



e-ISSN: 2149-3367

e-ISSN: 2149-3367

CİLT / VOLUME: XXII

SAYI / NUMBER: 4

AĞUSTOS / AUGUST 2022

FEN BİLİMLERİ DERGİSİ

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Ahmet Necdet Sezer Kampüsü
Fen Bilimleri Enstitüsü
AFYONKARAHİSAR
Tel: 444 03 03 / 1460-1470
Belgegeçer: 0 272 218 14 62
E-posta: fmbd@aku.edu.tr

Afyon Kocatepe Üniversitesi FEN ve MÜHENDİSLİK BİLİMLERİ DERGİSİ

Afyon Kocatepe University
Journal of Science and
Engineering



<http://fmbd.aku.edu.tr>

<http://fmbd.aku.edu.tr>

**AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN VE MÜHENDİSLİK
BİLİMLERİ
DERGİSİ**

*Afyon Kocatepe University
Journal of Science and Engineering*

Cilt / Volume 22
Sayı / Number 4

e – ISSN: 2149-3367

AĞUSTOS 2022

AUGUST 2022

Derginin Amacı ve İçeriği

Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi (AK FEMÜBİD), fen ve mühendislik bilimleri alanlarındaki güncel gelişmeleri takip etmek, meslek kuruluşları ve bireylerin ulusal ve uluslararası gelişmelerine katkıda bulunmak ve bu alanlarda nitelikli bir kaynak oluşturmak amacıyla yayımlanmaktadır.

Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, zgn bilimsel araştırmalar ile uygulama çalışmalarına yer veren bir dergidir. Dergide, fen ve mühendislik bilimlerinde yapılmış deneysel ve teorik ilerlemeleri içeren bilimsel ve özgün araştırma makalesi türündeki çalışmalara yer verilir.

Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi; Afyon Kocatepe niversitesi tarafından 1999'dan bu yana yılda 2 sayı (Haziran ve Aralık) Türkçe veya İngilizce olarak hazırlanan çalışmaları yayınlanan, bilimsel ve hakemli bir dergidir.

Dergimizde makale değerlendirme sürecinin daha şeffaştırılması ve hızlandırılması için şubat 2013 itibarıyla online makale değerlendirme ve takip sistemi uygulamaya alınmıştır.

Ocak 2015 itibaren dergimiz; yayınlanma süreci ile yazarlara ve gerekse yapılan çalışmalara pratik ulaşma imkânları nedeniyle okuyuculara birçok avantajlar sağlayan; elektronik dergi (e-ISSN: 2149-3367) olarak yılda 3 sayı (Nisan, Ağustos ve Aralık) Türkçe ve İngilizce makaleleri kabul edecek ve çift taraflı kör hakemlik esasına göre en az iki hakemli olarak değerlendirilmektedir. Makale göndermek isteyen yazarlarımız, dergi sayfamızdan (<https://fenbildergi.aku.edu.tr/> yada <https://dergipark.org.tr/tr/pub/akufemubid>) kayıt yaptırarak, özgün bilimsel makalelerini evrimii olarak gönderebilir ve süreci takip edebilirler. Özellikle lisansüstü tezlerden hazırlanan yayınlar veya bu tezlerin bir alt çalışması olarak yapılan özgün bilimsel çalışmalar teşvik edilmektedir.

Ocak 2020 yılından itibaren dergimiz; yılda 6 sayı (şubat, Nisan, Haziran, Ağustos, Ekim ve Aralık) olmak üzere özgün araştırma makalelerini kabul etmektedir.

Dergimizde yayımlanan makaleler izin alınmaksızın başka bir yerde yayımlanamaz veya bildiri olarak sunulamaz. Makalelerin bir kısmı veya tamamı dergimiz kaynak gösterilmeden kullanılamaz.

Dergimize hem hakem hem de yazar olarak katkılarınızı beklemekteyiz. Dergimize olan desteğiniz için şimdiden teşekkür eder, çalışmalarınızda başarılar dilerim.

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN VE MÜHENDİSLİK BİLİMLERİ DERGİSİ

Afyon Kocatepe University
Journal of Science and Engineering

İMTİYAZ SAHİBİ/OWNER

İbrahim EROL, Chemistry, Afyon Kocatepe University, (Turkey)
e-mail: ierol@aku.edu.tr

EDİTÖR / EDITOR-IN-CHIEF

Tamer BAYBURA, Survey Engineering, Afyon Kocatepe University, (Turkey)
e-mail: tbaybura@aku.edu.tr

YARDIMCI EDİTÖR/ ASSOCIATE EDITOR

Hakan ÖZTÜRK, Mathematics, Afyon Kocatepe University, (Turkey)
e-mail: hozturk@aku.edu.tr

ALAN EDİTÖRLERİ / EDITORIAL BOARD

Afife Binnaz HAZAR, Metallurgy and Materials Engineering, Yıldız Teknik University, (Turkey)
e-mail: afife.hazar@gmail.com

Ahmet ÇETKİN, Mechanical Engineering, Afyon Kocatepe University, (Turkey)
e-mail: acetkin@aku.edu.tr

Ahmet SERTESER, Molecular Biology and Genetics, Afyon Kocatepe University, (Turkey)
e-mail: aserteser@aku.edu.tr

Ahmet YILDIZ, Geological Engineering, Afyon Kocatepe University, (Turkey)
e-mail: ayildiz@aku.edu.tr

Atilla EVCİN, Material Science and Engineering, Afyon Kocatepe University, (Turkey)
e-mail: evcin@aku.edu.tr

Bojan Zlender, Civil Engineering, University of Maribor, (Slovenia)
e-mail: bojan.zlender@um.si

Cevat İNAL, Survey Engineering, Konya Teknik University, (Turkey)
e-mail: cinal@ktun.edu.tr

Ersin KIVRAK, Department of Science Education, Afyon Kocatepe University, (Turkey)
e-mail: ekivrak@aku.edu.tr

Ertuğrul ERGÜN, Internet and Information Technologies Management, Afyon Kocatepe University, (Turkey)
e-mail: ertugrulerGUN@gmail.com, ertue@aku.edu.tr.

Fatih Onur HOCAOĞLU, Electrical Engineering, Afyon Kocatepe University, (Turkey)
e-mail: fohocaoglu@gmail.com

Hüseyin Ali YALIM, Physics, Afyon Kocatepe University, (Turkey)
e-mail: hayalim@aku.edu.tr

Hüseyin BAYRAKÇEKEN, Automotive Engineering, Afyon Kocatepe University, (Turkey)
e-mail: bceken@aku.edu.tr

İbrahim EROL, Chemistry, Afyon Kocatepe University, (Turkey)
e-mail: ierol@aku.edu.tr

İbrahim Hakkı CİĞERCİ, Molecular Biology and Genetics, Afyon Kocatepe University, (Turkey)
e-mail: cigerci@aku.edu.tr

İsmail DEMİR, Civil Engineering, Afyon Kocatepe University, (Turkey)
e-mail: idemir@aku.edu.tr

İsmail Sedat BÜYÜKSAĞIŞ, Mining Engineering, Afyon Kocatepe University, (Turkey)
e-mail: sbsagis@aku.edu.tr

İsmail ZORLUER, Civil Engineering, Afyon Kocatepe University, (Turkey)
e-mail: izorluer@aku.edu.tr

Levent ÖZCAN, Biomedical Engineering, Afyon Kocatepe University, (Turkey)
e-mail: leventozcan@aku.edu.tr

Mehmet ÇAKMAKKAYA, Automotive Engineering, Afyon Kocatepe University, (Turkey)
e-mail: cakmakkaya@aku.edu.tr

Mehmet KAHRAMAN, Computer, Afyon Kocatepe University, (Turkey)
e-mail: kahraman@aku.edu.tr

Mehmet ÖZKAN, Physics, Afyon Kocatepe University, (Turkey)
e-mail: mozkan@aku.edu.tr

Meltem DİLEK, Chemical Engineering, Afyon Kocatepe University, (Turkey)
e-mail: mdilek@aku.edu.tr

Muhammed YÜRÜSOY, Mechanical Engineering, Afyon Kocatepe University, (Turkey)
e-mail: yurusoy@aku.edu.tr

Murat ALÇIN, Mechatronic Engineering, Afyon Kocatepe University, (Turkey)
e-mail: muratalcin@aku.edu.tr

Mustafa Kemal YILDIZ, Mathematics, Afyon Kocatepe University, (Turkey)
e-mail: myildiz@aku.edu.tr

Mustafa Serhat BAŞPINAR, Metallurgy and Materials Engineering, Afyon Kocatepe University, (Turkey)
e-mail: sbaspinar@aku.edu.tr

Mustaque Hossain, Civil Engineering, Kansas State University, (USA)
e-mail: mustak@k-state.edu

Ramazan ÇEVİK, Food Engineering, Afyon Kocatepe University, (Turkey)
e-mail: ramazansevik03@yahoo.com

Regita Bendikiene, Department of Production Technologies, Kaunas University of Technology,
(Lithuania)
e-mail: regita.bendikiene@ktu.lt

Sinan SARAÇLI, Statistics, Afyon Kocatepe University, (Turkey)
e-mail: ssaracli@aku.edu.tr

Yüksel OĞUZ, Electrical Electronics Engineering, Afyon Kocatepe University, (Turkey)
e-mail: yukseloguz@aku.edu.tr

ADRES/ADDRESS:

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
Ahmet Necdet Sezer Kampusu, 03200, AFYONKARAHİSAR
Telefon: 444 03 03 / 1460-1470
Belgegeçer: 0 272 218 14 62
e-posta: fmbd@aku.edu.tr

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

FEN BİLİMLERİ / SCIENCE

BİYOLOJİ / BIOLOGY (10)

Araştırma Makalesi / Research Article Aloe vera'nın <i>Saccharomyces cerevisiae</i> Gelişimi Üzerine Etkisinin Moleküler Biyolojik Yönden Araştırılması Molecular Biological Investigation of The Effect of Aloe vera on The Growth of <i>Saccharomyces cerevisiae</i> Özlem GÖK, Seda BEYAZ, Abdullah ASLAN	041001 (703-710)
Araştırma Makalesi / Research Article Çiğ Süt ve Dondurmadan İzole Edilen <i>Staphylococcus aureus</i> Suşlarının Metisilin Direnci ve Panton Valentine Toksini Üzerine Araştırma: Multiplex PCR ile Moleküler Çalışma Survey on Methicillin Resistance and Panton Valentine Toxin of <i>Staphylococcus aureus</i> Strains Isolated from Raw Milk and Ice Cream: Molecular Study by Multiplex PCR Erdoğan GÜNEŞ, Ahmet UYSAL, Yusuf DURAK	041002 (711-718)

FİZİK / PHYSICS (11)

Araştırma Makalesi / Research Article Afyon Kocatepe Üniversitesi Ahmet Necdet Sezer Kampüsü Bina içi Radon Konsantrasyonlarının ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerlerinin Belirlenmesi Determination of Indoor Radon Concentrations and Annual Effective Dose Equivalents at Afyon Kocatepe University Ahmet Necdet Sezer Campus Ayla GÜMÜŞ, Hüseyin Ali YALIM	041101 (719-729)
Araştırma Makalesi / Research Article Kollektif Etkilerin Nötron Yakalama Reaksiyon Tesir Kesiti Üzerindeki Rolü Role of the Collective Effects on Neutron Capture Reaction Cross Section Deniz CANBULA	041102 (730-737)

KİMYA / CHEMISTRY (12)

Araştırma Makalesi / Research Article ZnO/Kitosan Hibrit Nano Geçirgen Mikroküreciklerin Ultrasonik Fabrikasyonu Ultrasonic Fabrication Of ZnO/Chitosan Nano Permeable Microspheres Özlem ÜNLÜ, Mecit AKSU	041201 (738-743)
--	-------------------------

MATEMATİK & İSTATİSTİK / MATHEMATICS & STATISTICS (13)

Araştırma Makalesi / Research Article Modüler A-Metrik Uzaylarda Çeşitli Tipte w-Bağdaşabilir Dönüşümler On Various Types w-Compatible Mappings in Modular A-Metric Spaces Elif KAPLAN, Servet KÜTÜKCÜ	041301 (744-753)
Araştırma Makalesi / Research Article Gama Tipi Operatörün (p,q)-tamsayı İkililerine Dayalı Yaklaşım Özellikleri On Approximation Properties of Gamma Type Operator Based on (p,q)-Integer Ümit KARABIYIK	041302 (754-760)

MÜHENDİSLİK BİLİMLERİ / ENGINEERING

BİLGİSAYAR & BİLİŞİM / COMPUTER & INFORMATICS (51)

Araştırma Makalesi / Research Article Kesik Tekil Değer Ayrışımı ve Ayrık Dalgacık Dönüşümü Kullanılarak Boyut İndirgeme Tabanlı Dayanıklı Dijital Görüntü Damgalama Dimension Reduction Based Robust Digital Image Watermarking Using Truncated Singular Value Decomposition and Discrete Wavelet Transform Ahmet Haşim YURTTAKAL, Fahrettin HORASAN	045101 (761-768)
Araştırma Makalesi / Research Article Gerçek Zamanlı İnsan Davranışı Anlamaya Doğru: Optimal-Altı Bir Şekil Tanımlayıcı Towards Real-Time Human Behavior Understanding: A Suboptimal Shape Descriptor Güray SONUGÜR, Elif Ebru ÇAKI, Simge Ayşe AKAN, Celal Onur GÖKÇE	045102 (769-777)

Araştırma Makalesi / Research Article Ağ Topolojisi İlişkisi ile Bağlantı Tahmin Yöntemlerinin Performanslarının Keşfi Discovering Link Prediction Methods' Performances by Network Topology Relation Günce Keziban ORMAN	045103 (778-788)
---	-------------------------

