	391.56	1240	574	0.97	15.13	0.191	0.252	17.09	403.05	1378	600.89	-420.14	974.95	771.11	1197.25	1.23	0.76	207	209
10	80.89	9.3	401.71	1231	567	0.967	16.32	0.216	0.412	9.02	404.01	1361.01	595	-413.03	957	766.01	1179.04	1.23	0.52	226	230
11	38.15	18.56	363.66	1227	576	0.966	12.09	0.165	0.189	18.42	373.05	1361.14	603	-391.47	988.09	758.14	1149.61	1.16	0.87	142	146
12	74.73	7.25	416.05	1225	566	0.969	18.61	0.215	0.364	7.05	430.04	1360	591.26	-437.09	929.96	768.74	1205.83	1.30	0.59	266	274
13	88.25	4.75	414.43	1230	565	0.965	18.77	0.213	0.37	5.02	429.02	1366.66	590.67	-434.04	937.64	775.99	1210.03	1.29	0.58	270	278
14	83.36	9.37	369.89	1231	520	0.963	12.42	0.194	0.261	9.12	377.06	1367	541.16	-386.18	989.94	825.84	1212.02	1.22	0.74	161	162
15	61.22	9.35	372.85	1227	567	0.968	14.5	0.183	0.229	9.1	380.04	1361.04	595	-389.14	981	766.04	1155.18	1.18	0.80	191	195
16	32.74	16.11	390.55	1229	572	0.969	14.85	0.182	0.232	16.5	401.06	1365	598.34	-417.56	963.94	766.66	1184.22	1.23	0.78	202	203
17	71.12	9.34	379.05	1230	567	0.976	15.42	0.19	0.237	9.08	389.05	1366	595	-398.13	976.95	771	1169.13	1.20	0.80	208	214
18	84.24	5.63	390.34	1237	562	0.973	17	0.206	0.298	5.23	402.05	1374.44	587.36	-407.28	972.39	787.08	1194.36	1.23	0.69	238	247
19	42.48	16.53	391.42	1234	573	0.973	15.05	0.177	0.225	16.35	401.08	1371.99	598	-417.43	970.91	773.99	1191.42	1.23	0.79	206	206
20	90.23	7.79	390.56	1239	565	0.973	16.65	0.214	0.316	8.05	400.09	1377.87	590.67	-408.14	977.78	787.2	1195.34	1.22	0.68	232	239
21	55.61	13.35	394.88	1224	571	0.973	15.88	0.215	0.312	13.25	405.01	1358	597.2	-418.26	952.99	760.8	1179.06	1.24	0.69	221	224
22	50.31	16.64	383.58	1226	574	0.971	14.45	0.189	0.235	16.08	392.04	1361	598.87	-408.12	968.96	762.13	1170.25	1.21	0.80	193	194
23	41.48	11.52	388.38	1228	568	0.967	15.73	0.189	0.245	11.25	398.04	1364.74	593.56	-409.29	966.7	771.18	1180.47	1.22	0.77	214	218
24	54.84	13.37	414.48	1234	572	0.957	17.48	0.213	0.316	13.2	422.06	1371.56	598.64	-435.26	949.5	772.92	1208.18	1.27	0.67	254	254
25	38.17	16.53	411.29	1236	573	0.96	16.88	0.187	0.229	16.08	423.01	1373	599.56	-439.09	949.99	773.44	1212.53	1.28	0.82	242	246
26	53.16	9.2	394.54	1227	569	0.967	17.62	0.165	0.187	9.05	403.15	1364.74	595.74	-412.2	961.59	769	1181.2	1.23	0.88	248	254
27	53.19	11.14	396.63	1237	568	0.973	16.04	0.208	0.298	11.08	409.14	1374	593.56	-420.22	964.86	780.44	1200.66	1.24	0.70	222	228
28	33.08	17.09	408.98	1239	574	0.97	16.66	0.203	0.257	17.56	419.16	1378	600.89	-436.72	958.84	771.11	1213.83	1.27	0.79	235	236
29	23.04	24.87	423.73	1226	580	0.964	16.35	0.217	0.315	24.07	435.18	1361.75	607.27	-459.25	926.57	754.48	1213.73	1.31	0.69	229	243

A.2. Materials Used In The Blade and Disc

Gas turbine materials have developed rapidly beyond the conventional ferrous alloys consisting of steel and stainless steel of various compositions. Several types of nickel and cobalt-base alloys have been developed and widely used in blades and discs. These alloys are high resistance to temperature and corrosion. Chromium additions have been used for temperature strength and oxidation resistance. For the hot section side, a protective coating has been used to enhance hot erosion-corrosion and as well as protect from high temperature. This type of coating is called Thermal Barrier Coating (TBC).

The present paper deals with the stresses that act on the blade and disc due to high angular speeds and the second are thermal stresses that arise due to temperature differences in disc material. In the first stage of rotating the blade and disc, the temperature effect is not very high. However, as the stage progresses, temperature and other factors have great effects on the blade and disc. On the other hand, this temperature does not have a great effect on the elongation of the material due to the material structure generally. Because this zone is not a hot section side of the unit. The first stage blades have high centripetal stresses due to their relatively long length. The high pressure and temperature cause the formation of centripetal stresses at the last stage. Because the blades are short and small. Taking these effects into account, blade and disc materials are generally chosen from Titanium-alloy based materials. The turbine blade and disc are manufactured from Inconel 718 alloy. Having high mechanical strength, Inconel 718 material is also resistant to high temperatures. It has certain advantages in terms of fatigue characteristics. In general, palladium and ruthenium are added to this material for increasing its resistance to corrosion. The technical specifications of the alloy are available in Table 2.

Table 2. Inconel 718 Alloy Material Characteristics

Percentage of materials:	Al 0.2 - 0.8 C Max 0.08, Fe Max 17, Ni Max 50-55, S Max 0.015, Ti 0,65 – 1.15, Cr 17-21, Mo 2.8-3.3, Mn Max 0.35
Density	8,22 g/cm ³
Elastic Module	204.9 kN/ mm ²
Maximum Strength	1375 MPa
Yield Strength	725 MPa
Tensile Strength	1035 MPa
Elongation	(9 μm/m), (20°C), (9.4 μm/m), (250°C)
Specific Heat	0. 435 J/g°C
Thermal conductivity	11.4 W/mK
Melting Temperature	1370-1430 °C

A.3. Structural Analysis (ANSYS Analysis)

The determination of blade and disc geometry during the design phase is based on much-repeated analysis. It is very difficult to perform these analyzes by using only three-dimensional finite elements. That is why special programs must be used. In general, it is obligatory to carry out the above studies in terms of determining the dimensions during the initial design. However, in our study, a new design was not being applied since the current design was examined regarding field running conditions of an existing part. The study was continued on the current design. First of all, parts with existing two-dimensional technical drawings were drawn using a three-dimensional CAD program (SolidWorks). In this way, it has been examined how accurately it can be represented by an axisymmetric analysis while performing the analysis. By doing this, the effects of working conditions in real field conditions on the blade and disc were examined. The other main aim of this study is to analyze the blade and disc geometry of a gas turbine under real field operating conditions.

During the blade analysis, the only centripetal force was considered to shorten the analysis times. This force was applied from the part where the blade was attached. In this case, the effect of the blades on the disc geometry is only due to the stresses of the centripetal force at the base of the blade. That is why the ANSYS program was carried out for analysis. The ANSYS program is especially effective in obtaining healthy results for such analysis. Especially in the aviation industry, this program has a wide range of uses.

A.4. Generating Geometry for Structural Analysis

Before the analysis, the geometry must be created by using a CAD program. In this study, SolidWorks was used to create geometry. Below in Figure 5 can be seen the geometry created in the SolidWorks CAD program. The blade has at about 100.3 mm high and 86 blades surround the disc. In the analyses, just one blade on the last stage has been detected, because all parameters are in steady-state condition and the rotor running at a stable speed.

Analysis has been started with a disc in which blades are attached. In the disc part, first of all, structural and then thermal analysis was performed. During the analysis, it was examined whether the existing elongations created any negative effect on the component or not. As it is known, there is a certain distance between the rotor and the stator. This distance is called clearances. If this clearance is smaller, means that our engine efficiency is high. Due to the low distance between stator and rotor, air loss is less and for that reason, efficiency is increasing. Therefore, the wrong elongation may occur in the blades and the disc creates direct contact of the rotor with the stator. This may create damage to the surface of the rotor and stator.

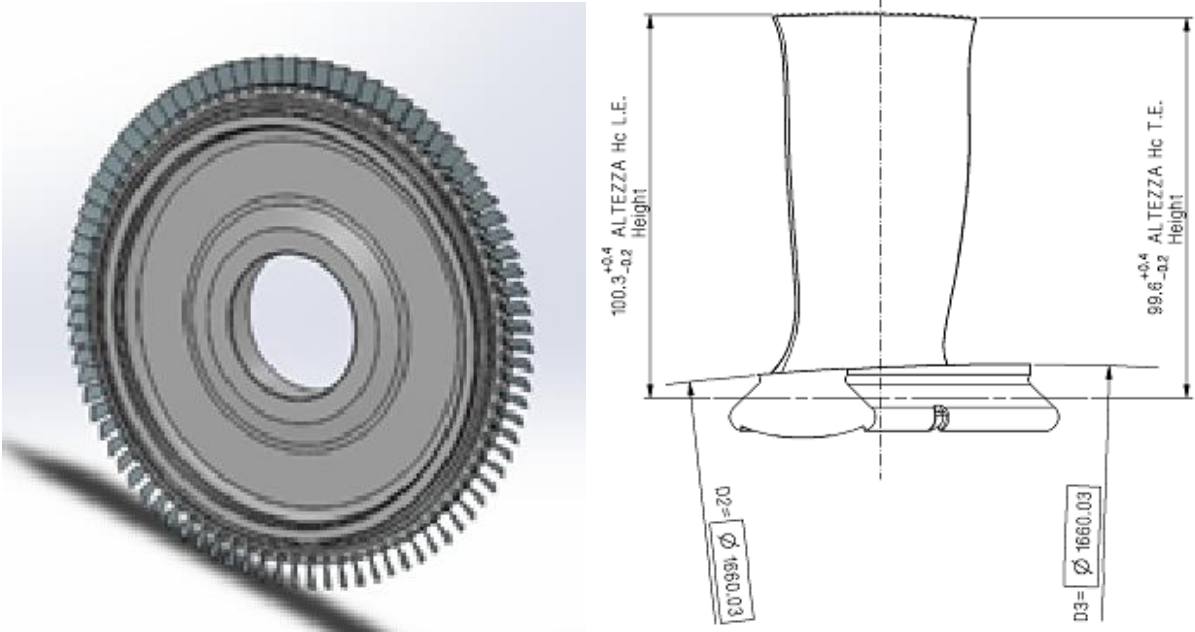


Figure 5. Disc and Blade CAD Geometry

III. STRUCTURAL AND THERMAL ANALYSIS OF THE COMPRESSOR DISC

First of all, for starting the analysis, the Static Structural command in the ANSYS program has been run. The disc and blade geometry is opened from the CAD modal. Before starting the structural and thermal analysis, the geometry must be Meshed by using the ANSYS program. The purpose of the Mesh is to break a complex volume into small segments for better simulation. As a definition of the Mesh, it is made from cells and points. It can have any shape and size and is used to solve Partial Differential Equations. The higher the mesh quality, the better our structural and thermal analysis results. The Mesh done in the ANSYS program is shown in Figure 6.