ELEKTRİK & ELEKTRONİK / ELECTRICAL & ELECTRONICS (52)

Araştırma Makalesi / Research Article Lityum-iyon Bataryaların Katot Malzemelerindeki Kristal Yapının Kestirimi için Makine Öğrenimi Yöntemlerinin Uygulanması Implementation of Machine Learning Approaches for Crystal Structure Estimation in Lithium-ion Battery Cathode Materials Meltem SÜPÜRTÜLÜ, Çiğdem DİNDAR, Recep AKYÜZ	045201 (789-797)
Araştırma Makalesi / Research Article Sürdürülebilir Enerjiye Dayalı Kablosuz Güç Transferi Teknolojisinin Araştırma ve Analizi Research and Analysis of Wireless Power Transfer Technology Based on Sustainable Energy Mehmet Zahid EREL	045202 (798-804)

GIDA, ÇEVRE & ORMAN / FOOD, ENVIRONMENTAL & FOREST (54)

Araştırma Makalesi / Research Article Geri Döngü Akışlı Ultrasonik Reaktörde Ag ⁺ ile Escherichia coli Dezenfeksiyonu Escherichia coli Disinfection with Ag ⁺ in the Recycled Flow Ultrasonic Reactor Fadime KARAER ÖZMEN	045401 (805-813)
---	-------------------------

HARİTA, MİMARLIK & ŞEHİR VE BÖLGE PLANLAMA / MAP, ARCHITECTURE & CITY AND REGIONAL PLANNING (55)

Araştırma Makalesi / Research Article Hassas Nokta Konumlama Yönteminde GNSS Ölçü Süresi-Konum Doğruluğu İlişkisinin Araştırılması Investigation of the Relationship Between GNSS Observation Time and Position Accuracy in Precise Point Positioning Method Özgür ÖZBULAT, Şeyma ŞAFAK YAŞAR, İbrahim TİRYAKİOĞLU	045501 (814-823)
--	-------------------------

<p>Araştırma Makalesi / Research Article</p> <p>Adana Şehir Merkezinde CBS ve AHP Kullanılarak Alışveriş Merkezleri için Uygun Yer Seçimi</p> <p>Suitable Location Selection for Shopping Centers by Using GIS and AHP in Adana City Center</p> <p>Hilal İNCEYAVUZ, Tansu ALKAN, Süleyman Savaş DURDURAN</p>	<p>045502 (824-835)</p>
<p>Araştırma Makalesi / Research Article</p> <p>Nevşehir İli Uygun Katı Atık Depolama Sahalarının Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci (BAHS) Yöntemlerinin Entegrasyonu ile Belirlenmesi</p> <p>Suitable Site Selection for Landfill with the Integration of Geographic Information Systems (GIS) and Fuzzy Analytical Hierarchy Process (FAHP) Methods in Nevşehir</p> <p>Süleyman Sefa BİLGİLİOĞLU, Cemil GEZGİN</p>	<p>045503 (836-849)</p>

İNŞAAT & ULAŞTIRMA / CIVIL ENGINEERING & TRANSPORTATION (56)

<p>Araştırma Makalesi / Research Article</p> <p>Mikrogrid Donatı ile Güçlendirilmiş Zeminde Dairesel Temel Taşıma Gücünün Deneysel Olarak İncelenmesi</p> <p>Experimental Investigation of the Circular Footing Bearing Capacity Rested on Microgrid Reinforced Soil</p> <p>Ömer YEŞİLTEPE, Mehmet Şerif KAHRAMAN, Yakup TÜREDİ, Murat ÖRNEK</p>	<p>045601 (850-857)</p>
<p>Araştırma Makalesi / Research Article</p> <p>Doğrusal Olmayan Analiz Yöntemi ile Belirlenen Sıvılaşma Riskinin Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak Haritalanması: Kütahya Örneği</p> <p>Liquefaction Risk Maps Determined By Nonlinear Analysis Method Using Geographical Information Systems: Kütahya Case</p> <p>İsmail ZORLUER, Sinan KABAK, Süleyman GÜCEK</p>	<p>045602 (858-872)</p>
<p>Araştırma Makalesi / Research Article</p> <p>Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018'de Bina Doğal Titreşim Periyodunun Belirlenmesi İçin Verilen Ampirik Formülün Donatısız Yığma Binalar İçin İrdelenmesi</p> <p>Examination of the Empirical Formula for Determining the Fundamental Natural Period of Buildings in Turkish Earthquake Code 2018 for Unreinforced Masonry Buildings</p> <p>Burak ÖZŞAHİN</p>	<p>045603 (873-892)</p>

Araştırma Makalesi / Research Article Alüminyum Dış Kafesli Burçlarda Yüzey Pürüzlülüğünün Çıkma Yüklerine Etkisi The Effect of Surface Roughness on Push-Out Force in Aluminum Outer Cage Bushings Murat GÜNEY, Cihan KABOĞLU	045701 (893-898)
Araştırma Makalesi / Research Article Sentetik Mika Takviyeli Poli-tetra-flor-etilen Polimer Kompozitin Tribolojik Özelliklerine Uygulanan Yükün ve Kayma Hızının Etkisinin Belirlenmesi Determination of the Effect of Applied Load and Sliding Speed on the Tribological Properties of Synthetic Mica Reinforced Poly-Tetra-Fluoro-Ethylene Polymer Composite Ahmet MASLAVİ, Hüseyin ÜNAL, Alim KAŞTAN	045702 (899-910)

Araştırma Makalesi / Research Article Uşak-Karahallı Mermerlerinin Fiziko-Mekanik Özelliklerinin Mineralojik-Petrografik Özellikleri ile Birlikte Değerlendirilmesi Evaluation of Physico-Mechanical Properties of Uşak-Karahallı Marbles with Their Mineralogical-Petrographic Properties Ayşe Nur ALPEREN, Haluk ÇELİK, Metin BAĞCI	045801 (911-924)
Araştırma Makalesi / Research Article Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde Rezervuar Kayacı Olan Dolomitlerin Kümelenmiş İzotop Sinyalleri Clumped Isotope Signatures of Dolomites as Reservoir Rocks, Southeast Anatolia Deniz ATASOY, Aylin GEÇER, Arzu AKTOSUN, Aynur GEÇER BÜYÜKUTKU	045802 (925-943)
Araştırma Makalesi / Research Article Atud (Mısır) Bölgesi'nde Bulunan Pan-African Temel Kayaçlarının Jeokimyasal Karakteristikleri Geochemical characteristics of the Pan-African basement rocks at Atud area, Central Eastern Desert, Egypt Demet KIRAN YILDIRIM, Amr ABDELNASSER	045803 (944-962)

Araştırma Makalesi / Research Article Atık Vişne Çekirdeği Piroolitik Yağın Dizel Motorlarda Alternatif Yakıt Olarak Kullanılabilirliği The Usability of Waste Sour Cherry Kernel Pyrolytic Oil as Alternative Fuel in Diesel Engines Arif Hakan YALÇIN, İbrahim MUTLU	045901 (963-971)
--	-------------------------

Aloe vera'nın *Saccharomyces cerevisiae* Gelişimi Üzerine Etkisinin Moleküler Biyolojik Yönden Araştırılması

Özlem GÖK^{1*}, Seda BEYAZ², Abdullah ASLAN³

^{1*}Fırat Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Moleküler Biyoloji ve Genetik Programı, Elazığ

²Fırat Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Moleküler Biyoloji ve Genetik Programı, Elazığ

³Fırat Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Moleküler Biyoloji ve Genetik Programı, Elazığ

Sorumlu yazar ¹e-posta: ozlemgok938@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8521-6369>

²e-posta: beyazseda23@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0436-8112>

³e-posta: aaslan@firat.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6243-4221>

Geliş Tarihi: 08.02.2022

Kabul Tarihi: 16.08.2022

Öz

Aloe vera (A. vera) tropikal, kuraklığa dayanıklı bir sukulent bir bitkidir. A. vera bitkisi, çeşitli gıdalarda besin takviyesi olarak ve kozmetik ürünlerinde bir bileşen olarak kullanılmaktadır. Anti-inflamatuar, anti-kanser, anti-oksidan, anti-diyabetik ve yara iyileşmesi gibi biyolojik aktivitelere sahiptir. Bu yüzden çalışmamızda A. vera jelinin sisplatin (Cis) kaynaklı *Saccharomyces cerevisiae* (S.cerevisiae) kültüründe oksidatif hasar üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışmamızdaki gruplarımız; Grup (1): Kontrol grubu; Grup (2): A. vera Grubu (%10); Grup (3): Cis Grubu (15 mM); Grup (4): A. vera (% 10) + Cis (15 mM) Grubu. Hücre gelişim ölçümleri, lipit peroksidasyonu malondialdehit (MDA) analizleri, glutatyon (GSH) seviyeleri ve katalaz (CAT) aktiviteleri spektrofotometre ile tespit edilmiştir. Total protein değişiklikleri SDS-PAGE elektroforezi ile belirlenmiş ve Bradford metodu ile hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre; S.cerevisiae kültürlerine ilave edilen A. vera jel hücre gelişimini (1, 3, 5 ve 24 saat), total protein sentezini (24 saat), GSH seviyelerini (24 saat) ve CAT aktivitelerini (24 saat) arttırdığı, MDA düzeyini (24 saat) azalttığı tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, A. vera jelinin S. cerevisiae kültüründe oksidatif hasarı azalttığını, protein sentezini teşvik ettiğini ve hücre büyümesini arttırmak için koruyucu bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir.

Anahtar kelimeler

Aloe vera; Sisplatin;
Hücre gelişimi; SDS-
PAGE; Protein

Molecular Biological Investigation of The Effect of *Aloe vera* on The Growth of *Saccharomyces cerevisiae*

Abstract

Aloe vera (A.vera) is a tropical, drought-resistant succulent plant. A. vera plant is used as a nutritional supplement in various foods and as an ingredient in cosmetic products. It has biological activities such as anti-inflammatory, anti-cancer, anti-oxidant, anti-diabetic and wound healing. Therefore, in our study, the effect of A. vera gel on oxidative damage in cisplatin (Cis)-derived *Saccharomyces cerevisiae* (S.cerevisiae) culture was investigated. Our groups in our study; Group (1): Control group; Group (2): A. vera Group (10%); Group (3): Cis Group (15 mM); Group (4): A. vera (10%) + Cis (15 mM) Group. Cell growth measurements, lipid peroxidation, malondialdehyde (MDA) analysis, glutathione (GSH) levels and catalase (CAT) activities were defined by spectrophotometer. Total protein varies were determined by SDS-PAGE electrophoresis and computed by the Bradford method. According to the conclusions obtained, A. vera gel added to S.cerevisiae cultures increased cell development (1, 3, 5 and 24 hours), total protein synthesis (24 hours), GSH levels (24 hours) and CAT activities (24 hours) it has been found to reduce the MDA level (24 hours). These conclusions indicate that A. vera gel decrease oxidative damage in S. cerevisiae culture, promotes protein synthesis and has a protecting effect to increase cell development.

Keywords

Aloe vera; Cisplatin;
Cell development; SDS-
PAGE; Protein

1. Giriş

Aloe vera (*A.vera*) *Aloe* cinsine ait bir bitki türüdür. Mısır'ın başlarında "ölümsüzlük bitkisi" olarak bilinen *A. vera* Çin, Mısır, Yunan, Japon ve Hint gibi farklı antik kültürlerde kullanılan geleneksel bitkisel ilaçtır. Buna ilave olarak Yunanlılar, Romalılar ve Babilliler dâhil olmak üzere çeşitli kültürler, *A. vera* yapraklarını özellikle cilt için bir merhem olarak kullanmışlardır. *A. vera* özlerinin anti-bakteriyel, anti-viral, anti-fungal, anti-inflamatuar, anti-mikrobiyal, immünomodülatör ve anti-kanser aktivitesinin yanı sıra bağışıklık düzenleyici ve hepatoprotektif özellikleri dâhil olmak üzere çeşitli terapötik etkileri bulunmaktadır (Guo ve Mei 2016, Gao vd. 2019). *A. vera* sayısız sağlık yararı sağlama konusunda uzun bir geçmişe sahiptir ve dünya çapında en sık kullanılan bitkisel ilaçlardan biridir. Kalın, yeşil veya gri ve yeşil etli, kılıç şeklinde yapraklara sahiptir. Yaprak kenarlarında üçgen şeklinde dikenler bulunmaktadır. Cilt problemleri (yaralar, röntgen ve radyum yanıkları ve sedef hastalığı), kabızlık, dış ve iç ülserler, hiperlipidemi, diyabet geniş bir hastalık ve rahatsızlık listesini ampirik olarak tedavi etmektedir. Çok sayıda faydalı etkisi nedeniyle yapraklarından elde edilen renksiz müsilajlı jel, müşil ilaçlar, kozmetikler ve yüz ve el kremleri, fondötenler, temizleyiciler, rujlar, güneş losyonları, şampuanlar ve saç tonikleri gibi fonksiyonel gıdalar yapmak için yükselen bir endüstri olmuştur (Guo ve Mei, 2016, Hes vd. 2019). Sisplatin (Cis)'nin merkezinde platin grubu içeren iki klor atomu ile amonyak grubundan oluşan basit bir bileşik sınıfıdır. Sarkomlar, akciğer, kaslar, kemikler ve kan damarları dâhil olmak üzere çeşitli kanser türlerinde güçlü sitotoksik ilaç olarak kullanılmaktadır. Cis oksidan stres oluşturmaktadır. *In vivo* ve *in vitro* olarak mitokondriyal bağımlı ve bağımsız yollar yoluyla hücrelerin apoptozunu arttırıp reaktif oksijen türleri üreterek oksidatif hasar oluşturmaktadır (Alsuhaibani 2018, Mapuskara vd. 2019).

Saccharomyces cerevisiae (*S. cerevisiae*) fermentatif gıdaların (ekmek), içeceklerin (bira, şarap, alkollü içkiler) ve biyoyakıtların üretiminde kullanılan tomurcuklanan bir mayadır. Ayrıca farmasötik ve diğer önemli biyokimyasal bileşiklerin üretimi için

bir hücre fabrikası olarak kullanılmaktadır (Belda vd. 2019). Tamamen sıralanmış genom, basit büyüme koşulları, kısa üreme süresi, maya ve insan genomu arasındaki benzerlikler sebebiyle yaygın olarak bir deney modeli olarak kullanılmaktadır (Tadorova vd. 2019). Bu nedenle bu çalışmada Cis ile oluşturulan oksidatif hasara karşı *A.vera* jelinin *S. cerevisiae* kültüründe bazı moleküler biyolojik ve biyokimyasal parametrelerle etkisi araştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Deney Grupları

Bu çalışmada *S. cerevisiae*'de Cis ile oluşturulan hasara karşı *A.vera* jelinin koruyucu etkisi araştırılmıştır. Çalışma gruplarımız; (1) Kontrol grubu; (2) *A.vera* Grubu (%10); (3) Cis Grubu (15 mM); (4) *A.vera* (% 10) + Cis (15 mM) Grubu.

2.2. *A.vera* Jeli ve Cis Uygulanması

S. cerevisiae kültürünün gelişim ortamı: *S. cerevisiae*'nin geliştirilmesi ve çoğaltılması için 7.5 g maya özütü, 7.5 g tripton ve 7.5 g glukoz eklenip 250 ml dH₂O'ya (YEPD) tamamlandı. 5 erlen alınarak erlenlerin her birine 250 ml'lik besiyeriden 50 ml eklendi. Otoklavda 121 °C de 1 saat bekletildi. Ardından soğutulma işlemi gerçekleştirildi. Bek alevi yanında her bir erlene 800 µl maya ekimi yapıldı. Etüvde 20 dk kadar bekletildikten sonra kör ölçümü yapıldı. %10'luk *A. vera* yaprak jeli hazırlanması için; 10 g *A.vera* jeli tartıldı. Ardından etüvden çıkarılan diğer erlenlere bek alevi yanında Cis ve *A.vera* yaprağı jeli eklendi. Grupların içeriğine göre *A.vera* yaprak jelinden 10 gr, Cis'den 0.15 gram eklenerek 30°C'de geliştirildi (Aslan vd., 2017).

2.3. *S. cerevisiae* Hücre Gelişimi Ölçümleri

Aslan vd. (2017) metoduna göre hücre gelişimi ölçümleri gerçekleştirildi.

2.4. SDS-PAGE için Protein İzolasyonu

1 saat, 3 saat, 5 saat ve 24 saat boyunca geliştirilen *S.cerevisiae* kültür örneklerinin SDS-PAGE protein izolasyonu Aslan vd. (2019b)'nin yöntemine göre yapıldı.

2.5. Sodyum Dodesil Sülfat–Poliakrilamid Jel Elektroforez (SDS-PAGE) Yöntemi

S. cerevisiae kültürlerinin protein örnekleri kuyulara yüklenmeden önce eşit miktarda SDS-PAGE SAB boyası eklendi ve 5 dakika kaynatıldı. Elektroforez için 1 x tank tamponu kullanıldı. Proteinlerin jeldeki hareketinin izlenmesi bromofenol mavisi boya ile sağlandı. Mavi bant, jelin sonuna gelinceye kadar 30 mA akım uygulanarak elektroforez yapıldı. Elektroforez sonrası jel, oda sıcaklığında Coommasie mavisi ile boyandı. Daha sonra jeldeki protein bantları görünür hale gelinceye kadar boya uzaklaştırıcı solüsyon ile yıkandı ve jel görüntülerindeki protein bantları incelendi (Laeemli 1970, Aslan vd. 2018).

2.6 Pelet ve Süpernatant Protein Yoğunluğu (Bradford) Ölçümleri

Farklı konsantrasyon aralıklarında BSA (bowin serum albümin) protein standartları elde edildi. BSA standart değere karşılık gelen pelet ve süpernatant örneklerinin toplam protein miktarı hesaplandı. Pelet ve süpernatant örneklerinin total protein yoğunlukları bradford yöntemine göre yapıldı. Spektrofotometre de 595 nm'de (OD₅₉₅) ölçümleri gerçekleştirildi (Aslan vd. 2019a, Beyaz vd. 2021a).

2.7. S. cerevisiae Malondialdehit (MDA) Analizi

MDA analizinde, kör tüpüne 0.5 ml saf su konuldu. Test deney tüpüne ise 0.5 ml örnek eklendikten sonra bütün deney tüplerine 2.5 ml % 20'lik trikloroasetik asit (TCA) ve 1 ml TBA (Tiyobarbutirk asit)'dan konuldu. Ardından 90 °C sıcaklıkta kaynar su banyosunda 30 dk beklendikten sonra soğutuldu. Üzerine 4 ml n-butanol-piridin karışımından eklenip vortekslendikten hemen sonra 3000 rpm'de 10 dakika santrifüj edildi. Bu işlem sonunda üstteki faz kısmı alınarak spektrofotometrede 532 nm dalga ölçüm yapıldı ve sonuçlar nmol/ml olarak kaydedildi (Aslan vd. 2018).

2.8. S. cerevisiae katalaz (CAT) Aktivite Tayini

CAT ölçümü gerçekleştirmek için bir kör tüpü ve bir örnek olmak üzere iki tüp hazırlandı. Kör ve örnek tüpüne 30 mM'lık H₂O₂'den 1.4 ml eklendi. Kör tüpüne 0.1 ml fosfat tamponu, örnek tüpüne ise 0.1

ml enzim eklendi. Spektrofotometre de 240 nm'de (OD₂₄₀) absorbansları okundu (Erol 2020).

2.9. S. cerevisiae glutatyon (GSH) Aktivite Ölçümü

1 ml kültür örneği alındı. Üzerine 0.4 ml %10 TCA solüsyonu eklendi. 3000 rpm' de 5 dakika santrifüj edildi ve süpernatant alındı. 0.1 ml süpernatant temiz bir tüp içine alındı. Üzerine 0.9 ml distile su, 2 ml 0,4M pH:8.9 Tris tamponu ve 0.1 ml 5,5'-dithiobis-(2-nitrobenzoic acid) (DTNB) solüsyonu eklendi. Spektrofotometre de 412 nm'de (OD₄₁₂) dalga boyunda okundu (Aslan vd. 2020d).

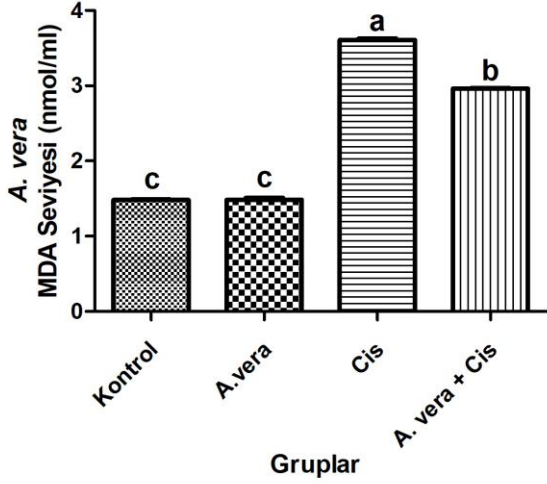
2.10. İstatistiksel Analizler

Çalışmamızın tüm istatistiksel analizleri için SPSS 22 paket programı kullanıldı. Gruplar içi farklılıkları belirlemek için istatistiksel analiz One Way Anova Post Hoc Tukey çoklu karşılaştırma testi uygulanarak belirlendi (p< 0.05).

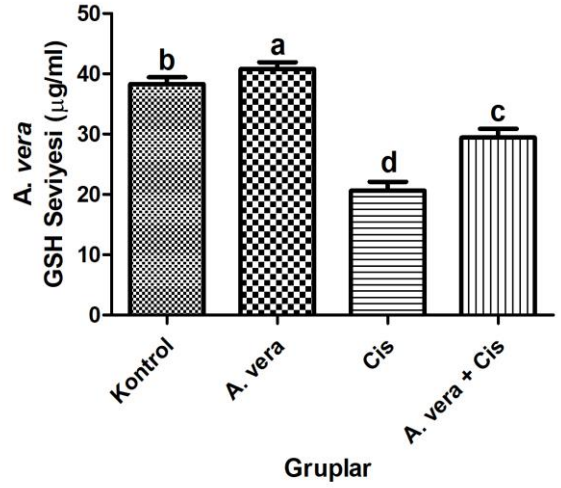
3. Bulgular ve Tartışma

A. vera, doğu ve güney Afrika'ya özgü, dünyanın daha sıcak bölgelerine yayılmış bir bitkidir. Tam güneş ışığında en iyi şekilde büyürler ve fazla su gerektirmezler. *A.vera* yaprakları keskin, pürüzlü kenarları olan mızrak şeklindedir. *A.vera* jeli, yara iyileşmesi, mantar önleyici, diyabet önleyici, iltihap önleyici, anti-kanser ve mide koruyucu özellikleri dahil olmak üzere biyolojik özelliklere sahiptir (Saad vd. 2021). Bu çalışmamızda *A.vera* jelinin *S.cerevisiae* kültüründe oksidatif hasara karşı koruyucu etkisi araştırılmıştır.

Şekil 1A'daki verileri incelediğimiz zaman *A.vera* + Cis gruplarında MDA düzeyinin azaldığı, Cis gruplarında ise MDA miktarının arttığı görülmüştür (p <0.05). Bu sonuçlar bize *A.vera* jelinin lipid peroksidasyonuna karşı koruyucu etkisi olduğunu göstermektedir.

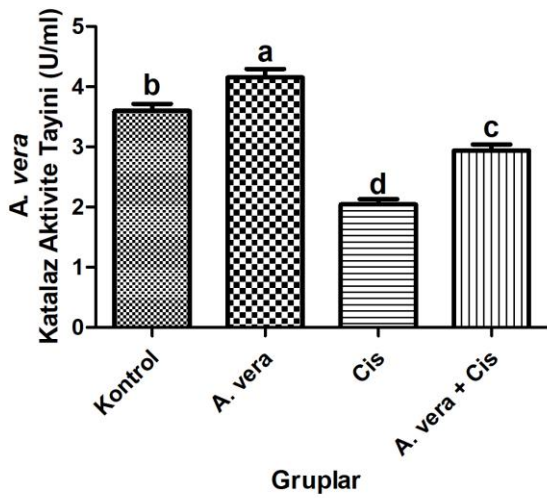


Şekil 1A. Gruplar arasındaki MDA seviyesi.



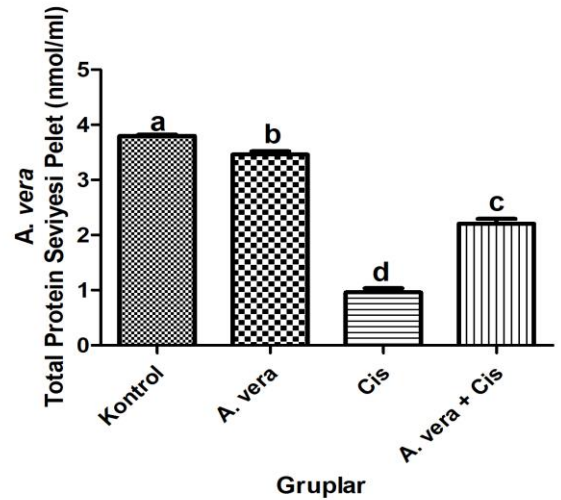
Şekil 1C. Gruplar arası GSH seviyeleri.

Bu çalışma sonucunda Cis grubuna göre A. vera + Cis grubunun CAT aktivitesinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Bununla beraber, CAT seviyeleri arasındaki fark, diğer tüm gruplarda istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p < 0.05$) (Şekil 1B). Çalışma sonucunda GSH düzeyi incelendiği zaman kontrol ve A.vera gruplarında GSH düzeyinin en yüksek, Cis grubunda ise en düşük olduğu bulunmuştur (Şekil 1C). GSH seviyesi ve CAT aktivitesinin artması bizlere A. vera jelinin antioksidan özelliğinin olduğunu ve S. cerevisiae'yi oksidatif hasara karşı koruduğunu göstermektedir.

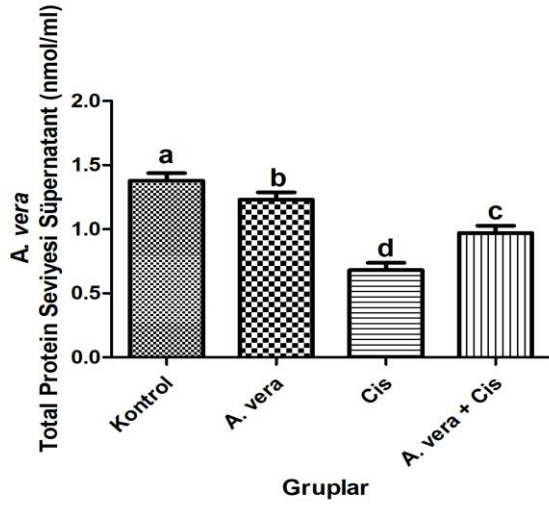


Şekil 1B. Gruplar arası CAT aktivite tayini.