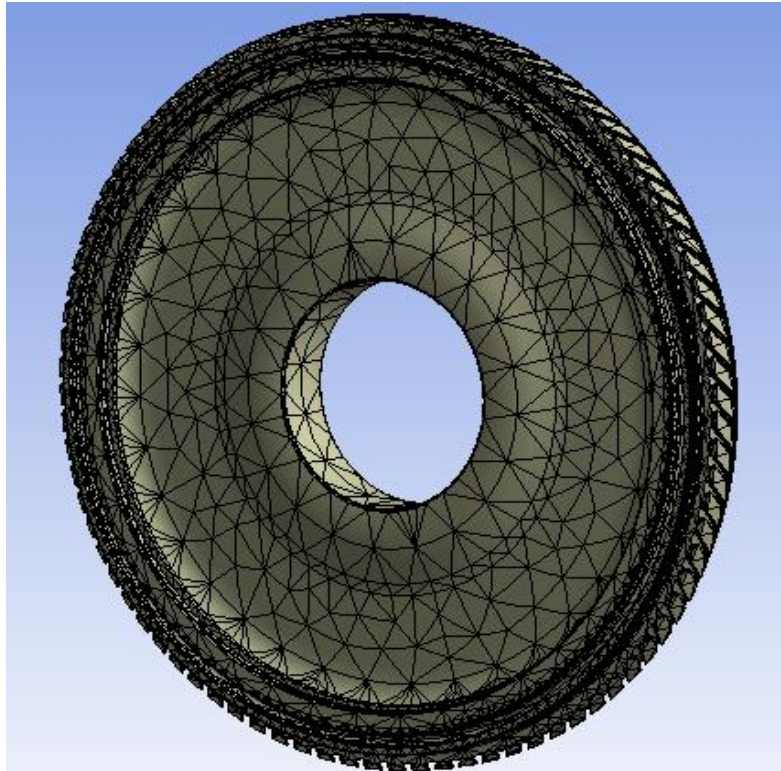


Figure 6. Disc Mesh

The technical specifications of our Mesh geometry are given in Table 3.

Table 3. Model Specifications

Points	450880
Mass	1000,9 kg
Area	1
Volume	2,1664e8 mm³
Connection points	450880
Pars	259102
Type of parts	PLANE 1

A.3.1. Performing Structural Analysis

After meshing the geometry, it is possible to move on to the structural analysis. As mentioned before, Mesh quality must be very good to create out successful analysis. Mesh analyses were checked and predicted that the quality of the Mesh is sufficient and can be moved on to structural analysis. In the

structural analysis, the parameters, which affect the disc, were determined one by one. The values of these parameters are taken from Table 1 obtained from the real field conditions taken from DCS.

Ambient pressure, rotation direction and speed, disc fixation point, and disc support point were determined for starting the structural analysis. The rotation value is 3000 rpm, which corresponds to 314 rad/s. Although the normal ambient pressure is 17 bar, instead 22 bar is taken for safety reasons. In Figure 7 can be seen the parameters affecting the disc points.

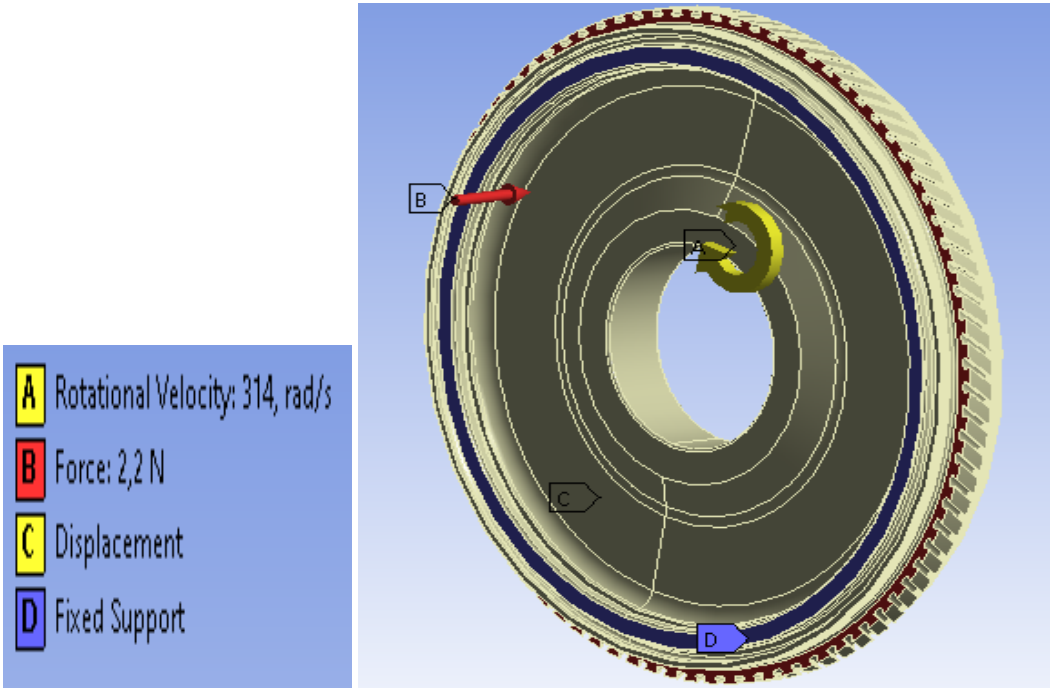


Figure 7. Structural Analyses Parameters

After the parameters were correctly assigned to the disc, the structural analysis was started by using the ANSYS program. In the structural analysis, the total deformation, stress, and elastic elongation parameters of the part were examined. As can be seen in Figure 8, the total deformation occurs on the side of the sharp edge and some cooling holes.

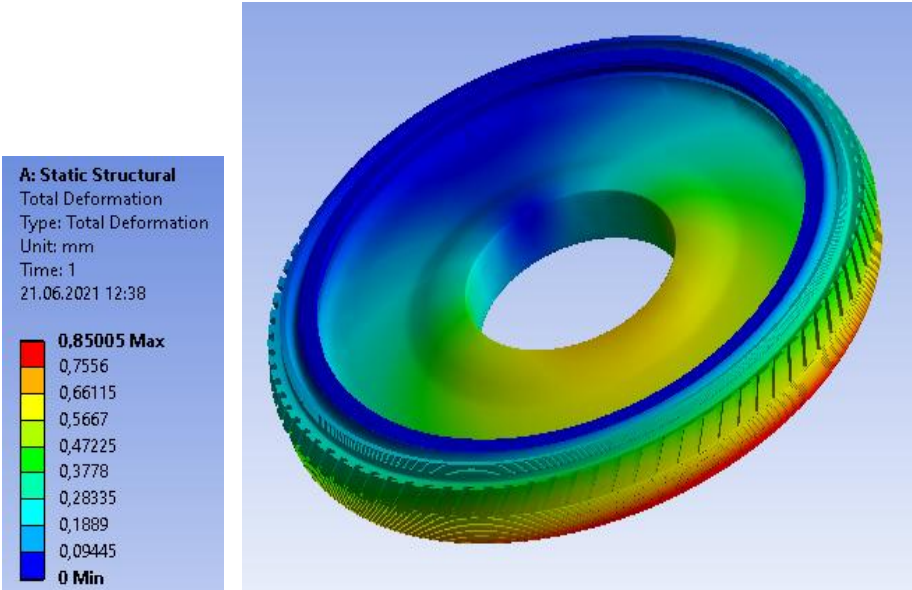


Figure 8. Total Deformation

As can be seen from the above result, the variables applied on the blade cause deformation of only 0.85005 mm. As it is stated in the conclusion part, these values do not create any effect on the unit.

The equivalent stresses that were occurred on the part after the total deformation was also analyzed. As can be seen in Figure 9 below, the stresses on the part are at a minimum level.

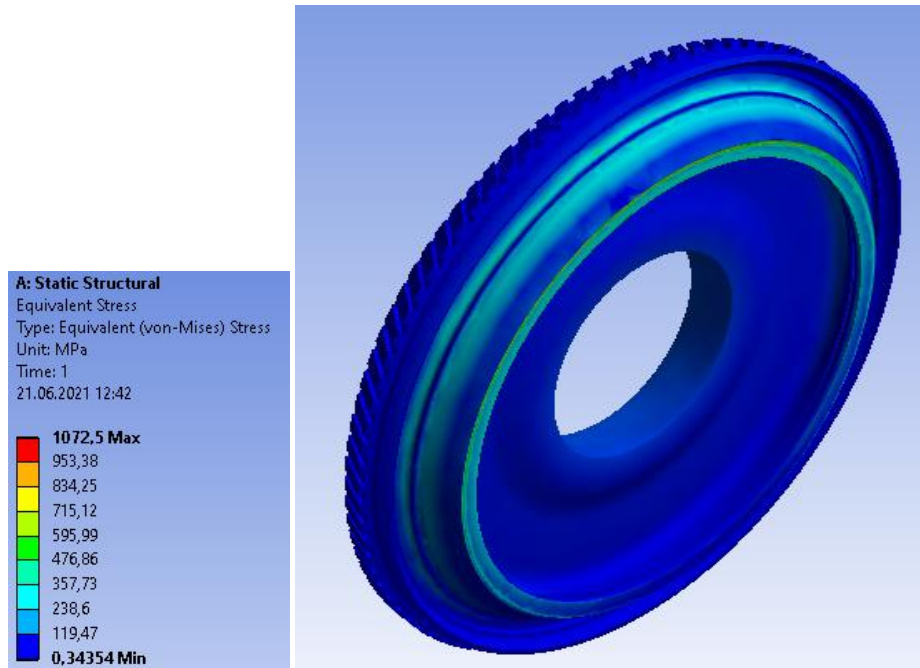


Figure 9. Stress on the disc

Elastic tensions that may occur on the part are shown in Figure 10. As can be seen from here, the value got is at the minimum level.

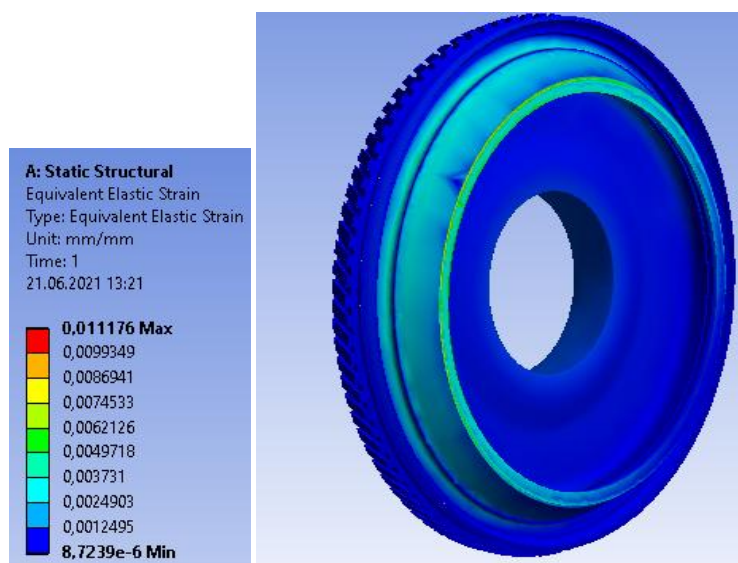


Figure 10. Elastic Strain

A.3.2. Performing Thermal Analysis

Heat transfer in fluid occurs utilizing conduction and also convection. Forced convection is the domain phenomenon in the disc and as well as in the turbine blade. Relatively cold air from the 6th stage of the compressor is used to cool the final stage of the disc. Therefore, thermal analysis of the disc is required and the result of this analysis has a direct effect on the disc. Two types of temperature values were used as parameters while performing thermal analysis. The first of these is the main cooling air and this value is taken as 150 °C, the other is the temperature coming to the outside of the compressor and it is taken as 500 °C. Figure 11 shows the regions affected by these two values.