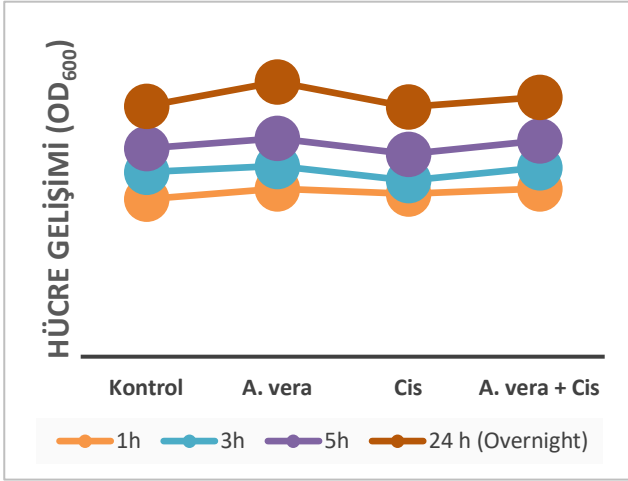
Şekil 1D'de pellet total protein sonuçları ve Şekil 1E'de süpernatant protein sonuçları incelendiğinde, A.vera jelinin S.cerevisiae'de protein sentezini arttırdığını söyleyebiliriz. Özellikle Cis grubu ile karşılaştırıldığı zaman A.vera + Cis grubunda protein sentezinin yüksek oranda arttığı görülmektedir. En düşük pellet ve süpernatant protein yoğunluğunun Cis grubunda olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar bizlere A.vera'nın koruyucu bir role sahip olduğunu göstermektedir.



Şekil 1D. Gruplar arası pellet protein yoğunlukları.



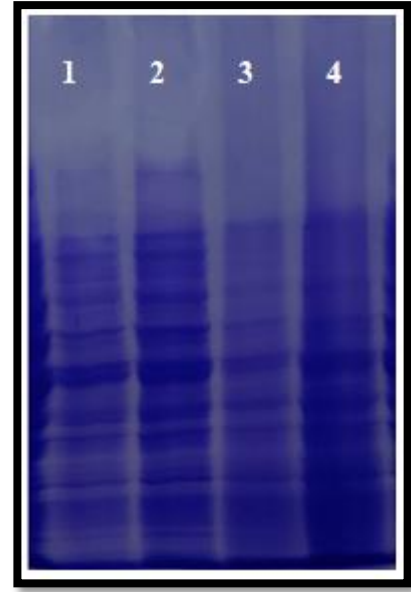
Şekil 1E. Gruplar arası süpernatant protein yoğunlukları.



Şekil 1F. *S. cerevisiae*'nin *A. vera* jelinde farklı saatlerdeki hücre gelişimi.

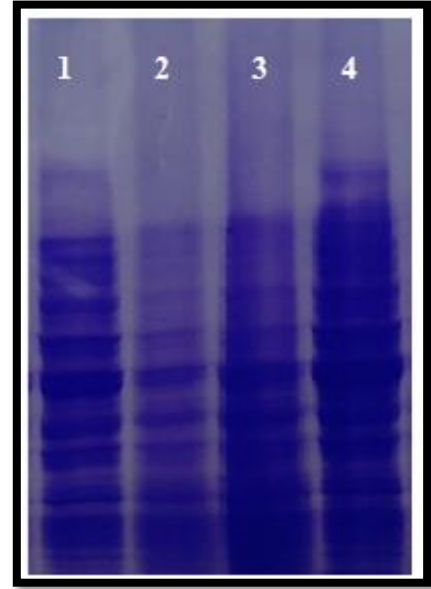
Şekil 1F'deki sonuçlar incelendiğinde, farklı saatlerdeki gelişme sürelerine bağlı olarak gruplar arasında istatistiksel olarak önemli bir fark bulunmaktadır ($p < 0.05$). Cis grubuna kıyasla *A. vera* jeli verilen gruplarda hücre büyümesinin zamana bağlı olarak arttığı belirlenmiştir. Cis grubunda hücre büyümesinin en düşük olduğu belirlenmiştir.

SDS-PAGE jel görüntüleri (süpernatant ve pelet) incelendiğinde ise Cis grubuna kıyasla *A. vera* jeli verilen gruplarda protein konsantrasyonunun zamana bağlı (24 saat) olarak önemli ölçüde arttığı görülmektedir. Bu çalışma sonucunda, *A. vera* jelinin Cis'in olumsuz etkilerine rağmen *S. cerevisiae* protein yoğunluğunu ve hücre gelişimini arttırdığı tespit edilmiştir (Şekil 2A ve Şekil 2B).



Şekil 2A. SDS-PAGE süpernatant protein bantları.

Bantlar: 1: Kontrol; 2: *A. vera*; 3: Cis 4: *A. vera* + Cis



Şekil 2B. SDS-PAGE pelet protein bantları.

Bantlar: 1 : Kontrol; 2: Cis; 3: *A. vera*; 4: *A. vera* + Cis

Shi vd. (2021) sodyum dekstran sülfat ile indüklenen sıçanlarda *A. vera* özü ile oral takviyenin ülseratif koliti iyileştirebileceğini belirtmişlerdir. *A. vera*'nın, inflamatuvar hücre sitokinleri bloke ederek anti-inflamatuvar etkiler gösterdiğini ifade etmişlerdir.

Bagherian vd. (2021) *A. vera* özütünün MCF-7 hücre hattında anti-apoptotik aktivitelere sahip olduğunu belirtmişlerdir. Oliveira vd. (2018) *A. vera* sulu ekstraktının *S. cerevisiae* suşlarında oksidan veya antioksidan potansiyelini değerlendirmişlerdir. Yüksek *A. vera* konsantrasyonunun mutajenite ve sitotoksosite gösterdiğini tespit etmişlerdir. İyileşme kapasitesinin anti-oksidatif savunma mekanizmasından kaynaklandığını belirtmişlerdir. Aslan vd. (2021a) Ellagik asit ile tedavi edilen grupta Nrf-2 ve kaspaz-3 protein ekspresyonları, CAT aktiviteleri ve GSH seviyelerinin arttığını, TNF- α , Bcl-2, NF- κ B, VEGF ve Akt protein ekspresyonları ve MDA seviyelerinin azaldığını tespit etmişlerdir. Kas dokusu üzerinde yaptıkları çalışmada ise TNF- α , COX-2, NF- κ B ve bcl-2 protein ekspresyonu ile MDA seviyelerinin azaldığını, GSH seviyeleri ve CAT aktivitelerinin arttığını tespit etmişlerdir (Aslan vd. 2020b). Beyaz vd., 2020; *Morus nigra* L. ve *Cornus mas* L. meyvelerinin hücre gelişimini ve total protein sentezini arttırırken, MDA düzeyini azalttığını belirtmişlerdir. Gok vd. (2021b) Ellagik asit'in mayalarda protein ekspresyonu ve hücre gelişim üzerindeki etkileri araştırmışlardır. Ellagik asit'in oksidatif hasarı azalttığını, hücre büyümesini arttırdığını ve maya kültüründe protein sentezini teşvik edici koruyucu etkiye sahip olduğunu ifade etmişlerdir. Teplicki vd. (2018) *A. vera*'nın fibroblast ve keratinosit proliferasyonunu güçlü bir şekilde teşvik edip hücre göçünü uyararak yara iyileşmesini hızlandırdığını belirtmişlerdir. Aslan vd. (2020c) ve Aslan vd. (2020d) sıçanlarda CCl₄'ün neden olduğu

beyin hasarına karşı ellagik asit'in koruyucu etkisi olduğunu; böbrek hasarına karşı da anti-oksidatif ve anti-inflamasyon etkileri olduğunu belirtmişlerdir. Beyaz vd. (2021a) H₂O₂ grubuna göre *Curcumin* gruplarında GSH seviyeleri artarken, MDA seviyesinin azaldığını belirtmişlerdir. Hassanshahi vd. (2020) sıçanlarda asetik aside bağlı ülseratif kolit üzerindeki *A. vera* jeli'nin iyileştirici etkisini araştırmışlardır. Histolojik olarak, *A. vera* jel tedavisinin ülseratif kolit oluşan kolon dokusu hasarlarını azalttığını ve iyileştirebildiğini belirtmişlerdir. Beyaz vd. (2021b) EGCG'nin anti-inflamatuvar, anti-oksidan ve anti-tümör ve çeşitli organların hasarına karşı koruyucu etkiye sahip olduğunu belirtmişlerdir. Gokce (2020) *Pistacia vera* bitkisinin fitokimyasal içerikleri ile *Saccharomyces cerevisiae* üzerinde antioksidan etkilerini araştırmışlardır. CCl₄ grubu ile karşılaştırıldığı zaman *Pistacia vera* ekstraktı verilen gruplarda GSH, CAT ve GSH-Px düzeylerinin arttığını, MDA düzeyinin azaldığını belirtmiştir. Beyaz vd. (2022) fulleren C₆₀ nanopartikülünün sıçanlarda meme kanseri üzerinde koruyucu ve tedavi edici etkisi olduğunu tespit etmişlerdir. Aslan vd. (2021b) Arı sütünün kalp hasarına karşı koruma sağladığını ve kalp hastalıklarının tedavisi için geliştirilebilme potansiyeline sahip olduğunu ifade etmişlerdir. Gok vd. (2021a) Cennet hurması yaprağının hücre büyümesini arttırdığını ve *S. cerevisiae* kültüründe protein sentezini teşvik edici koruyucu etkiye sahip olduğunu tespit etmişlerdir.

4. Sonuç

Bu sonuçlar, *A. vera*'nın *S. cerevisiae*'de hücre ölümüne karşı önleyici etkisini göstermektedir. Çalışmamızda, Cis eklenen gruplara kıyasla *A. vera* eklenen gruplarda CAT aktivite tayininin ve GSH düzeyinin arttığı, oksidatif stres belirteci olan MDA düzeylerinin ise anlamlı bir şekilde azaldığı belirlenmiştir. Elde ettiğimiz sonuçlar *A. vera*'nın oksidatif hasarı önemli ölçüde azalttığına ve böylece *S. cerevisiae* gelişimi üzerinde olumlu bir etki yarattığına inanıyoruz. Ayrıca bizi *S. cerevisiae* üzerindeki etkileri gibi insanlar üzerinde de benzer etkilere sahip olabileceğini düşündürmektedir.

Bilgi

Bu çalışmanın bazı sonuçları, International Marmara Sciences Congress Spring-2021 (21–22 Mayıs 2021, Kocaeli) de sözlü olarak sunulmuştur.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

5. Kaynaklar

- Alsuhaibani, A.M.A., 2018. Effect of *Nigella Sativa* against cisplatin induced nephrotoxicity in rats. *Italian Journal of Food Safety*, **7**, 7242.
- Aslan, A., Beyaz, S. ve Gök, Ö., 2019a. Domates ekstraktının *Saccharomyces cerevisiae*'de oluşturulan krom hasarına karşı koruyucu etkisi. *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, **12** (2), 1048-1055.
- Aslan, A., Beyaz, S., Gök, O. and Erman, O., 2020b. The effect of ellagic acid on caspase-3/bcl-2/Nrf-2/NF- κ B/TNF- α /COX-2 gene expression product apoptosis pathway: a new approach for muscle damage therapy. *Molecular Biology Reports*, **47** (4), 2573-2582.
- Aslan, A., Beyaz, S., Gök, O., Can, M.I., Erman, F. and Erman, O. 2021a. The impact of ellagic acid on some apoptotic gene expressions: a new perspective for the regulation of pancreatic Nrf-2/NF- κ B and Akt/VEGF signaling in CCl₄-induced pancreas damage in rats. *Immunopharmacology and Immunotoxicology*, **43** (2), 145-152.
- Aslan, A., Beyaz, S., Gök, O., Can, M.I., Parlak, G., Ozercan, I.H. and Gundogdu, R., 2021b. Royal jelly abrogates fluoride-induced oxidative damage in rat heart tissue by activating of the Nrf-2/NF- κ B and Bcl-2/Bax pathway. *Toxicology Mechanisms and Methods*, **31** (9), 644-654.
- Aslan, A., Gök, O. and Erman, O., 2017. The protective effect of kiwi fruit extract against to chromium effect on protein expression in *Saccharomyces cerevisiae*. *Progress in Nutrition*, **19** (4), 472-478.
- Aslan, A., Gök, O., Beyaz, S., Agca, C.A., Erman, O. and Zerek, A., 2020d. Ellagic acid prevents kidney injury and oxidative damage via regulation of Nrf-2/NF- κ B signaling in carbon tetrachloride induced rats. *Molecular Biology Reports*, **47** (10), 7959-7970.
- Aslan, A., Gök, O., Beyaz, S., Arslan, E., Erman, O. and Agca, C.A., 2020c. The preventive effect of ellagic acid on brain damage in rats via regulating of Nrf-2, NF- κ B and apoptotic pathway. *Journal of Food Biochemistry*, **44** (6), e13217.
- Aslan, A., Gök, O., Erman, O. and Kuloglu, T., 2018. Ellagic acid impedes carbontetrachloride-induced liver damage in rats through suppression of NF- κ B, Bcl-2 and regulating Nrf-2 and caspase pathway. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, **105**, 662-669.
- Aslan, A., Gök, Ö. and Beyaz, S., 2019b. Üzüm çekirdeği ekstraktının *Saccharomyces cerevisiae*'de oluşturulan hidrojen peroksit hasarına karşı koruyucu etkisi. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, **9** (4), 2216-2224.
- Bagherian, T., Tackallou, S.H. and Mohammadgholi, A., 2021. Quantitative measurement of Bax and Bcl2 genes and protein expression in MCF7 cell-line when treated by Aloe vera extract. *Gene Reports*, **23**, 101123.
- Belda, I., Ruiz, J., Santos, A., Van Wyk, N. and Pretorius, I.S., 2019. *Saccharomyces cerevisiae*. *Trends Genetics*, **35**, 956-7.
- Beyaz, S., Aslan, A., Gök, O., Uslu, H., Agca, C.A. and Ozercan, I.H., 2022. *In vivo*, *in vitro* and *in silico* anticancer investigation of fullerene C₆₀ on DMBA induced breast cancer in rats. *Life Sciences*, 120281.
- Beyaz, S., Dalkılıç, L.K., Gök, Ö. ve Aslan A. 2020. *Saccharomyces cerevisiae*'de hidrojen peroksit ile oluşturulan oksidatif hasara karşı karadut (*Morus nigra* L.) ve kıvılcık (*Cornus mas* L.)'in bazı moleküler biyolojik ve biyokimyasal parametreler üzerine etkisi. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, **9** (3), 1134-1144.
- Beyaz, S., Gök, O. and Aslan, A., 2021a. The determination of the effect of Curcumin on *Saccharomyces cerevisiae* totally protein expression changes and cell growth. *Progress in Nutrition*, **23** (1), 1-10.
- Beyaz, S., Gök, O., Can, M.I. and Aslan, A., 2021b. The protective effects of epigallocatechin-3-gallate (EGCG) on hydrogen peroxide-induced oxidative damages in *Saccharomyces cerevisiae*. *Progress in Nutrition*, **23** (2), 1-11.
- Erol, C., 2020. Akut romatizmal ateşli hastalarda serum malondialdehit asit, superoksit dismutaz, katalaz, redükte glutatyon ve glutatyon peroksidaz aktivitelerinin incelenmesi. *Uzmanlık Tezi*, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van, 114.
- Gao, Y., Kuok, K. I., Jin, Y. and Wang, R., 2019. Biomedical applications of Aloe vera. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, **59** (1), 244-256.
- Gök, O., Beyaz, S. and Aslan, A., 2021b. Biological and oxidative effect of ellagic acid on *Saccharomyces cerevisiae*: A new way for culture developing. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, **64**, 1-11.