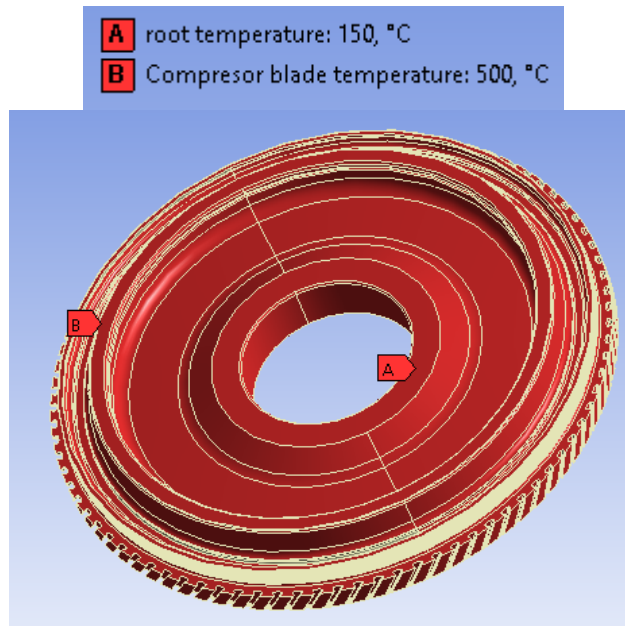


Figure 11. Temperature Effect Locations

While performing thermal analysis, three parameters were examined based on the situation. These are total heat exchange, heat exchange direction, and temperature. The effect regions of these parameters were analyzed during our study. In Figure 12, below, you can find the total heat exchange values and the affected area. As it can be understood from here, the heat exchange has a minimal effect on the disc. This shows how safe our discs have been designed.

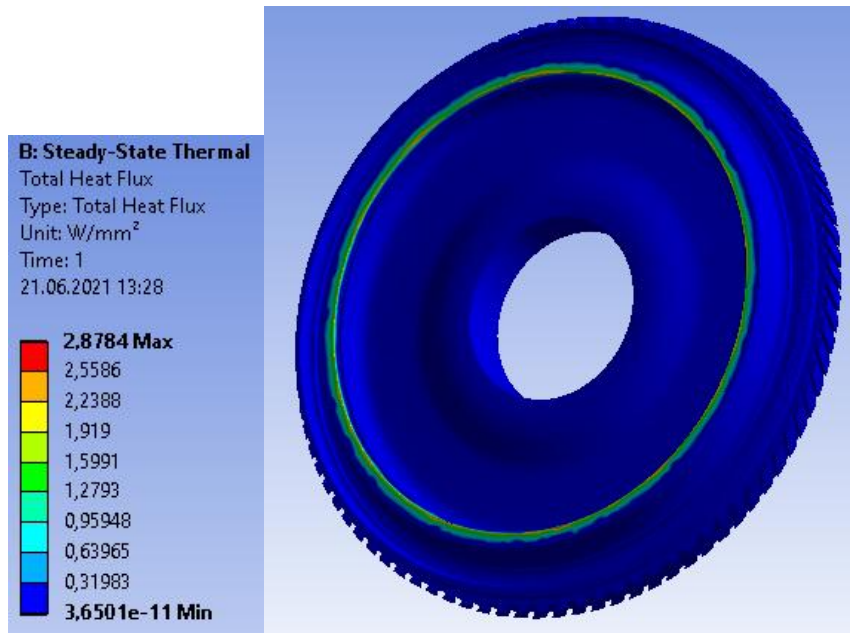


Figure 12 Total Heat Exchange

As can be seen from Figure 12, the greatest effect occurs in the leading edge region. This value is minimal level.

Another variable that is examined in thermal analysis is the direction of the heat exchange zone. In this case, the regions, where the temperature varies the most, were examined. The heat exchange direction and region are shown in Figure 13.

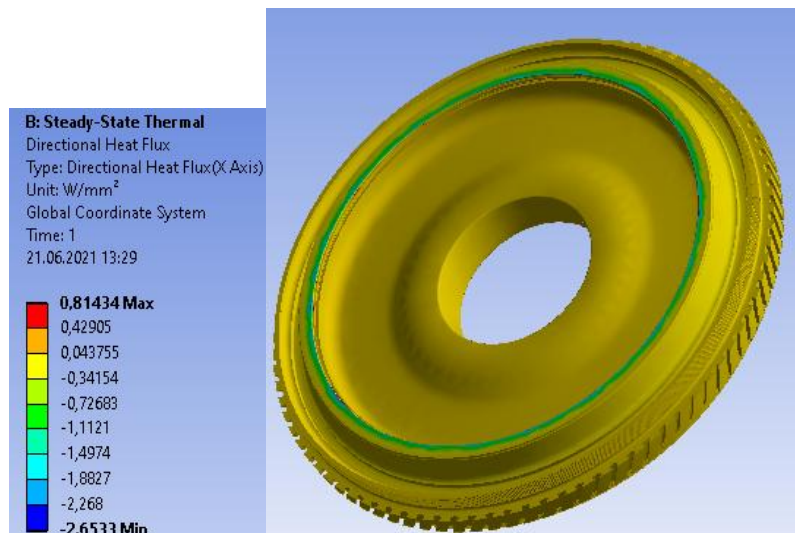


Figure 13. Heat Exchange Zone

The last parameter examined in thermal analysis is the effect of temperature on the disc. As it is known, the increasing temperature can cause certain deformations on the disc. The effect of temperature on the disc is shown in Figure 14 below. As can be understood from here, the disc is not affected much by the temperature parameter.

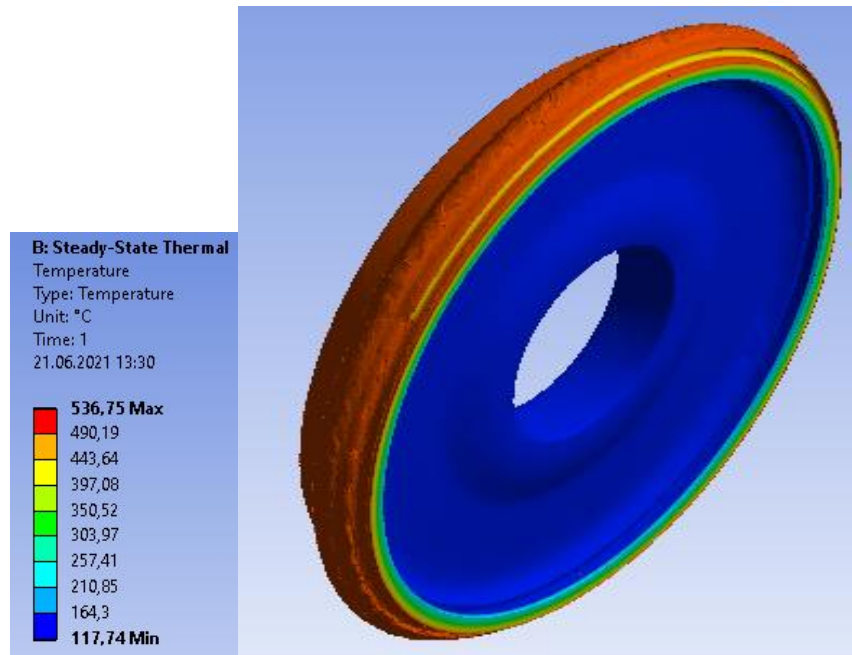


Figure 14. Temperature Effect

IV. STRUCTURAL ANALYSIS OF THE COMPRESSOR BLADE

As was done in the disc analysis, the Static Structural command runs in the ANSYS program. Geometry is opened in the CAD from the Model command. To perform the analysis, the three-dimensional geometry of the part must be opened in the CAD form. Before starting the structural analysis, the geometry must have meshed from the ANSYS program. The purpose of the mesh, as mentioned earlier, is to break up a complex volume into small parts to be simulated. It can have almost any shape in any size. It is used to solve Partial Differential Equations. The higher the mesh quality, the better our structural analysis results are. The Mesh result is as in Figure 15.

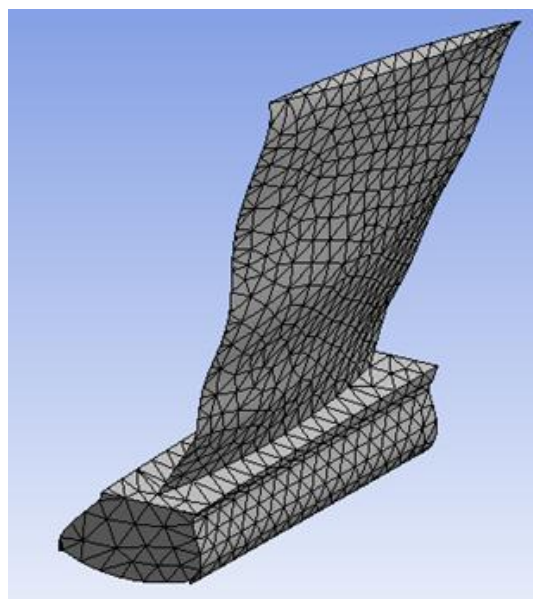


Figure 15. Mesh Form of the Blade

The technical specifications of the Mesh done are given in Table 4.

Table 4. Mesh Specs

Points	10140
Mass	0,24271 kg
Area	1
Volume	52534 mm³
Elements	Nearly 5625
Types	PLANE 1

On the other hand, only structural analysis was held on the blades. Thermal analysis of the blade is not required. Because it is only the ambient temperature that affects the blade. The blade does not have any cooling temperature from the outside.

A.4.1. Performing Structural Analysis

Structural analysis was performed on the turbine blade to analyze the stress, strain, and deformation on the compressor blade. The yield criteria were taken into account to relate the stress state with the uniaxial stress state. The analysis for the blade needs to be repeated step by step as done in the disc part. After Mesh is done on the geometry, it is possible to move on to structural analysis. As mentioned before, Mesh quality must be very good to carry out a successful analysis study. After analysis of the meshwork, it was predicted that the quality is so good and can be moved on to structural analysis. The parameters affecting the blade and analysis were determined one by one for starting the structural analysis. The values of these parameters are taken from Table 1. which is obtained from the real field study. The pressure and temperature values affecting the compressor's last stage blade are taken from this table as well.

For structural analysis, ambient pressure, rotation direction and speed, blade fixing point, and blade support point values and regions were determined. The rotation value is 3000 rpm, which corresponds to 314 rad/s. Although the normal ambient pressure is 17 bar and 22 bar is taken for safety reasons. In Figure 16 you can see the parameters acting on the blade.

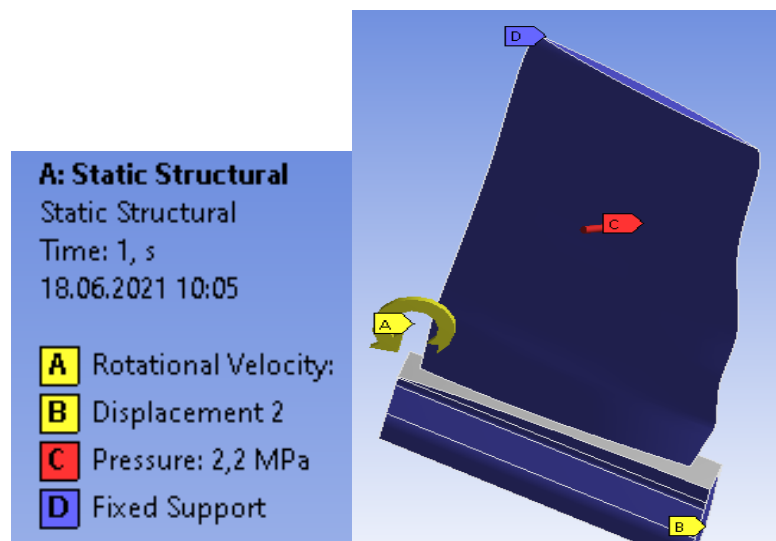


Figure 16. Parameters on the Blade

After the parameters affecting the blade were assigned correctly, the structural analysis was started. Rotation speed and direction, force, blade fixing points, and blade sliding surface parameters affect the

blade analysis. In the structural analysis, the total deformation, stress, and elastic elongation parameters of the part were examined.

The total deformation is the total change of shape in the given working part. As can be viewed in Figure 17, total deformation is at a minimum level. This value does not affect the blade. Therefore, the blade does not undergo any deformation.

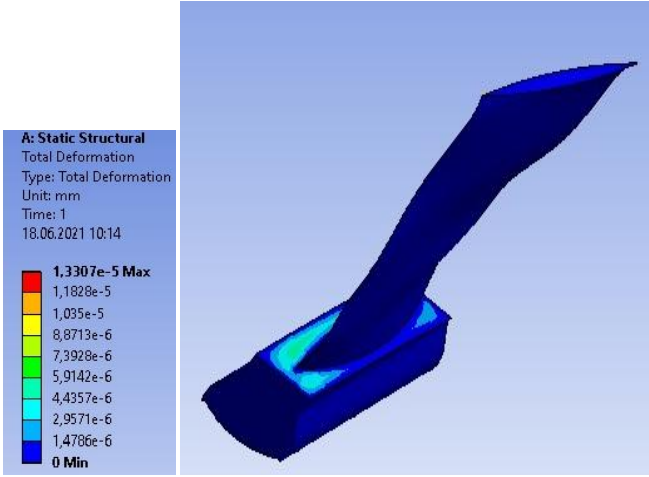


Figure 17. Total Deformation

Another analysis that needs to be done is the equivalent stresses that occur on the blade. Equivalent stress is widely used for representing a material status of ductile material. It is used in engineering to a scalar value to determine if the material has yielded or failed. The root of the blade has more strength when compared to the free end of the blade. When the loads started to apply the pressure started to affect slowly. The effect happens on the corners, bottom, and middle. The stresses were analyzed after total deformation analysis. As can be seen in Figure 18 below, the stress in the part is at a minimum level.

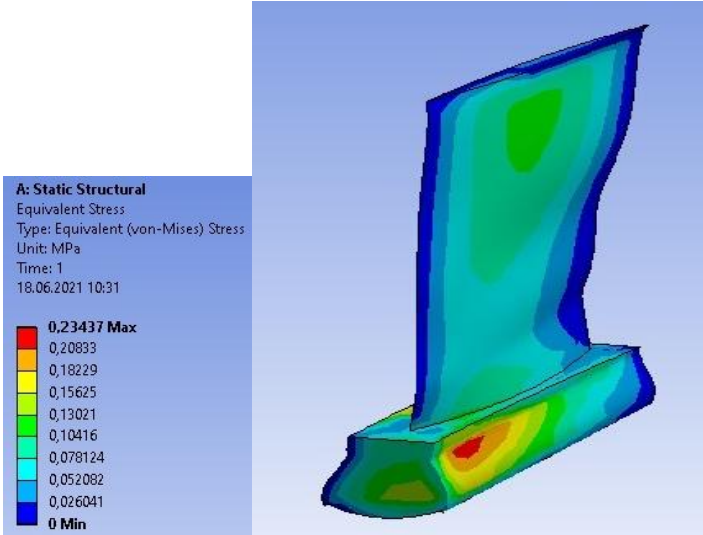


Figure 18. Stresses on the Blade

The maximum stress occurs on the blade only at the fixing points. The other sides are safe. All values show that the blade is safe regarding real side conditions.

The equivalent elastic strain is defined as the limit for the values strain which the part rebounds and comes back to the original shape when the load is removed. The elastic strain that may occur in the part can be seen in Figure 19. Regarding analysis, the strain condition is safe on the blade.

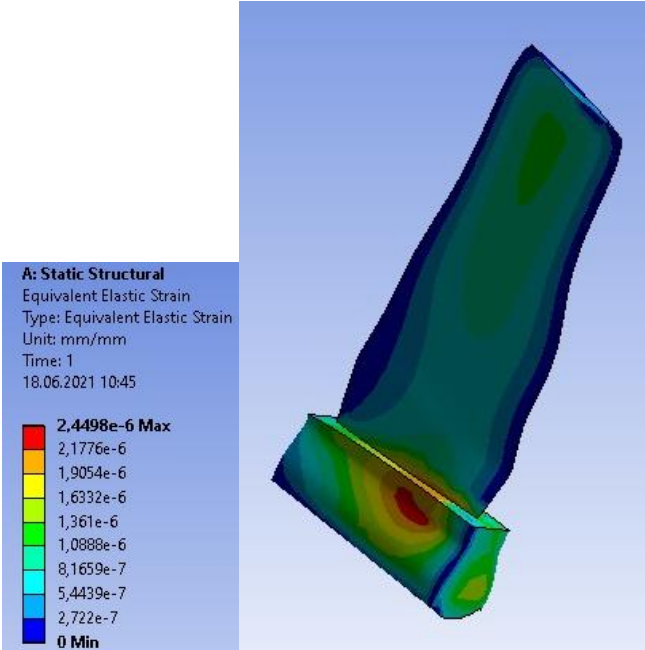


Figure 19. Elastic Strain On the Blade

V. CONCLUSION

The structural and thermal analyses were performed on the compressor blade and disc to verify the real side running conditions on the machine. The analysis results can be evaluated by measuring the distances between the stator and rotor in the turbine. In these results, it can be verified by checking whether the elongations occurred in our disc and blades touching the stator or not. If these elongations are smaller than the distance between our stator and rotor, the accuracy of the study is sufficient.

As seen in Figure 20 below, the standard measurement parameters of class F-type gas turbines, the values are recorded by measuring from two points while the turbine is stopped.



Figure 20. Clearance Check

This measurement process is carried out for all stages. The field measurements share with the engineering department of the turbine manufacturer, and it is checked whether the measurement values are within the desired limits. If the engineering confirms that these values are within the desired limits, the field values are recorded and presented to the customer as a report. These values are also taken as a reference for future maintenance. The values obtained from the field for this study are shown in Figure 21 below. The last stage values of the compressor were taken as reference. Because last stage blade and disc analysis were performed.

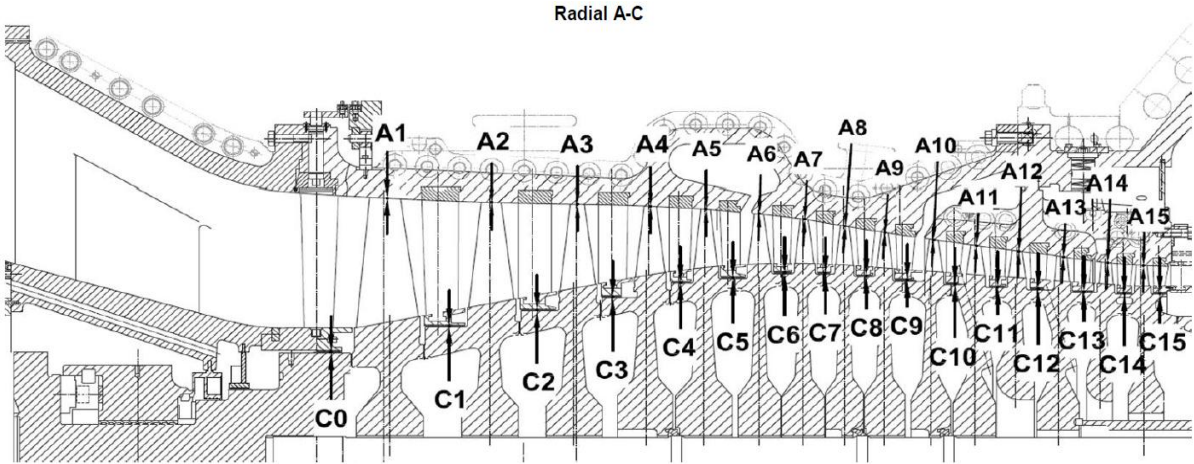


Figure 21. Clearance Check Points

As can be seen in Table 5, the measurement points have been taken under normal field conditions indicated in the table one by one. In this figure, A represents the gaps between the compressor and the stator, C represents the gaps between the stator fixed blades and the compressor. Our reference here is the A15. Because it is the last stage of the compressor. Table 5, shows the values received from the field.

Table 5. Field Record

measurement point	Left		Right		Rated value	measurement point	Left		Right		Rated value
	Input	Output	Input	Output			Input	Output	Input	Output	
A1	1,55 mm	-	1,55 mm	-	- mm	C0	1,15 mm	0,90 mm	1,20 mm	1,30 mm	- mm
A2	2,35 mm	1,80 mm	2,00 mm	1,55 mm	- mm	C1	1,40 mm	1,05 mm	1,15 mm	1,10 mm	- mm
A3	1,90 mm	-	1,55 mm	-	- mm	C2	0,75 mm	0,95 mm	0,50 mm	0,80 mm	- mm
A4	2,15 mm	-	1,70 mm	-	- mm	C3	0,95 mm	0,85 mm	0,95 mm	0,95 mm	- mm
A5	2,40 mm	3,50 mm	1,80 mm	3,05 mm	- mm	C4	1,30 mm	1,40 mm	1,35 mm	1,35 mm	- mm
A6	2,70 mm	4,00 mm	2,10 mm	3,45 mm	- mm	C5	1,70 mm	1,90 mm	1,30 mm	1,25 mm	- mm
A7	2,50 mm	3,50 mm	1,15 mm	2,85 mm	- mm	C6	1,30 mm	1,50 mm	1,15 mm	1,20 mm	- mm
A8	2,00 mm	2,65 mm	1,20 mm	2,15 mm	- mm	C7	1,70 mm	1,40 mm	1,05 mm	1,15 mm	- mm
A9	1,80 mm	-	0,85 mm	-	- mm	C8	1,55 mm	1,40 mm	0,75 mm	0,60 mm	- mm
A10	1,70 mm	-	3,85 mm	-	- mm	C9	1,15 mm	1,10 mm	0,75 mm	0,55 mm	- mm
A11	1,40 mm	-	3,60 mm	-	- mm	C10	0,65 mm	0,45 mm	2,85 mm	2,65 mm	- mm
A12	1,60 mm	-	3,75 mm	-	- mm	C11	0,85 mm	0,75 mm	3,20 mm	3,10 mm	- mm
A13	1,70 mm	-	3,80 mm	-	- mm	C12	0,60 mm	0,55 mm	2,80 mm	2,75 mm	- mm
A14	1,65 mm	-	3,80 mm	-	- mm	C13	0,60 mm	0,65 mm	2,80 mm	2,40 mm	- mm
A15	2,00 mm	-	4,00 mm	-	- mm	C14	0,60 mm	0,75 mm	2,40 mm	2,50 mm	- mm
						C15	1,10 mm	1,10 mm	3,05 mm	3,35 mm	- mm
						C16 (*)	-	-	-	-	- mm
						C17 (*)	-	-	-	-	- mm

(*) Value calculated by diameter measurements

As can see from Table 5 the measurement values on the A15 compressor and the stator are 2 mm on the left and 4 mm on the right. In our previous analysis, a maximum elongation of 0.0000001457 mm occurs in our blade during normal operating conditions. In disc, this elongation is 0.85mm. The total elongation on both blade and disc is 0.8500001457 mm. This is much smaller than our field measurement value. As can be seen from these results, the analysis results that have been done are correct and within the desired limits.

VI. REFERENCES

- [1] O. O. Badran, "Gas-turbine performance improvements," *Applied Energy*, vol. 64, pp. 263-273, 1999.
- [2] J. Błachnio, J. Spychała, and D. Zasada, "Analysis of structural changes in a gas turbine blade as a result of high temperature and stress," *Engineering Failure Analysis*, vol. 127, no. 105554, 2021.
- [3] R. K. Mishra, J. Thomas, K. Srinivasan, V. Nandi, and R. R. Bhatt, "Failure analysis of an un-cooled turbine blade in an aero gas turbine engine," *Engineering Failure Analysis*, vol. 79, pp. 836-844, 2017.
- [4] E. Toklu, M. Gerengi, and F. Polat, "F class gas turbine blade cooling calculation," *Journal of Engineering Research and Applied Science*, vol. 8.2, pp. 1248-1256, 2019.
- [5] W.I. Rowen, "Simplified mathematical representations of heavy-duty gas turbines," *Journal of Engineering for Power*, vol 105, pp. 865-869, 1983.
- [6] J. Undrill, "Modeling of combined cycle plants in grid simulation studies," *IEEE Power Eng. Soc. Winter Meeting*, vol 2, pp. 657-663, 2001.
- [7] B. Deepanraj, P. Lawrence, and G. Sankaranarayanan, "Theoretical analysis of gas turbine blade by finite element method," *Scientific world*, vol. 9, no. 9, pp. 29-33, 2011.
- [8] S. K. Kim, D. Kim, and D. J. Cha, "Finite element analysis of self-excited instabilities in a lean premixed gas turbine combustor," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 120, pp. 350-360, 2018.
- [9] H. P. Singh, A. Rawat, A. R. Manral, and P. Kumar, "Computational analysis of a gas turbine blade with different materials," *Materials Today: Proceedings*, vol. 44, pp. 63-69, 2021.
- [10] Y. Bazilevs, K. Takizawa, M. C. Wu, T. Kuraishi, R. Avsar, Z. Xu, and T. E. Tezduyar, "Gas turbine computational flow and structure analysis with isogeometric discretization and a complex-geometry mesh generation method," *Computational Mechanics*, vol. 67, no. 1, pp. 57-84, 2021.
- [11] W. Maktouf and S. Kacem, "An investigation of premature fatigue failures of gas turbine blade," *Engineering Failure Analysis*, vol. 47, pp. 89-101, 2015.
- [12] T. J. Carter, "Common failures in gas turbine blades," *Engineering Failure Analysis*, vol. 12, no. 2, pp. 237-247, 2005.
- [13] J. Hou, B. J. Wicks, and R. A. Antoniou, "An investigation of fatigue failures of turbine blades in a gas turbine engine by mechanical analysis," *Engineering Failure Analysis*, vol. 9, no. 2, pp. 201-211, 2002.
- [14] D. Ziegler, M. Puccinelli, B. Bergallo, and A. Picasso, "Investigation of turbine blade failure

in a thermal power plant,” *Case Studies in Engineering Failure Analysis*, vol. 1, no. 3, pp. 192-199, 2013.