- Gok, O., Beyaz, S., Erman, F. and Aslan, A., 2021a. Does persimmon leaf have a protective effect against oxidative damage caused by chromium in *Saccharomyces cerevisiae*?. *Progress in Nutrition*, **23** (2), 1-8.
- Gokce, Z., 2020. The protective effect of Pistacia vera L.(Pistachio) against to carbon tetrachloride (CCl4)-induced damage in *Saccharomyces cerevisiae*. *Progress in Nutrition*, **22** (4), e2020077.
- Guo, X. and Mei, N., 2016. *Aloe vera*: A review of toxicity and adverse clinical effects. *Journal of Environmental Science and Health, Part C*, **34** (2), 77-96.
- Hassanshahi, N., Masoumi, S. J., Mehrabani, D., Hashemi, S.S. and Zare, M., 2020. The healing effect of aloe vera gel on acetic acid-induced ulcerative colitis in rat. *Middle East Journal of Digestive Diseases*, **12** (3), 154.
- Hes, M., Dziedzic, K., Górecka, D., Jędrusek-Golińska, A. and Gujska, E., 2019. Aloe vera (L.) webb.: Natural sources of antioxidants—a review. *Plant Foods for Human Nutrition*, **74** (3), 255-265.
- Laemmli, U.K., 1970. Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4. *Nature*, **227**, 680-685.
- Mapuskara, K.A., Wenb, H., Holandac, D.G., Rastogic, P., Steinbachb, E., Hanb, R., Colemand, M.C., Attanasioe, M., Rileyf, D.P., Spitzg, D.R., Allena, B.G. and Orozco, D.Z., 2019. Persistent increase in mitochondrial superoxide mediates cisplatin-induced chronic kidney disease, *Redox Biology*, **20**, 98-106.
- Oliveira, A.C.L., Tabrez, S., Shakil, S., Khan, M.I., Asghar, M.N., Matias, B.D., Silva Batista, J.M.A., Rosal, M.M., Fulgencio de Lima, M.M.D., Gomes, S.B.R.F., Carvalho, R.M., Moraes, G.P., Barros de Alencar, M.V.O., Islam, M.T. and Melo-Cavalcante, A.A.C., 2018. Mutagenic, antioxidant and wound healing properties of aloe vera. *Journal of Ethnopharmacology*, **227**, 191-197.
- Saad, F., Mohamed, A.L., Mosaad, M., Othman, H.A. and Hassabo, A.G., 2021. Enhancing the rheological properties of aloe vera polysaccharide gel for use as an eco-friendly thickening agent in textile printing paste. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, **2**, 100132.
- Shi, G., Jiang, H., Feng, J., Zheng, X., Zhang, D., Jiang, C. And Zhang, J., 2021. Aloe vera mitigates dextran sulfate sodium-induced rat ulcerative colitis by potentiating colon mucus barrier. *Journal of Ethnopharmacology*, **279**, 114108.
- Teplicki, E., Ma, Q., Castillo, D.E., Zarei, M., Hustad, A.P., Chen, J. and Li, J., 2018. The effects of aloe vera on wound healing in cell proliferation, migration, and viability. *Wounds: A compendium of clinical Research and Practice*, **30** (9), 263-268.
- Todorova, T., Miteva, D. and Chankova, S., 2019. DNA susceptibility of *Saccharomyces cerevisiae* to Zeocin depends on the growth phase. *International Microbiology*, **22** (4), 419-428.

AKÜ FEMÜBİD 22 (2022) 041002 (711-718)

AKU J. Sci. Eng. 22 (2022) 041002 (711-718)

DOI: 10.35414/ akufemubid.1115550

Araştırma Makalesi / Research Article

Survey on Methicillin Resistance and Panton Valentine Toxin of *Staphylococcus aureus* Strains Isolated from Raw Milk and Ice Cream: Molecular Study by Multiplex PCR

Erdogan GUNES¹, Ahmet UYSAL², Yusuf DURAK¹¹ Department of Biology, Science Faculty, Selcuk University, Konya, Turkey² Department of Medicinal Laboratory, Vocational School of Health Services, Selcuk University, Konya, TurkeyCorresponding author's e-mail: erdogangunes@selcuk.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2833-5710>ahuysal@selcuk.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9297-4050>ydurak53@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0511-9575>

Geliş Tarihi: 11.05.2022

Kabul Tarihi: 07.07.2022

Abstract

Staphylococcus aureus is a very important pathogenic bacterium that causes nosocomial and community-acquired infections in humans, and is also one of the leading pathogens that causes food-borne poisoning. The presence of *S. aureus* in raw milk and dairy products, and especially the presence of MRSA (Methicillin Resistance *S. aureus*) strains, poses a potential risk to public health. The aim of this study was to investigate the presence of methicillin resistance and Panton-Valentine Leucocidin (PVL) toxin in *Staphylococcus aureus* isolated and identified from raw milk and ice cream in Konya (Turkey) by multiplex PCR method. A total of 55 *S. aureus* were isolated 49 (18%) from 260 raw milk samples collected from various farms and 6 (4%) from 150 ice cream samples sold in patisseries. The obtained isolates were identified as *S. aureus* with conventional and genotypic methods. Multiplex PCR was performed to detect the 16S rRNA, *mecA*, *femA* and *lukS* genes. While no *mecA* gene was detected in any of the 49 *S. aureus* isolates obtained from raw milk samples, the presence of *mecA* gene was observed in one of the 6 *S. aureus* isolates isolated from ice cream samples. The PVL gene was not detected in any of the *S. aureus* isolates studied. *S. aureus* contamination is common in raw milk samples and ice cream samples. In order to avoid this, it is necessary to comply with the hygiene conditions and increase the precautions even more.

Keywords

MRSA; Panton-Valentine Leucocidin; *lukS*; *mecA*; Dairy Products

Çiğ Süt ve Dondurmadan İzole Edilen *Staphylococcus aureus* Suşlarının Metisilin Direnci ve Panton Valentine Toksini Üzerine Araştırma: Multiplex PCR ile Moleküler Çalışma

Öz

Staphylococcus aureus insanlarda hastane ve toplum kökenli enfeksiyonlara neden olan çok önemli bir patojen bakteridir ve aynı zamanda gıda kaynaklı zehirlenmelere neden olan patojenlerin başında gelmektedir. Çiğ süt ve süt ürünlerinde *S. aureus* ve özellikle MRSA (Metisilin Direnli *S. aureus*) suşlarının varlığı halk sağlığı için potansiyel bir risk oluşturmaktadır. Bu çalışmanın amacı, Multiplex PCR yöntemiyle, Konya'da (Türkiye) çiğ süt ve dondurmadan izole ve tanımlanmış *Staphylococcus aureus* larda metisilin direnci ve Panton-Valentine Lökosidin (PVL) toksini varlığının araştırılmasıdır. Çeşitli çiftliklerden toplanan 260 çiğ süt örneğinden 49 (%18) ve pastanelerden toplanan 150 dondurma örneğinden 6 (%4) adet olmak üzere toplam 55 *S. aureus* izole edildi. Elde edilen izolatlar, konvansiyonel ve genotipik yöntemlerle *S. aureus* olarak tanımlandı. 16S rRNA, *mecA*, *femA* ve *lukS* genlerini saptamak için multiplex PCR yapıldı. Çiğ süt örneklerinden elde edilen 49 *S. aureus* izolatinin hiçbirinde *mecA* geni saptanmazken, dondurma örneklerinden izole edilen 6 *S. aureus* izolatından birinde *mecA* geni varlığı belirlendi. PVL geni, çalışılan *S. aureus* izolatlarının hiçbirinde saptanmadı. *S. aureus* kontaminasyonu çiğ süt numunelerinde ve dondurma numunelerinde oldukça yaygındır. Bu kontaminasyonun önüne geçebilmek için hijyen koşullarına uyulması ve önlemlerin daha da artırılması gerekmektedir.

Anahtar kelimeler

MRSA; Panton-Valentine Lökosidin; *lukS*; *mecA*; Süt Ürünleri

1. Introduction

Staphylococcus aureus, belonging to the Micrococcaceae family, is a Gram-positive, facultative anaerobic, non-spore-forming, non-motile, catalase-positive bacterium. It is naturally found in the upper respiratory tract and skin of humans and animals microbiota (Issa and Aksu 2020, Kramer *et al.* 1989). Some strains of *Staphylococcus aureus* are highly pathogenic and can cause various diseases in humans and animals. A significant public health problem related to staphylococcal infections in recent years is the widespread use of antimicrobials in human and veterinary medicine, as well as in animal husbandry and other agricultural activities. As a result of the excessive use of antimicrobial agents, the number of *S. aureus* strains with drug resistance is increasing day by day. (Riva *et al.* 2015, Titouche *et al.* 2019). Methicillin-resistant *S. aureus* (MRSA) strains are very important due to their high morbidity and mortality. The presence of the *mecA* gene, which encodes a modified penicillin-binding protein (PBP2a) with low affinity for β -lactams is responsible for the methicillin and antibiotic resistance to other beta-lactam groups antibiotics. The *mecA* gene is localized on a mobile genetic element called the staphylococcal cassette chromosome *mec* (SCC*mec*) (Titouche *et al.* 2019, Visciano *et al.* 2014).

S. aureus is one of the most common food-borne pathogens and is the leading reason of food-related epidemics worldwide (Paterson *et al.* 2012). MRSA causes mastitis in livestock and can contaminate milk and dairy products. Mastitis adversely affects the health of the animal and also reduces the quantity and quality of milk production. However in recent years, it has become quite worrying that methicillin resistance can be transferred to humans through the consumption of these products (Asiimwe *et al.* 2017, Fagundes *et al.* 2010, Keyvan *et al.* 2020). Raw milk is an ideal reservoir for the development of microorganisms. Milk and dairy products produced under non-hygienic conditions play an important role in food poisoning and epidemics (Fagundes *et al.* 2010, Zeconi and Hahn 1999). *S. aureus* threatens human and animal health by the enzymes and toxins it produces, such as toxic

shock syndrome toxin-1 (TSST-1), staphylococcal enterotoxin (SE) and Panton-Valentine leukocidin (PVL) (Wang *et al.* 2018). PVL is an important virulence factor, causing lysis by forming pores with its cytolytic effect on basophil leukocytes, monocytes and macrophages. Consequently PVL has a vital role of escaping *S. aureus* from the immune system. The clinical course of infections due to PVL positive *S. aureus* strains is more vigorous than PVL negative strains (Duman and Otlu 2013, Löffler *et al.* 2010). The main goal of the study was to define the presence of methicillin resistance and PVL toxin in *S. aureus* strains isolated and identified from raw milk and ice cream in Konya by multiplex PCR method.

2. Materials and Methods

2.1 Samples

In April 2014 -September 2015 periods, 260 milk samples from the milk producers in the center of Konya and its surroundings, and 150 ice cream samples sold in the local markets and patisseries in the city center were collected. Samples were stored in sterile plastic collection containers, transported to the laboratory with ice coolers (4-8 °C) and analyzed the same day.

2.2 Isolation and identification of *S. aureus*

Raw milk and ice cream samples (0.1 ml) were plated on Baird Parker agar (Merck) supplemented with egg yolk and tellurite emulsion (Merck) and Mannitol salt agar phenol red (Merck). Colonies forming a yellow halo in Mannitol salt agar phenol red medium were suspected to be *S. aureus*. Also, colonies on Baird Parker agar surrounded by grey to black (potassium tellurite reaction) and clear areas (egg yolk reaction) were considered to be *S. aureus*. Colonies suspected of being *S. aureus* were subjected to the following tests: coagulase test, catalase reaction, Gram staining and β hemolysis. *S. aureus* ATCC 25923 (MSSA), *S. aureus* ATCC 29213 (MSSA), *S. aureus* ATCC 43300 (MRSA) and *S. epidermidis* NRLL B-4268 strains used as control strains were obtained from the Microbiology Research Laboratory of the Biology Department of the Faculty of Science, Selcuk University.

2.3. Multiplex PCR Assay

DNA extraction from *S. aureus* isolates was conducted using a commercial DNA extraction kit (Thermo Scientific Genejet Genomic DNA Purification Kit) as recommended by the manufacturer. Genotypic identification of the isolates was determined using specific primers for the *Staphylococcus* genus-specific 16S rRNA gene region and the *S. aureus* specific *femA* gene region (Table 1). In addition, the *mecA* gene region was used to identify the methicillin resistance and the *lukS* gene region was used to determine the pvl gene of *S. aureus* isolates. The method of multiplex PCR described by Al-Talib *et al.* (2009) was used with several modifications. These region-specific primers are given in Table 1. PCR amplification for a sample was prepared in a total volume of 50 µl. For each sample, 5 µl DNA polymerase buffer (10x), 4 µl MgCl₂ (25 mM), 1.5 µl dNTP (10mM), 4 µl BSA (100x), 1.5 µl Taq polymerase (5µl), 1 µl reverse and forward primers (20mM) and 3 µl of DNA (200ng / µl) were added and finally the desired volume was prepared with ultrapure water. The PCR was carried out using a Mastercycler Gradient (Thermo) with one cycle of initial denaturation at 94°C for 3 min, 30 cycles of denaturation at 94°C for 30 s, annealing for 30 s at 60°C, and extension at 72°C for 30 s, followed by an extra cycle of annealing at 60°C for 30 s, and a final extension at 72°C for 5 min. The PCR products were analyzed by electrophoresis on 1.5% low EEO agarose gels, with ethidium bromide at 100 V for 75 min. PCR products were visualized under UV illumination and photographed using an image analyzer (BioRad).

Table 1. Primer sequences, target gene region and amplicon sizes used in multiplex PCR (Al-Talib *et al.* 2009).

Primers	Primer sequences 5'- 3'	Target Gene	Amplicon size (bp)
16S rRNA-F	GCAAGCGTTATCCGGATTT	16S rRNA	597 bp
16S rRNA-R	CTTAATGATGGCAACTAAGC		
<i>femA</i> -F	CGATCCATATTTACCATATCA	<i>femA</i>	450 bp
<i>femA</i> -R	ATCACGCTCTCGTTTAGTT		
<i>mecA</i> -F	ACGAGTAGATGCTCAATATAA	<i>mecA</i>	293 bp
<i>mecA</i> -R	CTTAGTTCCTTAGCGATTGC		
<i>lukS</i> -F	CAGGAGGTAATGGTTCAATT	<i>lukS</i>	151 bp
<i>lukS</i> -R	ATGTCCAGACATTTACCTAA		

3. Results

In our study, 260 raw milk samples and 150 ice cream samples were examined in terms of *S. aureus* carrier. According to the data we obtained as a result of phenotypic and genotypic tests; a total of 55 *S. aureus* were isolated from 49 (18%) raw milk samples and 6 (4%) ice cream samples (Table 2). Multiplex PCR was successfully optimized to simultaneously identify 16S rRNA for *Staphylococcus*, *femA* specific for *S. aureus*, *mecA* for methicillin resistance, and *lukS* for PVL toxin. In the multiplex PCR method, 16S rRNA and *femA* gene regions were determined in all 55 *S. aureus* isolates, which were defined by phenotypic methods (Figure 1 and 2). Also, *mecA* gene was not determined in any of the 49 *S. aureus* isolates obtained from raw milk samples, in contrast the *mecA* gene was detected in one of the 6 *S. aureus* isolates (GS 55: ice cream isolate) isolated from ice cream samples. Therefore, only one (1.8%) of 55 foodborne *S. aureus* isolates was detected as MRSA. Furthermore, It was determined that none of the 55 *S. aureus* strains isolated from raw milk and ice cream samples harbored the gene encoding PVL (Figure 1 and 2).

Table 2. Total number of food samples and *S. aureus* isolates.

Sample type	Total number of samples	Total number of <i>S. aureus</i> isolates
Raw milk	260	49 (%18)
Ice cream	150	6 (%4)

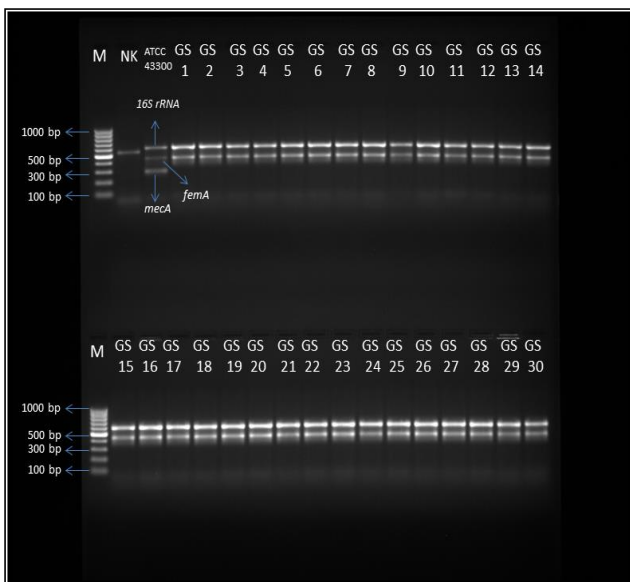


Figure 1. Multiplex PCR assay profile with *S. aureus* isolates and reference strains (Respectively M: Marker, NK: Negative control *S. epidermidis* NRRL B-4268, *S. aureus* ATCC 43300 (MRSA), GS 1-30: *S. aureus* isolates isolated from raw milk)

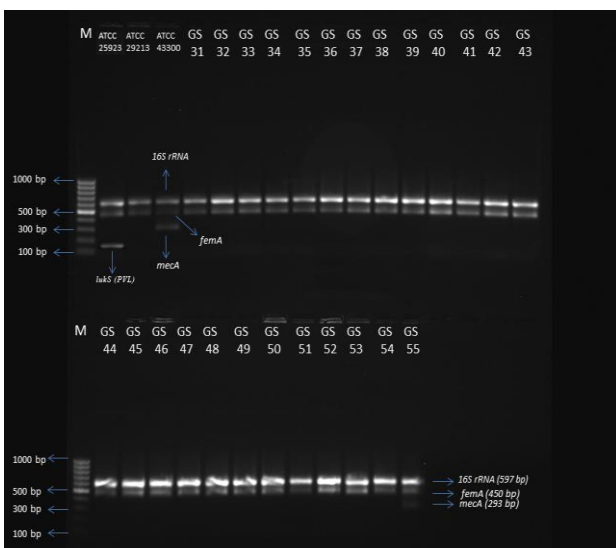


Figure 2. Multiplex PCR assay profile with *S. aureus* isolates and reference strains (Respectively M: Marker, *S. aureus* ATCC25923 (MSSA), *S. aureus* ATCC29213 (MSSA), *S. aureus* ATCC 43300, GS 31-49: *S. aureus* isolates isolated from raw milks, GS 50-55: *S. aureus* isolates isolated from ice creams)

4. Conclusion and Discussion

S. aureus is a very important pathogenic bacterium that causes nosocomial and community-acquired infections in humans, and is also one of the leading pathogens that cause foodborne poisoning. MRSA isolates that emerged shortly after the introduction of methicillin have become a growingly important

health problem in Turkey and all over the world in recent years, as they increase mortality and morbidity in patients with MRSA infection (Ichiyama *et al.* 1991, Riva *et al.* 2015). The presence of *S. aureus* and especially MRSA strains in raw milk and dairy products and the possibility of spreading these microorganisms by consuming these foods are important for public health (McKay 2008). Although the role of food in MRSA infections in humans today is of secondary importance, it should not be ignored that these strains can evolve rapidly and their virulence and contagiousness can change (Riva *et al.* 2015). Due to these changing characteristics, MRSA strains may have the potential to be easily transmitted from animals to humans. Our study aimed to determine the presence of methicillin resistance gene and PVL toxin in *S. aureus* strains isolated from raw milk and ice cream samples by multiplex PCR method.

There are different studies conducted on this subject in our country. Issa and Aksu (2020) determined the rate of *S. aureus* as 29.31% in their research on raw milk samples. They identified only one of the isolated *S. aureus* strain as MRSA. The rate of *S. aureus* in raw milk detected in our study (18%) is lower than the rate found by the researchers, and methicillin resistance was not detected in any of these strains. Aydın *et al.* (2011) detected *S. aureus* strain in 31 (10.2%) of 303 raw samples collected in the Marmara region. In our study, *S. aureus* strain was detected in 49 (18%) of 260 raw milk samples. The rate we found is higher than the rate found by the researchers. When we examined different studies on the prevalence of *S. aureus* in raw milk in our country, the rates of *S. aureus* strains detected in raw milk were reported as 14%, 33.3%, 35% and 64% (Ertas and Gönülalan 2010, Guven *et al.* 2010, Yildirim *et al.* 2019, Yücel and Anil 2011). In another study conducted with multiplex PCR, the prevalence of *S. aureus* was defined as 75 % (Gücükoğlu *et al.* 2012). Comparing with our rates, the results the researchers found were quite high. The different rates reported in studies suggest that milking conditions and the hygienic quality of milk may differ. In the presented study, methicillin resistance was not detected in any of the *S. aureus* strains isolated from raw milk.

Similarly, Can *et al.* (2017) and Ektik *et al.* (2017) did not detect methicillin resistance in *S. aureus* strains isolated from raw milk in their studies.

Similar studies were also conducted in other countries. In a study performed in Brazil, 18 (7.3%) *S. aureus* strains were isolated from 245 raw milk samples (Fagundes *et al.* 2010). In another study presented in Brazil, 20 (4%) *S. aureus* was isolated from 473 milk samples and no *mecA* gene was determined in any isolates (Martins *et al.* 2015). Similarly, 143 raw milk samples were collected in Mozambique and 58 (41%) *S. aureus* was isolated. They found that only 2 (3%) of the isolates were MRSA (Nhatsave *et al.* 2021). Again, the prevalence of *S. aureus* was reported as % 19.8 in India, 21% in Iran, 32.5 % in Poland 41% in China and 53.5% in Italy (Giacinti *et al.* 2017, Korpysa-Dzirba and Osek 2011, Nazari *et al.* 2014, Sharma *et al.* 2017, Wang *et al.* 2018).

In our presented study, 6 (4%) *S. aureus* was isolated from 150 samples of ice cream and only one strain was *mecA* positive. In some studies carried out with ice cream in our country, different rates of *S. aureus* strains were detected (Ağaoğlu and Alemdar 2004, Keskin *et al.* 2007). In a study conducted in Istanbul, 101 ice cream samples sold in markets were collected and *S. aureus* was isolated in 66 (65.3%) of these samples (Ede 2016). This reported rate is quite high compared to the rate we found in our study (4%). In the study of Gücükoğlu *et al.* (2012), the presence of *mecA* gene was reported in only one of 35 *S. aureus* isolated from ice creams. Similarly, the presence of *mecA* gene was determined in only one isolate in our study. In a study conducted in China on ice creams, *S. aureus* was detected in 13 (5.4%) of 240 ice cream samples, and also the *mecA* gene was determined in two of these isolates (Zhang *et al.* 2021). Our rates are consistent with the researchers' results. In another study performed in Egypt, *S. aures* was isolated in 15 of 100 ice cream samples and the *mecA* gene was determined in 10 of these isolates (Samir *et al.* 2018). Foods that are sold in the open area, especially ice cream, which is consumed a lot in the summer season, threaten human health. Detection of *S. aureus* in ice creams may have been due to faulty pasteurization of raw milk used in ice cream production, use of

contaminated tools and equipment, and inadequate personnel hygiene. The fact that ice cream production in our country is mainly in the form of patisserie ice cream and selling of these ice creams in the open area causes an increase in the risk of contamination (Ağaoğlu and Alemdar 2004).

In our study, no PVL gene was detected in any of the food samples. Similarly, in the study of Riva *et al.* (2015) in Italy with raw milk samples, the PVL gene was not detected in any of the isolated *S. aureus*. In other studies on foods, similar to our results, no PVL gene was detected in any *S. aureus* isolate (Alizadeh and Amini 2015, Bonsaglia *et al.* 2018, Titouche *et al.* 2019). However, PVL rates of 4.1% and 14% have been reported in some studies (Basanisi *et al.* 2017, Nhatsave *et al.* 2021). The spread of PVL-positive strains, which have high morbidity and mortality, in food may pose significant risks to public health. Therefore, It is pleasing that no PVL positive strains were found in our study.

In conclusion, *S. aureus* strains were isolated from raw milk and ice cream samples, and the presence of *mecA* and PVL genes was determined in these isolates by the multiplex PCR method in our study. The presence of *S. aureus* in raw milk and dairy products, and especially the presence of MRSA strains, poses a potential risk for food poisoning. *S. aureus* contamination is common in raw milk samples and ice cream samples. In order to prevent this, we believe that it would be appropriate to comply with the hygiene conditions and to increase the precautions even more. Particular attention should be paid to both hygiene and the cold chain, especially in the stages from milking to the end consumer. Ice creams should be bought from reliable places and it is recommended to avoid the consumption of ice creams sold in the open area, if possible.

Acknowledgement

We would like to thank Selcuk University Scientific Research Projects Coordinating Office (BAP) for supporting this project financially (Project No: 14101021).