[15] G. Narendranath and S. Suresh, “Thermal analysis of a gas turbine rotor blade by using Ansys”, *International journal of engineering research and applications*, vol. 2, no. 5, pp. 2021-2027, 2012.

[16] S. Y. Chang and K. Y. Oh, “Contribution of high mechanical fatigue to gas turbine blade lifetime during steady-state operation,” *Coatings*, vol. 9, no. 4, pp. 229, 2019.

[17] Y. Song, G. Chun-wei, and J. Xing-xing, “Development and validation of a full-range performance analysis model for a three-spool gas turbine with turbine cooling,” *Energy*, vol. 89, pp. 545-557, 2015.

[18] X. Lv, X. Liu, C. Gu, and Y. Weng, “Determination of safe operation zone for an intermediate-temperature solid oxide fuel cell and gas turbine hybrid system,” *Energy*, vol. 99, pp. 91-102, 2016.

[19] W. Meng and W. Zhangqi, “The vibration frequencies of wind turbine steel tower by transfer matrix method,” *Third International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation*, vol. 3, pp. 995-998, 2011.

[20] P. V. Krishnakanth, G. N. Raju, R. D. V. Prasad, and R. Saisrinu, “Structural and thermal analysis of gas turbine blade by using FEM,” *International Journal of Scientific Research Engineering and Technology*, vol. 2(2), pp. 60-65, 2013.

[21] L. M. Amoo, “On the design and structural analysis of jet engine fan blade structures,” *Progress in Aerospace Sciences*, vol. 60, pp. 1-11, 2013.

[22] O. Kauss, H. Tsybenko, K. Naumenko, S. Hütter, and M. Krüger, “Structural analysis of gas turbine blades made of Mo-Si-B under transient thermo-mechanical loads,” *Computational Materials Science*, vol. 165, pp. 129-136, 2019.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Kentsel Peyzajlarda Geçirimli Beton Kullanımı ve Özelliklerinin Değerlendirilmesi

 Gülay TOKGÖZ ^{a,*},  Sedat KARAAHMETLİ ^b,  Serkan TOKGÖZ ^b

^a Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Mimarlık Fakültesi, İskenderun Teknik Üniversitesi, Hatay, TÜRKİYE

^b İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Adana, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: gulay.tokgoz@iste.edu.tr

DOI:10.29130/dubited.1078837

ÖZ

Artan dünya nüfusu ile birlikte su ihtiyacı, temini ve yönetimi çok önemli bir konu haline gelmiştir. Özellikle iklim değişikliği nedeniyle şiddetli yağışlar, sel vb. durumlarda suyun yer altı sularına kolay ve hızlı bir şekilde ulaştırılması gerekir. Kentin yeşil altyapı sistemlerini güçlendiren sürdürülebilir yağış suyu yönetimi uygulamalarından birisi geçirimli betondur. Otopark, bisiklet yolları, yürüyüş yolları vb. peyzaj yapılarında geçirimli beton kullanılarak su etkin bir şekilde yeraltına iletilir. Geçirimli betonda su geçirgenliğini sağlamak için özellikle karışımdaki su/çimento oranı ve agrega miktarının uygun oranlarda olması önemlidir. Geçirimli beton, az miktarda kum ve çok miktarda iri agregadan oluşur. Geçirimli betonun hazırlanmasında farklı tipte çimentolar kullanılabilir. Sunulan çalışmada, CEM V/A 32.5 R, CEM I 42.5 R ve CEM I 52.5 R çimentoları kullanılarak hazırlanan geçirimli betonun mekanik özellikleri incelenmiş ve kentsel peyzajlarda kullanımı araştırılmıştır. Beton karışımlarından alınan küp ve prizma örneklerinden beton basınç dayanımı ve eğilme dayanımı değerleri elde edilmiştir. Ayrıca, polipropilen lif içeren geçirimli beton hazırlanmış ve dayanım değerleri belirlenmiştir. Bu araştırma çalışmasından elde edilen sonuçlar, geçirimli betonun otopark, bisiklet yolları ve yürüyüş yolları gibi kentsel peyzajlarda uygulanabileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Geçirimli beton, Peyzaj, Yeraltı suyu, Beton basınç mukavemeti, Beton çekme mukavemeti

The Assessments of the Use of Pervious Concrete and Its Properties in Urban Landscapes

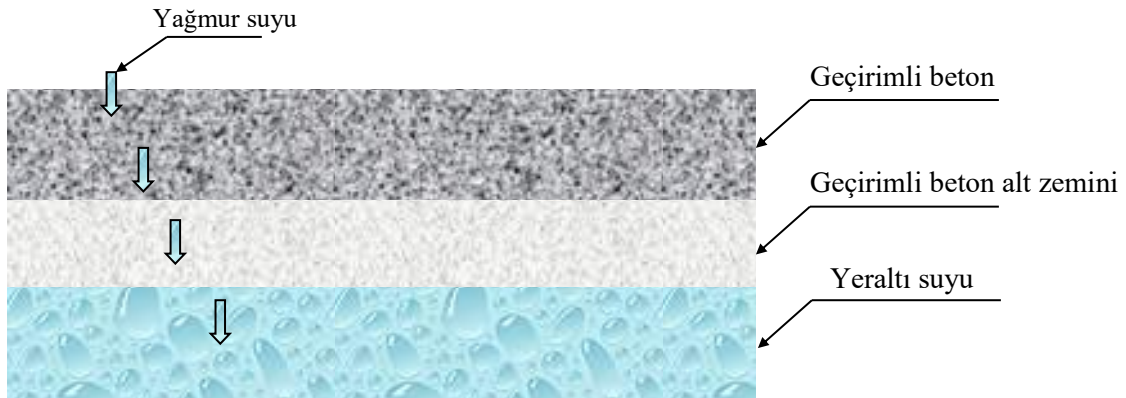
ABSTRACT

Water necessity, supply and management have become very important issue with increasing the population of the world. In the conditions of heavy rains, flood etc. due to especially climate change, it is very important to deliver the water easily and fast to the ground water. One of the applications of sustainable rainfall water management which is strengthened green infrastructure systems of urban is pervious concrete. Using pervious concrete in the landscape structures such as, parking, bicycle roads, walkways etc. water can be delivered to the underground effectively. It is important being especially suitable proportions of water/cement ratio and amount of aggregate in the mixture to provide water permeability at pervious concrete. The pervious concrete comprises of few sand and large amount of coarse aggregate. Different types of cements can be used in the preparation of pervious concrete. In the presented study, the mechanical properties of pervious concrete prepared using CEM V/A 32.5 R, CEM I 42.5 R ve CEM I 52.5 R have been examined and its usage in the urban landscape has been investigated. The concrete compressive strength and flexural strength values have been obtained from cube and prism samples taken from concrete mixtures. In addition, pervious concrete, including polypropylene fibers, has been prepared and the strength values have been determined. The results obtained from this research study indicated that the pervious concrete can be applicable on the urban landscapes, such as parking, bicycle roads and walkways.

Keywords: Pervious concrete, Landscape, Ground water, Concrete compressive strength, Concrete tensile strength.

I. GİRİŞ

Günümüzde nüfus artışına bağlı olarak devam eden kentleşme ve geçirimsiz yapı içeren kentsel alanların artışı, özellikle kentsel ısı adası etkisi, ani sel riski, nehir yataklarında su kalitesinin kötüleşmesi, yeraltı su kaynaklarında azalma gibi belirli çevresel ve toplumsal etkilere yol açmaktadır [1]. Küresel ısınma ve iklim değişikliği nedeniyle kuraklık ve su kıtlığının yaşandığı günümüzde, kentlerde su yönetimi önem arz etmektedir. Dünya genelinde birçok kentte öncelikli konulardan biri, yağış suyunun tutularak, doğal akış rejimine uygun şekilde su yüzeylerine ve su kaynaklarına iletilmesidir [2]. Yağış sularını yer altı suyu ile buluşturmak, su kaynaklarının artması bakımından önemlidir. Birçok bilimsel çalışma, kentsel peyzaj tasarımında yeşil altyapı uygulamalarına dikkat çekmektedir. Güngör [3], Güngör ve Tokgöz [4] çalışmalarında yeşil altyapı planlaması ve tasarımı yaklaşımlarının bir parçası olarak yeşil-gri altyapı entegrasyonunun kentsel su yönetimindeki önemine vurgu yapmışlardır. Kentlerin yeşil altyapı sistemlerini güçlendiren sürdürülebilir yağış suyu yönetimi uygulamalarından birisi olan geçirimli beton uygulaması yapısal özellikleri bakımından peyzaj çalışmalarında etkili kullanım alanı bulmaktadır [5]. Geleneksel betona göre daha fazla gözenek yapısına sahip olması nedeniyle üzerine gelen suyu hızlı ve kolay bir şekilde bulunduğu yüzeyin altına aktararak, daha fazla hava ve su geçirgenliği sağlar [6]. Doğru tasarlanan geçirimli beton, içerdiği boşluklar sayesinde yağış akış hızını azaltarak, akan suyu yer altına iletir (Şekil 1). Geçirimli betonun, araç tekerlerinden kaynaklanan gürültünün emilmesi, ağır metallere kaynaklanan kimyasal kirleticileri filtreleme, sıcaklığı hapsedebilmesi sayesinde şehirlerde kentsel ısı adası etkisini elimine edebilme, altında dolaşan hava ile kar ve buzların erimesini hızlandırma gibi önemli avantajları vardır [7]. Bunun yanında yapılan çalışmalarda laboratuvar test sonuçlarına göre geçirimli betonun yağmur suyunun arıtılması ve kalitesinin artmasında etkili olduğu da görülmüştür. Örneğin Haselbach vd. [8] yağmur suyundaki çözülmüş Cu ve Zn'nin konsantrasyonunun geçirimli betondan oluşturulmuş bir deney düzeneğinde önemli ölçüde tutulduğunu belirtmişlerdir. Lee vd. [9] bir agrega tabanı ile birlikte 20 cm kalınlığındaki geçirimli beton içeren bir sistemden akan sülfürik asit, deniz suyu ve motor yağı içeren çözeltilerin konsantrasyonlarında önemli oranda düşüş olduğunu belirlemişlerdir. Yapay deniz suyu çözeltilerinin tuzluluk içeriğinin %36'dan %1'e, yağ içeriğinin %3'ten %1'e düştüğünü tespit etmişlerdir. Ancak geçirimli beton çöp toplama alanları, yakıt ve kimyasalların depolandığı alanlar gibi yüksek kimyasal kirletici özelliği olan alanlarda kullanılmamalıdır. Araçlardan sızan yakıt ve zehirli kimyasallar geçirimli beton yüzeylerden sızabilir. Kullanımı sınırlayıcı bu faktörler için kum veya ince agregadan yapılmış bir filtre tabakası ya da toprak alt tabanında aralıklarla setler oluşturularak eğimli alanlar meydana getirmek, biyoswale, yağmur bahçeleri gibi özel tasarlanmış alanlar gerekir[10].