5. References

- Ağaoğlu, S. and Alemdar, S., 2004. Van'da tüketime sunulan dondurmalarda bazı patojenlerin varlığının araştırılması, *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, **15 (1)**, 59-64.
- Al-Talib, H., Yean, C. Y., Al-Khateeb, A., Hassan, H., Singh, K.-K. B., Al-Jashamy, K. and Ravichandran, M., 2009. A pentaplex PCR assay for the rapid detection of methicillin-resistant Staphylococcus aureus and Panton-Valentine Leucocidin, *BMC microbiology*, **9 (1)**, 1-8.
- Alizadeh, S. and Amini, K., 2015. Determining the presence of virulence genes panton valentine leukocidin Pvl and methicillin resistance Gene mecA in Staphylococcus aureus strains isolated from food samples by multiplex PCR and antibiotic resistance, *Journal of food microbiology*, **2 (1)**, 49-58.
- Asiimwe, B. B., Baldan, R., Trovato, A. and Cirillo, D. M., 2017. Prevalence and molecular characteristics of Staphylococcus aureus, including methicillin resistant strains, isolated from bulk can milk and raw milk products in pastoral communities of South-West Uganda, *BMC Infectious Diseases*, **17 (1)**, 1-8.
- Aydin, A., Sudagidan, M. and Muratoglu, K., 2011. Prevalence of staphylococcal enterotoxins, toxin genes and genetic-relatedness of foodborne Staphylococcus aureus strains isolated in the Marmara Region of Turkey, *International journal of food microbiology*, **148 (2)**, 99-106.
- Basanisi, M., La Bella, G., Nobili, G., Franconieri, I. and La Salandra, G., 2017. Genotyping of methicillin-resistant Staphylococcus aureus (MRSA) isolated from milk and dairy products in South Italy, *Food Microbiology*, **62**, 141-146.
- Bonsaglia, E., Silva, N., Rossi, B., Camargo, C., Dantas, S., Langoni, H., Guimarães, F., Lima, F., Fitzgerald, J. and Júnior, A. F., 2018. Molecular epidemiology of methicillin-susceptible Staphylococcus aureus (MSSA) isolated from milk of cows with subclinical mastitis, *Microbial pathogenesis*, **124**, 130-135.
- Can, H. Y., Elmalı, M. and Karagöz, A., 2017. Molecular typing and antimicrobial susceptibility of Staphylococcus aureus strains isolated from raw milk, cheese, minced meat, and chicken meat samples, *Korean journal for food science of animal resources*, **37 (2)**, 175.
- Duman, Y., Tekerekoğlu, M. S. and Otlı, B., 2013. Toplum ve hastane kökenli Staphylococcus aureus klinik izolatlarında Panton-Valentine lökositinin varlığının ve klonal ilişkisinin araştırılması, *Mikrobiyol Bul*, **47 (3)**, 389-400.
- Ede, E., 2016. İstanbul ilinde açıkta satılan dondurmaların koagülaz pozitif staphylococcus aureus yönüyle incelenmesi, Yüksek lisans tezi, İstanbul Medipol Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 50.
- Ektik, N., Gökmen, M. and Çibik, R., 2017. The prevalence and antibiotic resistance of methicillin-resistant Staphylococcus aureus (MRSA) in milk and dairy products in Balıkesir, Turkey, *Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society*, **68 (4)**, 613-620.
- Ertaş, N. and Gönülalan, Z., 2010. Kayseri ilinde satılan çiğ sütlerde Staphylococcus aureus ve enterotoksinlerinin varlığı üzerine araştırmalar, *Fırat Üniversitesi Sağlık Bilimleri Veteriner Dergisi*, **24 (1)**, 11-15.
- Fagundes, H., Barchesi, L., Nader Filho, A., Ferreira, L. M. and Oliveira, C. A. F., 2010. Occurrence of Staphylococcus aureus in raw milk produced in dairy farms in São Paulo state, Brazil, *Brazilian Journal of Microbiology*, **41**, 376-380.
- Giacinti, G., Carfora, V., Caprioli, A., Sagrati, D., Marri, N., Giangolini, G., Amoroso, R., Iurescia, M., Stravino, F. and Dottarelli, S., 2017. Prevalence and characterization of methicillin-resistant Staphylococcus aureus carrying mecA or mecC and methicillin-susceptible Staphylococcus aureus in dairy sheep farms in central Italy, *Journal of Dairy Science*, **100 (10)**, 7857-7863.
- Güven, K., Mutlu, M. B., Gulbandilar, A. and Cakir, P., 2010. Occurrence and characterization of Staphylococcus aureus isolated from meat and dairy products consumed in Turkey, *Journal of Food Safety*, **30 (1)**, 196-212.
- Gücüköğlu, A., Onur Kevenk, T., Uyanık, T., Çadirci, Ö., Terzi, G. and Alişarlı, M., 2012. Detection of enterotoxigenic Staphylococcus aureus in raw milk and dairy products by multiplex PCR, *Journal of food science*, **77 (11)**, M620-M623.
- Ichiyama, S., Ohta, M., Shimokata, K., Kato, N. and Takeuchi, J., 1991. Genomic DNA fingerprinting by pulsed-field gel electrophoresis as an epidemiological marker for study of nosocomial infections caused by methicillin-resistant Staphylococcus aureus, *Journal of clinical microbiology*, **29 (12)**, 2690-2695.
- Issa, G. and Aksu, H., 2020. Detection of Methicillin-Resistant Staphylococcus aureus in Milk by PCR-Based Phenotyping and Genotyping, *Acta Veterinaria Eurasia*, **46 (3)**, 120-125.

- Keskin, Y., Başkaya, R., Özyaral, O. and Kıyan, P., 2007. Sade dondurmaların mikrobiyolojik incelenmesi, *Türk Mikrobiyoloji Cemiyeti Dergisi*, **37 (1)**, 51-58.
- Keyvan, E., Yurdakul, O., Demirtas, A., Yalcin, H. and Bilgen, N., 2020. Identification of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* in bulk tank milk, *Food Science and Technology*, **40**, 150-156.
- Korpysa-Dzirba, W. and Osek, J., 2011. Identification of genes encoding classical staphylococcal enterotoxins in *Staphylococcus aureus* isolated from raw milk, *Bulletin of the Veterinary Institute in Pulawy*, **1 (55)**.
- Kramer, J., Gilbert, R. and Doyle, M., 1989, Foodborne bacterial pathogens, by MP Doyle, Marcel Dekker, Inc., New York and Basel, 22-70.
- Löffler, B., Hussain, M., Grundmeier, M., Brück, M., Holzinger, D., Varga, G., Roth, J., Kahl, B. C., Proctor, R. A. and Peters, G., 2010. *Staphylococcus aureus* panton-valentine leukocidin is a very potent cytotoxic factor for human neutrophils, *PLoS pathogens*, **6 (1)**, e1000715.
- Martins, K. B., Faccioli-Martins, P. Y., Riboli, D. F. M., Pereira, V. C., Fernandes, S., Oliveira, A. A., Dantas, A., Zafalon, L. F. and Cunha, M. d. L. R. d. S. d., 2015. Clonal profile, virulence and resistance of *Staphylococcus aureus* isolated from sheep milk, *Brazilian Journal of Microbiology*, **46**, 535-543.
- McKay, A. M., 2008. Antimicrobial resistance and heat sensitivity of oxacillin-resistant, *mecA*-positive *Staphylococcus* spp. from unpasteurized milk, *Journal of Food Protection*, **71 (1)**, 186-190.
- Nazari, R., Godarzi, H., Baghi, F. R. and Moeinrad, M., 2014. Enterotoxin gene profiles among *Staphylococcus aureus* isolated from raw milk, *Iranian journal of veterinary research*, **15 (4)**, 409.
- Nhatsave, N., Garrine, M., Messa, A., Massinga, A. J., Cossa, A., Vaz, R., Ombi, A., Zimba, T. F., Alfredo, H. and Mandomando, I., 2021. Molecular Characterization of *Staphylococcus aureus* Isolated from Raw Milk Samples of Dairy Cows in Manhiça District, Southern Mozambique, *Microorganisms*, **9 (8)**, 1684.
- Paterson, G., Larsen, J., Harrison, E. M., Larsen, A. R., Morgan, F., Peacock, S. J., Parkhill, J., Zadoks, R. and Holmes, M. A., 2012. First detection of livestock-associated methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* CC398 in bulk tank milk in the United Kingdom, January to July 2012, *Eurosurveillance*, **17 (50)**, 20337.
- Riva, A., Borghi, E., Cirasola, D., Colmegna, S., Borgo, F., Amato, E., Pontello, M. M. and Morace, G., 2015. Methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* in raw milk: Prevalence, SCC mec typing, enterotoxin characterization, and antimicrobial resistance patterns, *Journal of Food Protection*, **78 (6)**, 1142-1146.
- Samir, H., Younis, W., Sultan, S. and Abd El-Azeem, M., 2018. Isolation of *Staphylococcus aureus* from ice-cream samples, *J Vet Ani Res*, **1**, 204.
- Sharma, V., Sharma, S., Dahiya, D. K., Khan, A., Mathur, M. and Sharma, A., 2017. Coagulase gene polymorphism, enterotoxigenicity, biofilm production, and antibiotic resistance in *Staphylococcus aureus* isolated from bovine raw milk in North West India, *Annals of clinical microbiology and antimicrobials*, **16 (1)**, 1-14.
- Titouche, Y., Hakem, A., Houali, K., Meheut, T., Vingadassalon, N., Ruiz-Ripa, L., Salmi, D., Chergui, A., Chenouf, N. and Hennekinne, J., 2019. Emergence of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) ST8 in raw milk and traditional dairy products in the Tizi Ouzou area of Algeria, *Journal of Dairy Science*, **102 (8)**, 6876-6884.
- Visciano, P., Pomilio, F., Tofalo, R., Sacchini, L., Saletti, M. A., Tieri, E., Schirone, M. and Suzzi, G., 2014. Detection of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* in dairy cow farms, *Food Control*, **46**, 532-538.
- Wang, W., Lin, X., Jiang, T., Peng, Z., Xu, J., Yi, L., Li, F., Fanning, S. and Baloch, Z., 2018, Prevalence and characterization of *Staphylococcus aureus* cultured from raw milk taken from dairy cows with mastitis in Beijing, China, *Frontiers in Microbiology*, **9**, 1123.
- Yildirim, T., Sadati, F., Kocaman, B. and Siriken, B., 2019. *Staphylococcus aureus* and Staphylococcal enterotoxin detection in raw milk and cheese origin coagulase positive isolates, *International Journal of Science Letters*, **1 (1)**, 30-41.
- Yücel, N. and Anıl, Y., 2011. Çiğ süt ve peynir örneklerinden *Staphylococcus aureus* ve koagülaz negatif stafilokokların identifikasyonu ve antibiyotik duyarlılığı, *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*, **68 (2)**, 73-78.
- Zecconi, A. and Hahn, G., 1999, *Staphylococcus aureus* in raw milk and human health risk, *International Dairy Federation*, **345**, 15-18
- Zhang, P., Liu, X., Zhang, M., Kou, M., Chang, G., Wan, Y., Xu, X., Ruan, F., Wang, Y. and Wang, X., 2021. Prevalence, Antimicrobial Resistance, and Molecular Characteristics of *Staphylococcus aureus* and Methicillin-Resistant *Staphylococcus aureus* from

Retail Ice Cream in Shaanxi Province, China,
Foodborne Pathogens and Disease, **19 (3)**, 217-225.

AKÜ FEMÜBİD 22 (2022) 041101 (719-729)

AKU J. Sci. Eng. 22 (2022) 041101 (719-729)

DOI: 10.35414/akufemubid.1142177

Araştırma Makalesi / Research Article

Afyon Kocatepe Üniversitesi Ahmet Necdet Sezer Kampüsü Bina içi Radon Konsantrasyonlarının ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerlerinin Belirlenmesi

Ayla GÜMÜŞ^{1*}, Hüseyin Ali YALIM¹¹Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Afyonkarahisar.Sorumlu yazar e-posta: sandikci@aku.edu.tr* ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-2021-6840>hayalim@aku.edu.tr ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-9452-7844>

Geliş Tarihi: 07.07.2022

Kabul Tarihi: 03.08.2022

Öz

İnsanlar genelde zamanlarının %90'dan daha büyük bir kısmını kapalı ortamlarda geçirmektedirler. Kapalı ortamlarda radona maruz kalma sağlık açısından önemli bir problem olabilmektedir. Bu çalışmada Afyon Kocatepe Üniversitesi Ahmet Necdet Sezer Kampüsü'nde 6 fakülte binasında, çalışanların ve öğrencilerin sağlık risklerini değerlendirmek ve yıllık etkin doz eşdeğerlerini hesaplamak için radon konsantrasyonları ölçülmüştür. Ölçümler aktif ölçüm metoduyla ölçüm yapan Genitron marka AlphaGUARD PQ2000 PRO Radon Detektör Sisteminde gerçekleştirilmiştir. Fakülte binalarının radon konsantrasyonu değerleri 4.48-82.00 Bqm⁻³; ortalama radon konsantrasyonları ise 20.64-30.91 Bqm⁻³ aralığında belirlenmiştir. Tüm binaların ortalama radon konsantrasyonu 24.79 Bqm⁻³ olarak hesaplanmıştır. 6 fakülte binasının yıllık etkin doz eşdeğerleri 0.16-0.24 mSvy⁻¹ aralığında belirlenmiş, ortalama yıllık etkin doz eşdeğeri ise 0.20 mSvy⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar, kapalı ortamlarda radon gazı konsantrasyonları için Uluslararası Radyolojik Koruma Komisyonu (ICRP) ve Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) tarafından tavsiye edilen limit değerlerle karşılaştırılmıştır. ANS Kampüsü'ndeki 6 fakülte binasının radon konsantrasyonlarının ölçüm sonuçları ve yıllık etkin doz eşdeğerleri, kuruluşlar tarafından izin verilen limit değerlerinin altında belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler

Kapalı ortam radon konsantrasyonu; AlphaGUARD; Yıllık doz eşdeğeri; İşyerleri; Afyonkarahisar

Determination of Indoor Radon Concentrations and Annual Effective Dose Equivalents at Afyon Kocatepe University Ahmet Necdet Sezer Campus

Abstract

People generally spend more than 90% of their time indoors. Exposure to radon in indoor environments can be a significant health problem. In this study, radon concentrations were measured to evaluate the health risks of employees and students in 6 faculty buildings in Afyon Kocatepe University Ahmet Necdet Sezer Campus and to calculate annual effective dose equivalents. Measurements were carried out in the Genitron AlphaGUARD PQ2000 PRO Radon Detector System which measures with active measurement method. The radon concentration values of the faculty buildings are 4.48-82.00 Bqm⁻³; mean radon concentrations were determined in the range of 20.64-30.91 Bqm⁻³. The average radon concentration of all buildings was calculated as 24.79 Bqm⁻³. The annual effective dose equivalents of 6 faculty buildings were determined in the range of 0.16-0.24 mSvy⁻¹, and the average annual effective dose equivalent was calculated as 0.20 mSvy⁻¹. The results were compared with the limit values recommended by the International Commission on Radiological Protection (ICRP) and the Turkish Atomic Energy Authority (TAEK) for radon gas concentrations in indoor environments. The measurement results of the radon concentrations and annual effective dose equivalents of the 6 faculty buildings on the ANS Campus were determined below the limit values allowed by the institutions.