Şekil 1. Geçirimli beton tasarımı ve yeraltı suyu akış diyagramı

Geçirimli beton, araç yolları, otoparklar, yürüyüş yolları, kaldırımlar, yağmur bahçeleri, şev stabilizasyonu kaldırım kenarlarındaki drenaj çözümleri, gürültü bariyeri, spor tesislerinin alt yapısı, peyzaj düzenlemeleri ve dekoratif amaçlı kullanımlar için tercih edilmektedir [11,12]. Geçirimli beton konusunda literatürde birtakım çalışmalar mevcuttur. Yang ve Jiang [13] geçirimli betonun araç

yollarında uygulanması üzerine çalışmalar gerçekleştirmiştir. Yapılan çalışmada, düşük dane çaplı agrega, uçucu kül ve akışkanlaştırıcı kimyasal malzeme kullanımının geçirimli betonun dayanımını arttırdığını ve araç yollarında kullanılabileceğini belirlemiştir. Obla [14] yayınlamış olduğu çalışmada, geçirimli beton malzeme konusunda bilgiler ve geçirimli beton uygulama alanlarından olan otopark ve yürüyüş yolu örnekleri sunmuştur (Şekil 2(a,b)). Mehta vd.[15] uçucu kül ile yapılan geçirimli betonun mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonucunda bağlayıcı malzeme olarak uçucu külün çimento yerine kullanılabileceği sonucuna varmışlardır. Sah vd. [16] yapmış oldukları çalışmalarında agrega boyutu, su/çimento oranı ve lif ilavesinin geçirimli beton davranışına olan etkilerini incelemiştir. Jain ve Chouhan [17] çalışmalarında geçirimli betonların geçirimlilik değerlerinin su/çimento oranına, agrega şekline ve boyutuna bağlı olarak değiştiğini belirlemiştir. Araştırmacılar ayrıca küçük boyutlu agrega kullanılarak hazırlanan geçirimli betonların genelde daha yüksek basınç dayanımı gösterdiğini ortaya koymuşlardır. Bonicelli vd. [18] karışımda bulunan kum miktarının betonun mekanik ve geçirimlilik özelliği üzerine etkilerini araştırmışlardır. Karışıma kum ilave edilmesinin geçirimli betonun mekanik özelliklerinin iyileştirilmesine katkıda bulunduğunu, buna karşılık geçirimliliğini düşürdüğünü gözlemlemiştir. Rehder vd.[19] lif katkılı geçirimli beton üzerine araştırmalar yürütmüşlerdir. Çalışma sonucunda geleneksel betonlarda olduğu gibi geçirimli betonlarda da lif katkısının basınç dayanımı üzerine önemli etkisinin olmadığını belirtmişlerdir. Tennis vd.[20] geçirimli betonların eğilme dayanımı değerlerini etkileyen faktörler üzerine yaptıkları çalışmada, eğilme dayanımının yaklaşık 1 MPa ile 3.8 MPa aralığında değiştiğini ve sıkıştırma derecesi, porozite, agrega/çimento oranı gibi birçok faktörün eğilme dayanımını etkilediğini vurgulamışlardır.



(a) Grendale (Arizona) Stadyumu



(b) Çin (Pekin) Yürüyüş yolu

Şekil 2 (a, b). Geçirimli beton uygulama örnekleri [11]

Geçirimli betonlar geçirimlilik özelliği gösterebilmesi için, genel olarak karışımda yüksek miktarda agrega ve az miktarda ince kum malzeme ile üretilmektedir. Bu bakımdan hazırlanması ve uygulamaları geleneksel betona göre farklılıklar gösterir. Agrega/çimento ve su/çimento karışım oranları geçirimli betonun mekanik ve fiziksel özelliklerini etkileyen en önemli parametrelerdir [21,22]. ACI 522R-10 [11]'ye göre geçirimli beton için tipik karışım oranı belirlenmesine rağmen (Tablo 1), dünya genelinde farklı performans talepleri nedeniyle araştırmacılar tarafından farklı geçirimli beton karışım oranları geliştirilmiştir.

Tablo 1. ACI 522R-10'ye göre tipik geçirimli beton karışım oranları [7,11]

Malzemeler	Karışım oranları (ACI 522R-10 'ye göre)
Bağlayıcı malzeme (kg/m^3)	270-415
Agrega (kg/m^3)	1190-1480

Agrega/çimento oranı (ağırlıkça)	4:1-5.5:1
Su/çimento oranı (ağırlıkça)	0.27-0.34

Geçirimli beton yapısı gereği boşluklu olduğundan genel olarak basınç dayanımları geleneksel betona kıyasla daha düşük elde edilebilir. Söz konusu basınç dayanımı 3.5 MPa ile 28 MPa arasında değişebilmektedir [20]. Ancak geçirimli betonun uygulama alanları dikkate alındığında (örneğin otoparklarda) maruz kalacakları yükleri taşıyabilmeleri için belirli bir dayanım değerini sağlamaları gerekmektedir [14].

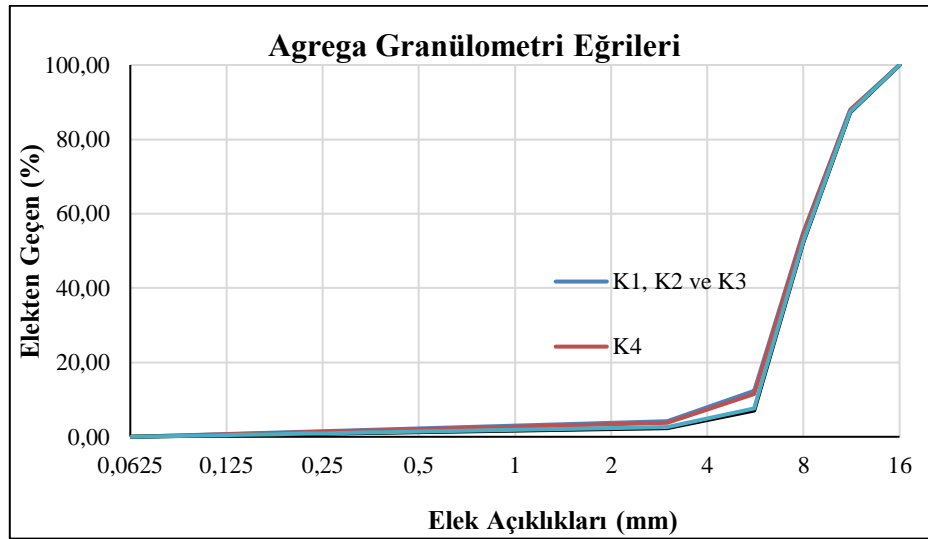
Yapılan çalışmada, farklı tipte çimento içeren geçirimli betonun özelliklerinin ve kentsel peyzajlarda kullanım alanlarının araştırılması amaçlanmıştır. CEM V/A 32.5 R, CEM I 42.5 R ve CEM I 52.5 R tipi çimento ile geçirimli beton numuneleri hazırlanarak basınç ve çekme dayanımının belirlenmesi için test edilmiştir. Böylece farklı çimento türlerinin geçirimli beton dayanımı üzerine olan etkileri araştırılmıştır. Ayrıca polipropilen lif içeren küp ve prizma numuneler hazırlanarak test edilmiş ve dayanım değerleri belirlenmiştir.

II. MATERYAL ve YÖNTEM

A. DENEYSEL ÇALIŞMA

A.1. Geçirimli Beton Numune Hazırlığı

DeneySEL çalışma kapsamında, CEM V/A 32.5 R, CEM I 42.5 R ve CEM I 52.5 R çimento (Beyaz çimento) olmak üzere 3 farklı Portland çimento türü ile üretilen 150×150×150 mm küp ve 100×100×500 mm prizma geçirimli beton numuneleri hazırlanmıştır. Ayrıca, polipropilen lif içeren geçirimli beton küp ve prizma numuneler üretilmiştir. Geçirimli beton numunelerinin hazırlığında, çimento ile birlikte, maksimum dane çapı 16 mm olan agregalar, kum, su, akışkanlaştırıcı ve lifli numuneler için polipropilen lif kullanılmıştır. Agregalar TS EN 933-1 [23] göre elenmiştir. DeneySEL çalışmada kullanılan agregaların granülometri eğrileri Şekil 3'te sunulmuştur.



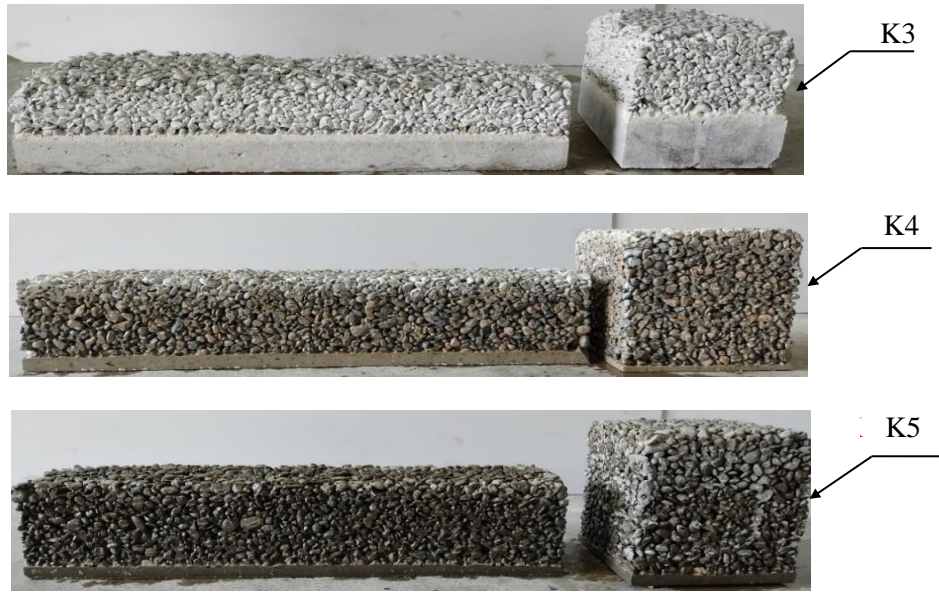
Şekil 3. Agregaların granülometri eğrileri

Hazırlanan numunelerin 1 m³ beton karışımı için; kum, çakıl, su ve çimento malzeme ağırlıkça değerleri, çimento türü, polipropilen lif ve akışkanlaştırıcı malzeme ağırlıkça değerleri ile su/çimento oranı değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Hazırlanan numunelerin 1 m³ beton karışım ağırlıkça değerleri, çimento türü ve su/çimento oranı

Karışım no	Kum (kg/m ³)	Çakıl		Su (kg/m ³)	Çimento (kg/m ³)	Çimento Türü	Polipropilen lif (kg/m ³)	Akışkanlaştırıcı (kg/m ³)	Su/Çimento Oranı
		(d _{max} =11.2 mm)	(kg/m ³)						
K1	240	1700	140	325	32.5R	-	10	0.43	
K2	240	1700	140	325	42.5R	-	10	0.43	
K3	240	1700	140	325	52.5R	-	10	0.43	
K4	220	1700	140	350	42.5R	-	10	0.40	
K5	150	1880	100	340	32.5R	-	5	0.29	
K6	150	1880	100	340	42.5R	-	5	0.29	
K7	150	1880	100	340	52.5R	-	5	0.29	
K8	150	1970	85	290	32.5R	-	5	0.29	
K9	150	1970	85	290	42.5R	-	5	0.29	
K10	150	1970	85	290	52.5R	-	5	0.29	
K11	150	1800	120	340	42.5R	9.1	5	0.35	

Geçirimli beton tasarımında, beton içerisinde su geçiriminin sağlanabilmesi amacıyla ağırlıkça optimum miktarda su, çimento ve agrega malzemelerini belirlemek amacıyla karışımlar hazırlanmıştır. Geçirimli beton numuneler Pan tipi mikser yardımıyla üretilmiştir. Her bir karışımdan 3 adet küp ve 3 adet prizma numunesi alınmıştır. Tablo 2’de sunulan K1-K7 numaralı deneme karışımlarında kum malzeme ve su miktarının geçirimli beton elde etmede gerekenden fazla olması nedeniyle çimento hamuru tabanda birikerek, segregasyon oluşmasına neden olmuş ve numune tabanından su geçirimliliği sağlanamamıştır. Bu durumu gösteren karışımlara ait örnek görseller Şekil 4’te sunulmuştur.



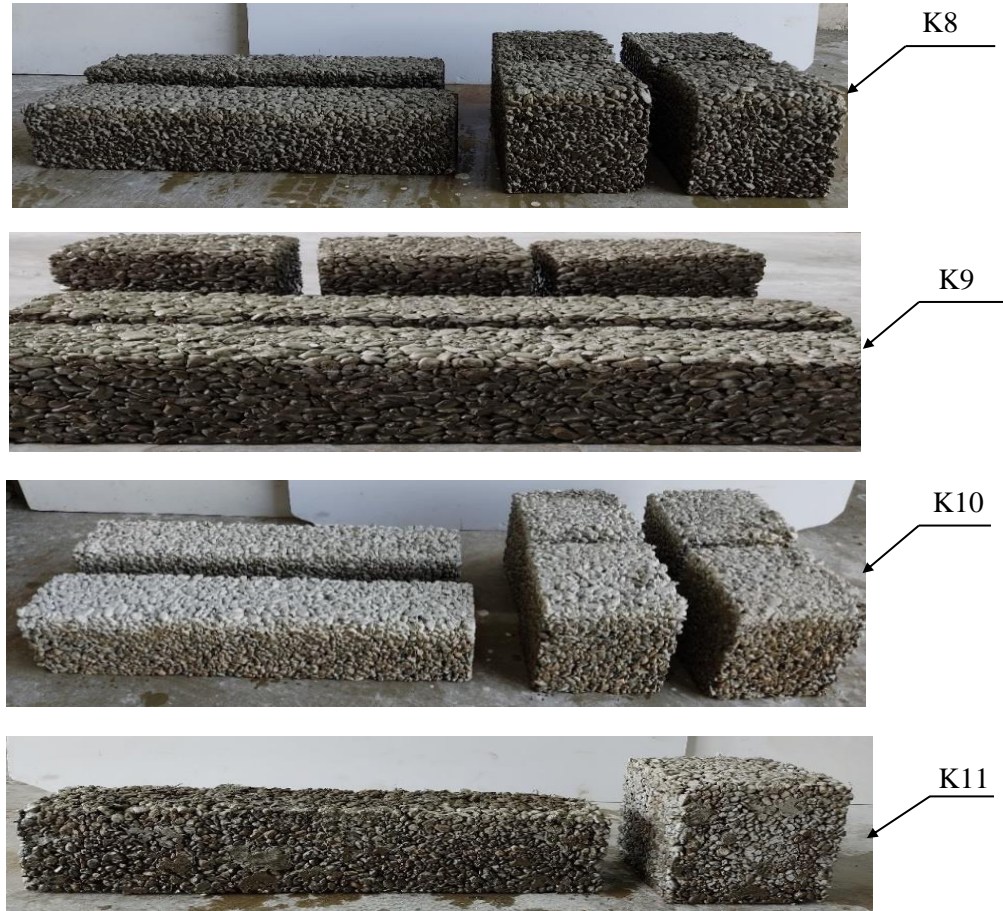
Şekil 4. K3, K4 ve K5 karışımlarında gözlenen segregasyon durumu

Deneysel çalışmada kullanılan polipropilen liflerin görünümü Şekil 5'te sunulmuştur. Polipropilen lifler 12 mm uzunluğunda, 0,032 mm çapında, düz şekilli ve 600-700 MPa özelliğindedir.



Şekil 5. K11 karışımında kullanılan polipropilen lif görünümü

Hazırlanan tüm küp ve prizma numuneler laboratuvarında 28 gün suda bekletilmiştir. Geçirimli beton numunelerinin üretim aşamasını içeren görseller Şekil 6'da sunulmuştur.



Şekil 6. K8-K11 karışımları ile hazırlanan geçirimli beton numuneleri

A.2. Deney Yöntemi

Basınç dayanım testleri TS EN 12390-3 [24] standardına uygun bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Kür havuzunda bekletilen 150×150×150 mm boyutlu küp numuneler yüzeyleri kurutulularak suya doygun şekilde basınç test aletine yerleştirilmiş ve basınç deneyleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 7(a)). Geçirimli

küp beton numunesinin kırıldığı andaki en yüksek yük (P) kaydedilerek, beton basınç dayanımı Denklem (1)'de verilen bağıntı ile hesaplanmıştır.

$$f_c = \frac{P}{A} \quad (1)$$

f_c : Basınç dayanımı (N/mm²)

P: Kırılma yükü (N)

A: Numune kesit alanı (mm²)

Eğilme dayanım testleri TS EN 12390-5 [25] standardına uygun bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Kür havuzunda bekletilen 100×100×500 mm boyutlu prizma numuneler yüzeyleri kurutulularak, suya doymun halde eğilme test cihazına yerleştirilmiş ve dört nokta yüklemesi uygulanmıştır (Şekil 7 (b)). Geçirimli beton prizma numunesinin kırıldığı andaki en yüksek yük (P) kaydedilerek, beton eğilme dayanımı Denklem (2) ile hesaplanmıştır:

$$f_{cf} = \frac{P L}{d_1 d_2^2} \quad (2)$$

f_{cf} : Eğilme dayanımı (N/mm²)

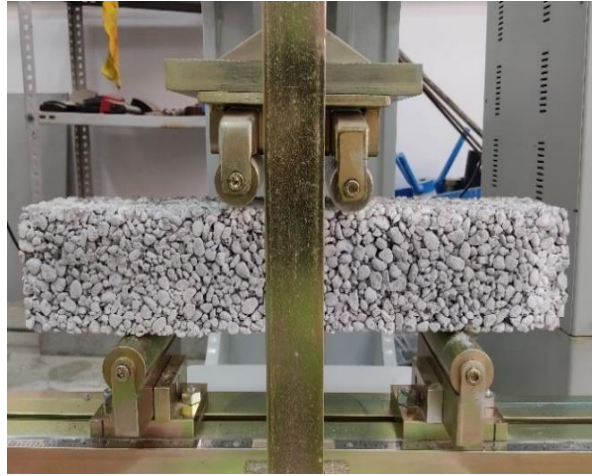
P: Kırılma yükü (N)

L: Mesnetler arasındaki açıklık (300 mm)

d_1, d_2 : Numunenin en kesit boyutları (mm)



(a)



(b)

Şekil 7 (a,b). Geçirimli beton basınç (a) ve eğilme (b) dayanım deneyi

III. BULGULAR ve TARTIŞMA

Geçirimli betonların en önemli özelliği, betonda bulunan boşluklar sayesinde maruz kaldıkları suyun tabana doğru hareketine olanak sağlamasıdır. Bu şekilde yağmur suları yer altı suyuna ulaşabilmektedir. Yapılan çalışmada, geçirimli betona uygulanan suyun beton içerisinden akarak geçtiği gözlenmiştir (Şekil 8).



Şekil 8. Geçirimli betonların su geçirgenliği görünümü

A. DAYANIM TESTLERİ

Basınç dayanımı betonun en önemli mekanik özelliğidir. Geçirimli betonun basınç dayanımının 3.5 MPa ile 28 MPa arasında değiştiği, eğilme kapasitesinin ise 1 MPa ile 3.8 MPa arasında olduğu bilinmektedir [14]. Peyzaj uygulamalarında kullanım amacına göre geçirimli betonun basınç dayanımının yeterli düzeyde olması beklenmektedir. Örneğin otoparklarda uygulanan geçirimli betonun basınç dayanımının yaklaşık olarak 10 MPa ve üzeri olması önerilmektedir [26].

Bu kapsamda, deneysel çalışmada hazırlanmış olan geçirimli betonun dayanımının belirlenmesi amacıyla küp numuneler aksel basınç testine, prizma numuneler ise eğilme testine tabi tutulmuştur (Şekil 7(a,b)). K1-K7 numuneleri tam olarak geçirimli beton özelliğini göstermediğinden bu numunelere dayanım testleri uygulanmamıştır.

Basınç dayanım testleri sonucunda, K8 ve K9 numaralı karışımlar ile hazırlanan geçirimli betonların taşıma gücü anında kırılma biçimleri, numune köşesinde oluşan çatlamlar ve ezilmeler ile meydana gelmiştir. Bunlara ilave olarak, K10 ve K11 numaralı karışım ile hazırlanan numunelerde taşıma gücü anında oluşan kırılma, beton yüzeyinde çok sayıda meydana gelen çatlak ile gerçekleşmiştir (Şekil 9). Polipropilen lifli olarak hazırlanan (K11) numunelerde meydana gelen çatlaklar ise, K10 numaralı karışım ile hazırlanan numunelerde oluşan çatlaklara nazaran kılcal düzeyde kalmıştır.



K8 karışımı numunesi



K9 karışımı numunesi



K10 karışımı numunesi



K11 karışımı numunesi

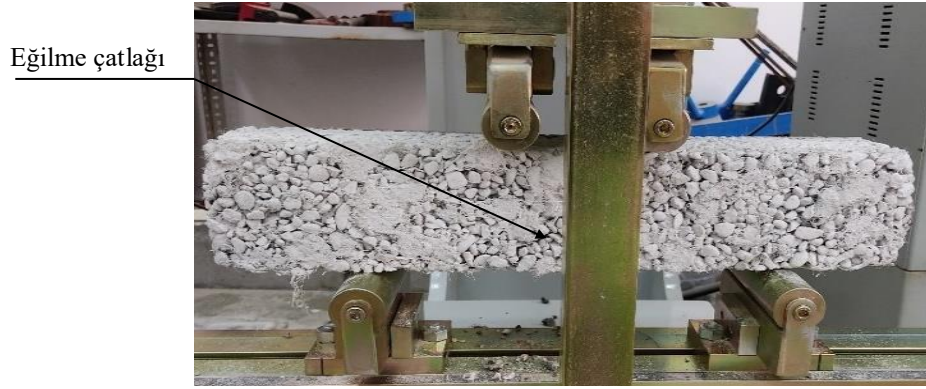
Şekil 9. Beton basınç dayanım deney sonu görselleri

Eğilme dayanımı testlerinde, lifsiz geçirimli beton prizma numunelerde kırılma ani ve gevrek olarak gerçekleşmiştir. Lifsiz prizma numuneler taşıma gücü anında iki parçaya ayrılarak kırılmıştır (Şekil 9). Lifli prizma numune testlerinde ise kılcal düzeyde eğilme çatlakları oluştuğundan sonra numunenin bir miktar

daha yük almaya devam ettiği ve lif etkisiyle numunenin iki parçaya ayrılmadan eğilme kapasitesine ulaştığı gözlenmiştir (Şekil 10).



Şekil 10. Geçirimli beton eğilme testi kırılma biçimi

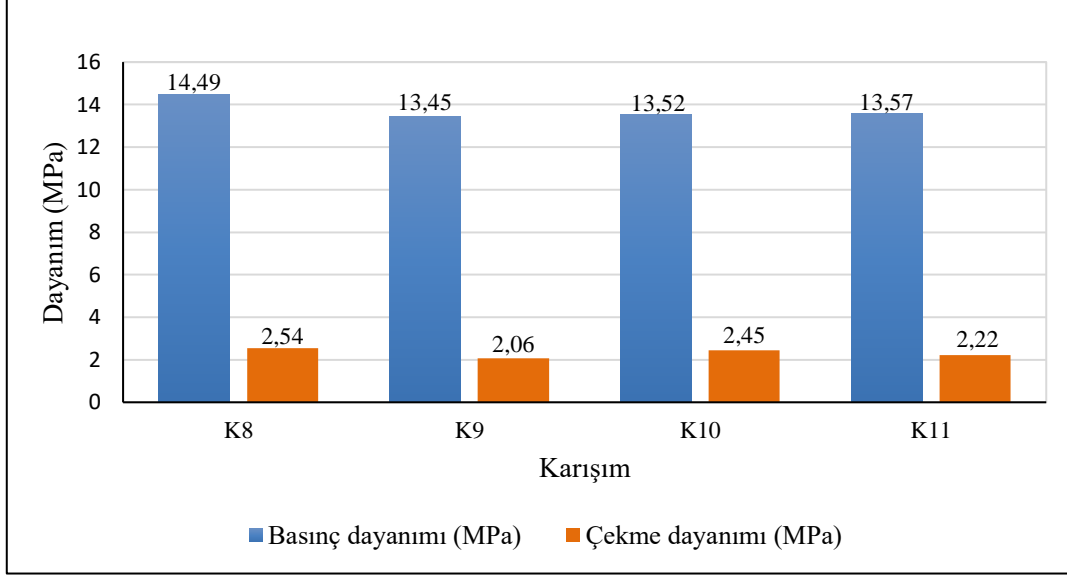


Şekil 11. Lifli geçirimli beton eğilme testi kırılma biçimi

Geçirimli beton K8-K11 nolu karışımları için küp ve prizma numunelerden elde edilen ortalama beton basınç dayanım değerleri ve ortalama eğilmede çekme dayanım değerleri Tablo 3’de ve karşılaştırmalı olarak Şekil 11’de sunulmuştur.

Tablo 3. Geçirimli beton numunelerine ait basınç ve çekme dayanımı değerleri.

Karışım no.	Basınç dayanımı (f_c) (MPa)	Eğilme çekme dayanımı (f_{ct}) (MPa)
K8	14.49	2.54
K9	13.45	2.06
K10	13.52	2.45
K11	13.57	2.22



Şekil 12. K8-K11 karışımları basınç ve çekme dayanımları

Tablo 3 incelendiğinde, geçirimli beton numune ortalama basınç dayanım değerlerinin 13.45 MPa ile 14.49 MPa (N/mm²) arasında, çekme dayanımlarının ise 2.06 MPa ile 2.54 MPa arasında elde edildiği görülmektedir. Çalışmada bulunan sonuçlara göre, karışımlarda kullanılan farklı çimento türlerinin geçirimli beton basınç ve çekme dayanımı üzerine önemli düzeyde etkili olmadığı belirlenmiştir. Dayanım değerleri genel olarak birbirine yakın değerlerde bulunmuştur (Şekil 12). Huhtala vd [27] yapmış oldukları çalışmalarında araçların yola uyguladıkları basıncın 0,7 MPa ile 0,85 MPa arasında değiştiğini belirtmişlerdir. Bu sonuca göre, test edilen numunelerin dayanım değerleri dikkate alındığında, geçirimli betonların yürüyüş yolları, bisiklet yolları, otopark gibi kentsel peyzaj uygulamalarında, maruz kalacakları yüke karşı yeterli dayanıma sahip oldukları sonucuna varılmıştır. Geçirimli beton malzemesinin üretim maliyetinin önemli olduğu peyzaj uygulama alanlarında, ekonomi sağlamak amacıyla CEM V/A 32.5 R veya CEM I 42.5 R türü çimentoların kullanılabilmesi öngörülmektedir. Beyaz çimento (CEM I 52.5 R) ile üretilen geçirimli betonun maliyeti diğer çimento türleri içeren geçirimli betonlara kıyasla daha yüksek olacaktır.

Yapılan deneysel çalışma sonucunda, K8-K10 geçirimli beton karışımlarının kentsel peyzajlar için uygun olduğu belirlenmiştir. Aynı zamanda Tablo 2’de K11 nolu karışımda görülen miktarlar ile üretilen polipropilen lifli geçirimli beton numunelerin dayanım ve geçirimsizlik bakımından uygun sonuçlar sağladığı görülmüştür.

IV. SONUÇ

Sunulan çalışmada, geçirimli betonun kentsel peyzajlarda uygulamaları ve özellikleri araştırılmıştır. Çalışma kapsamında farklı tip çimento (CEM V/A 32.5 R, CEM I 42.5 R ve CEM I 52.5 R) içeren geçirimli beton küp ve prizma numuneler üretilerek mekanik özellikleri incelenmiştir. Betonun basınç dayanımının belirlenmesi amacıyla küp numuneler basınç testine tabi tutulmuştur. Ayrıca prizma numunelere dört nokta yüklemesi uygulanarak eğilmede çekme dayanımı belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre geçirimli betonda kullanılan farklı tip çimentoların beton basınç ve çekme dayanımı üzerine çok büyük etkisinin olmadığı sonucuna varılmıştır. Çalışmada ayrıca polipropilen lif ile geçirimli beton üretilmiş ve mekanik özellikleri bakımından lifsiz geçirimli betonlara benzer değerler elde edilmiştir. Geçirimli beton karışımında kullanılan agrega dane boyutunun ve su/çimento oranının doğru bir şekilde ayarlanması ile dayanım ve su geçirimi özelliği bakımından uygun geçirimli beton elde edilebileceği belirlenmiştir. Ekonomik tasarım yapılması gerektiği durumlarda CEM V/A 32.5 R veya CEM I 42.5 R çimentonun kullanılabilmesi, özellikle estetik peyzaj yapısı istenilen durumlarda beyaz çimento (CEM I 52.5 R) içeren geçirimli betonun tercih edilebileceği önerilmektedir. Yapılan çalışmalarda, geçirimli betonun mekanik özellikleri dikkate alındığında, özellikle otoparklar ve yürüyüş

yolları gibi geniş yüzeylerde uygulanmasının ekonomik olacağı ve su yönetimi bakımından katkı sağlayacağı sonucuna varılmıştır.

V. KAYNAKLAR

- [1] M. Kováč and A. Sičáková, “Pervious concrete as a sustainable solution for pavements in urban areas,” *Environmental Engineering 10th International Conference*, Vilnius Gediminas Technical University, Lithuania, 2017, pp.1-18.
- [2] G. Tokgöz, O. Güngör, “İklim değişikliği ile mücadelede peyzaj uygulamalarında geçirimli sert zemin kullanımının su döngüsüne katkıları,” *I. Uluslararası Sağlık ve İklim Değişikliği Kongresi* Ankara, Türkiye, 2021, ss.88-102.
- [3] O. Güngör, “Examination of the open and green areas of Iskenderun (Hatay) in terms of urban green infrastructure planning principles,” *Theories, Techniques, Strategies For Spatial Planners & Designers*, England, Peter Lang, 2021, pp. 353-371.
- [4] O. Güngör, G. Tokgöz, “Peyzaj tasarımı ile yağmur suyunu yönetmek: İskenderun kenti sahil bandı için öneriler,” *III Uluslararası Şehir, Çevre ve Sağlık Kongresi*, Türkiye, 2021, ss. 340-351.
- [5] M. Ö. Alkan, G. Kaçmaz, Ş. Hepcan, Ç. Çoşkun, “Geçirimli betonun infiltrasyon performansının ölçülmesi: Peynircioğlu Deresi Parkı, Mavişehir, İzmir,” *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, c.18, s. 2, ss.225-231, 2021.
- [6] S. Çelikten ve M. Canbaz, “Agrega tane boyutunun ve bağlayıcı türünün geçirimli beton özelliklerine etkisi,” *Eskişehir Technical University Journal of Science and Technology B- Theoretical Sciences*, c.8, s.2, ss.171 -181, 2020.
- [7] Ö. B. Topcu, “Geçirimli beton tasarımı ve zemin kaplama bloklarında kullanım olanaklarının araştırılması,” Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 2019.
- [8] L. Haselbach, C. Poor and J. Tilson, “ Dissolved zinc and copper retention from stormwater runoff in ordinary Portland cement permeable concrete,” *Construction and Building Materials*, vol. 53, pp.652-567, 2014.
- [9] M. G. Lee, M. Tia, S. H. Chuang, Y. Huang and C. L. Chiang, “Pollution and purification study of the permeable concrete pavement materials,” *Journal of Materials in Civil Engineering*, vol 26, no. 8, 04014035, 2014.
- [10]Minnesota Pollution Control Agency, (2022, February 6) [Online] Available: https://stormwater.pca.state.mn.us/index.php/Design_criteria_for_permeable_pavement.
- [11] ACI. 522R–10, “Report on Pervious Concrete,” ACI Committee 522, United States. 2010.
- [12] Hazır Beton (2018, Mayıs-Haziran). Geçirimli Beton Uygulama Kılavuzu, [Çevrimiçi] Erişim: https://www.thbb.org/media/281170/gecirimli_beton_uygulama_k%C4%B1lavuzu_147.pdf
- [13] J. Yang and G. Jiang, “Experimental study on properties of pervious concrete pavement materials,” *Cement and concrete research*, vol.33, no. 3, pp.381-386, 2003.
- [14] K. H. Obla, “Pervious concrete – An overview”, *The Indian Concrete Journal*, vol. 84, no. 8, pp. 9-18, 2010.

- [15] S. Mehta, Y. Shah, V. Surti and R. Shah, "Study on compressive strength and permeability of pervious concrete," *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, vol. 5, no. 4, pp. 669-671, 2016.
- [16] S. K. Sah, S.N. Guntakal and S. S Selvan, "Experimental study on behavior of pervious concrete in strength and permeability by changing different parameters," *International Journal of Applied Engineering Research*, vol. 13, no. 6, pp. 4550-4554, 2018.
- [17] A. K. Jai and J. S. Chouhan, "Effect of shape of aggregate on compressive strength and permeability properties of pervious concrete," *International Journal of Advanced Engineering Research and Studies* vol. 1, no.1, pp. 120-126, 2011.
- [18] A. Bonicelli, F. Giustozzi and M. Crispino, "Experimental study on the effects of fine sand addition on differentially compacted pervious concrete," *Construction and Building Materials*, vol. 91, pp. 102–110, 2015.
- [19] B. Rehder, K. Banh and N. Neithalath, "Fracture behavior of pervious concretes: The effects of pore structure and fibers," *Engineering Fracture Mechanics*, vol.118, pp. 1-16, 2014.
- [20] P. D. Tennis, M.L. Leming and D.J. Akers, "*Pervious Concrete Pavements*," Portland Cement Association, Skokie, Illinois, and National Ready Mixed Concrete Association, Maryland, USA, Silver Spring, 2004, pp. 36.
- [21] A. Akkaya ve İ. H. Çağatay, "Geçirimli betonların permeabilite ölçümleri üzerine deneysel bir çalışma," *2 nd International Mediterranean Science and Engineering Congress*, Adana, Turkey, 2017, ss.1701-1707.
- [22] Ö.B. Topcu, B. Felekoğlu ve B. Çaylak, "Agrega kökeni, agrega/çimento oranı ve ince malzemeli agreganın kullanımının geçirimli betonun fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisi üzerine bir çalışma," *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c.12, s.1, ss. 225-234, 2018.
- [23] *Agregaların geometrik özellikleri için deneyler bölüm 1: Tane büyüklüğü dağılımı tayini- Eleme Metodu*, Türk Standartları Enstitüsü TS EN 933-1,1999
- [24] *Beton-Sertleşmiş beton deneyleri-Bölüm 3:Deney numunelerinin basınç dayanımının tayini*, Türk Standartları Enstitüsü TS EN 12390-3, 2019.
- [25] *Beton-Sertleşmiş beton deneyleri-Bölüm 5:Deney numunelerinin eğilme dayanımının tayini*, Türk Standartları Enstitüsü TS EN 12390-5, 2002.
- [26] A. Sičáková and M. Kováč, "Relationships between functional properties of pervious concrete" *Sustainability*, vol 12, no. 16, pp. 6318, 2020.
- [27] M. Huhtala, J. Pihlajamaki and M. Pienimeki, "Effects of tires and tire pressures on road pavements," *Transportation Research Record*, vol. 1227, pp. 107-114, 1989.