Keywords

Indoor radon concentration; AlphaGUARD; Annual dose equivalent; Workplaces; Afyonkarahisar

1. Giriş

İnsanlar, evrenin var oluşundan bu yana doğal radyasyon kaynaklarını oluşturan yüksek enerjili kozmik ışınlar ve karasal kaynaklı radyasyonlara maruz kalırlar. Yeryüzünde doğal olarak bulunan uzun ömürlü radyoaktif elementler uranyum-238 (^{238}U), toryum-232 (^{232}Th), potasyum-40 (^{40}K) ve bu elementlerin bozunma ürünleri olan radyum-226 (^{226}Ra) ve radon-222 (^{222}Rn)'dır. Doğal kaynaklardan alınan radyasyon kaçınılmaz olarak canlıların çevresinde mevcuttur. Birleşmiş Milletler Atomik Radyasyonun Etkileri Bilimsel Komitesi (UNSCEAR) raporuna göre dünya genelinde doğal kaynaklar nedeniyle yıllık etkin dozun 2.4 mSv olduğu tahmin edilmektedir (UNSCEAR 2000).

Uranyum ve radyum yer kabuğunda, kayalarda ve toprakta bulunmaktadır. Radon izotoplarının hepsi uranyum kökenlidir ve radon için ana kaynak toprak ve kayalardır. Radonun en çok bilinen izotopları ^{222}Rn (emanon), ^{220}Rn (toron), ^{219}Rn (aktinon)'dur. Bunlar sırasıyla ^{238}U , ^{232}Th ve ^{235}U 'in radyoaktif parçalanma ürünüdür. Radon gazı (^{222}Rn), doğal radyoaktif serilerden ^{238}U 'in bozunma zincirinde bulunan kız çekirdeklerden 1600 yıl yarı ömre sahip ^{226}Ra 'nın bozunması ile ortaya çıkar. ^{222}Rn gazı periyodik tablonun asal gazlar grubunda yer alan; kimyasal tepkimeye girmeyen, kokusuz, renksiz ve tatsız bir gazdır. Yeraltındaki radon yukarı doğru hareket eder, çünkü binalardaki basınç topraktaki basınçtan daha düşüktür. Radon, binanın temelindeki boşluklardan ve çatlaklardan, su borusu boşluklarından vb. girerek bina içine sızmakta ve kapalı mekânları doldurmaktadır. Radon, hidrojenden 100 kat ve havadan yedi buçuk kat kadar daha ağırdır (NCRP 1988). Radon gazının havadan daha ağır olması ve yerden genellikle 50 santimetre mesafede kalma eğiliminde olması nedeniyle kapalı alan içerisine sızan radon burada kalma eğilimindedir. Ayrıca enerji tasarrufu yapmak amacıyla bina yalıtımlarının daha iyi yapılması, bina içlerinde radon gazının çok daha fazla hapsedilmesine ve artmasına yol açmaktadır. Havalandırmanın zayıf olduğu kapalı mekanlarda zamanla daha da birikebilir ve tehlikeli düzeylere ulaşabilir.

İnsanlar nefes aldıklarında radon dokulara kimyasal olarak bağlanmaz, çünkü bir soygaz olan radonun kimyasal reaktivitesi zayıftır. Radon dokulara bağlansa bile doku içindeki çözünürlüğü çok azdır. Fakat radonun bozunum ürünlerinin bir kısmı, radon gibi gaz halinde olmayıp katı parçacık formunda oldukları için kimyasal açıdan aktiflerdir. Bu bozunum ürünlerinin bir kısmı havadaki toz zerreciklerine ve diğer parçacıklara çok çabuk yapışıp tutunarak radyoaktif aerosoller oluştururlar. Böylece akciğerler tarafından tutulabilecek parçacıklara dönüşürler. Solunum yoluyla akciğerlere giren bu parçacıklar burada bronşiyal ağacın değişik kademelerine kadar ilerlerler. Bu parçacıklar radyoaktif bozunmayı kararlı hale gelinceye kadar burada da devam ettirirler ve tüm kademelerde radyasyon salımı gerçekleşir. Bozunmanın ve alfa parçacıklarının yayılımının sürmesi ve vücut içerisindeki ışımlar ile varolan enerji; canlı dokuları iyonize ederek yaşayan hücrelerin DNA yapılarını değiştirebilir ve akciğer dokusunda hasara, dolayısıyla zaman içerisinde kansere sebep olabilir (Axelson 1995, UNSCEAR 2000, Field *et al.* 2000, Lázár *et al.* 2003). Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) raporuna göre dünyadaki akciğer kanseri vakalarının %3-%14 arasında değişen oranlarda radon gazından kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Aynı raporda radon gazının pek çok ülkede sigaradan sonra akciğer kanserinin ikinci en önemli nedeni olduğu belirtilmiştir (WHO 2009). Kapalı ortamlar insanların yaşadığı konutlar, işyerleri, resmi binalar (okul, hastane vb.) olarak kabul edilmektedirler. Genelde insanlar zamanlarının %90'dan daha büyük bir kısmını kapalı ortamlarda geçirmektedirler. Bu nedenle kapalı ortamlarda radona maruz kalma önemli bir problem olabilmektedir.

Türkiye’de bazı üniversite kampüslerinde radon gazı ölçümleri yapılmıştır (Alkan and Karadeniz 2014, Altınsöz vd. 2016, Zenginerler *et al.* 2016, Büyüksulu *et al.* 2018, Kulalı *et al.* 2019, Uzun Duran ve Küçükömeroğlu 2020). Afyon Kocatepe Üniversitesi Ahmet Necdet Sezer Kampüsünde (ANS) ilk kez radon gazı ölçümleri bu çalışma ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın amacı ANS kampüsünde 6 fakülte binasında radon gazı konsantrasyonu ölçümü ile çalışanlar ve öğrenciler için sağlık risklerini değerlendirmek ve yıllık etkin doz eşdeğerlerini belirlemektir.

2. Materyal ve Metot

2.1 Çalışma Alanı

Ege Bölgesi'nin İç Batı Anadolu Bölümü'nde yer alan Afyonkarahisar ilindeki Afyon Kocatepe Üniversitesi 1992 yılında kurulmuştur (Şekil 1). Afyon Kocatepe Üniversitesinin şehir merkezinde yer alan ANS kampüsü üniversitenin en büyük kampüsüdür. Bu çalışma Afyon Kocatepe Üniversitesinin ANS kampüsünde yer alan 6 eğitim binasının giriş katında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Afyon Kocatepe Üniversitesi ANS Kampüsü ve ölçüm yapılan fakülte binaları.

Çalışma döneminde öğrenci işleri, fakülte binalarının giriş katlarında yer almaktaydı. Bu nedenle yoğunluk hem çalışan hem de öğrenci sayısı açısından bu katlarda fazlaydı. Ölçümler sadece giriş katlarında ve bu katta öğrenci yoğunluğunun en çok olduğu konum ve saatlerde gerçekleştirilmiştir. Şekil 1, Afyon Kocatepe Üniversitesi ANS Kampüsü'ndeki 6 eğitim binasını göstermektedir.

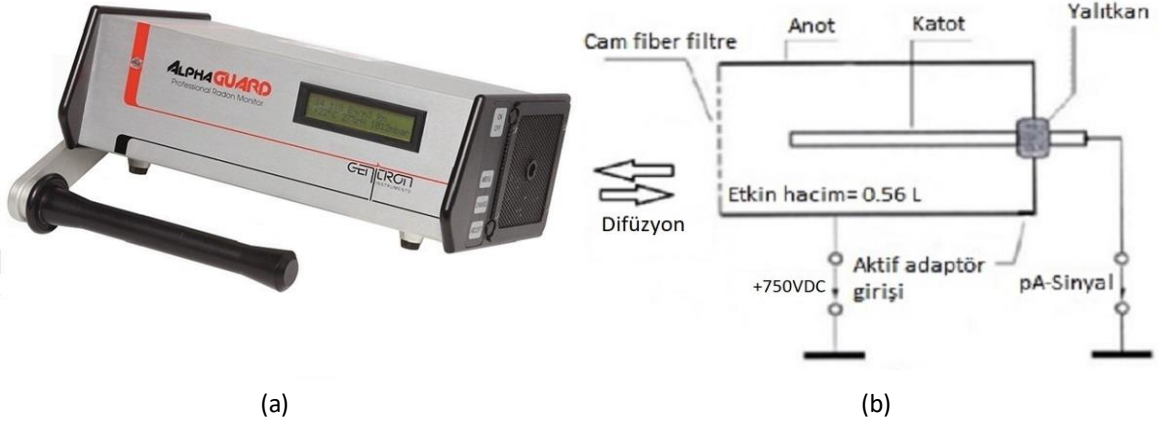
Çalışmada ölçüm noktaları öğrenci işlerinin önünde ve giriş ana kapısına en uzak noktalarda seçilmesine özellikle dikkat edilmesine rağmen ölçüm zamanının mayıs ayı olması nedeniyle bazı bina girişlerinde ana

dış kapının belirli sürelerde açık kalabildiği gözlenmiştir. Bu nedenle de bu etkiyi azaltabilmek için AlphaGUARD radon detektörü hafta içi her gün aynı saatte (saat 13.30) aynı konuma götürülerek 18 kez ölçüm gerçekleştirilmiştir.

2.2 Radon Gazı Ölçümleri

Radon; rengi, tadı ve kokusu olmayan radyoaktif bir gaz olması nedeniyle insanlar tarafından görülmesi, kokusunun ve tadının alınması imkansızdır. Radon gazının ölçümü, radon gazından çıkan α parçacıklarının sayımına dayanmaktadır. Radon ve bozunum ürünlerinin ölçülmesi aktif (kısa süreli) ve pasif (uzun süreli) ölçümler olmak üzere iki temel ölçüm tekniği ile yapılabilir. Kısa süreli ölçümler radon gazının bozunumuyla yayılan alfa parçacığının deteksiyonuna dayanmaktadır. Pasif ölçüm tekniğinde ise, nükleer iz detektörleri kullanılarak uzun süreli radon ölçümleri yapılmaktadır. Bu tip ölçümler α parçacıklarının polimerik plastikler gibi uygun maddelerden yapılmış film tabakaları üzerine oluşturduğu izlerin sayılması ile gerçekleştirilir. Bu çalışmada bina içi radon konsantrasyonu ölçümleri aktif olarak ölçüm yapan Genitron marka (Frankfurt/Almanya) AlphaGUARD PQ2000 PRO Radon Detektör cihazı ile yapılmıştır (Şekil 2). Bu detektör sistemi temel olarak radon (^{222}Rn), toron (^{220}Rn) ve radon bozunum ürünlerine ait radyasyon yoğunlukları ile γ doz oranı ölçmekte kullanılan

portatif bir radyasyon detektörüdür. Cihaz gelişmiş bir atma (puls) iyonlaşma çemberi veya α spektroskopisi yöntemi ile çalışmaktadır. Silindirik atma (puls) iyonlaşma çemberine sahip olan detektörün hacmi 0.56 litredir. AlphaGUARD, $2 \cdot 10^6$ Bqm⁻³ aralığında ölçüm yapabilmektedir ve hassasiyeti 20 Bqm⁻³'te 1 CPM (counts per minute = dakikadaki sayım) ya da 100 Bqm⁻³'te 4.5 CPM olarak verilmektedir. Yüksek radon ölçüm hassasiyetine sahiptir ve yoğunluk gradientleri ile küçük yoğunluk dalgalanmalarını algılayabilecek derecede hassas elektronik yapıya sahiptir. Taşınabilir ve yerinde ölçümler yapabilen AlphaGUARD cihazında bulunan iyon odası (alfa spektroskopi puls sayımı) vasıtası ile ortamın o anki radon değeri ile birlikte hava sıcaklığı, hava basıncı ve havanın nemi gibi diğer parametreler de ölçülebilmektedir. AlphaGUARD bilgisayara bağlanarak verileri aktarabilir ve bu verileri saklayabilir. Alınan verilerin grafiksel olarak işlenmesi, geliştirilmesi, görüntülenmesi ve arşivlenmesi için, AlphaGUARD için geliştirilmiş DataEXPERT yazılım paketi kullanılmıştır.



Şekil 2. (a) AlphaGUARD PQ2000 PRO Radon Detektörü (b) AlphaGUARD dedektörünün iyonizasyon odasının şematik çizimi (Saphymo GmbH 1998).

3. Bulgular

Her fakülte binasında ölçüm için cihaz 10 dk. difüzyon modunda çalıştırılmış ve aynı noktada ölçüm 3 kez tekrar edilmiştir. Böylece AlphaGUARD radon detektörü ile bir binada 30 dk. boyunca ölçüm yapılmıştır.

Bu 3 ölçümün ortalaması alınmıştır. Ayrıca ölçümler 18 gün boyunca aynı saatte (13.30) tekrar edilmiştir ve bu sonuçların da ortalaması alınmıştır. Elde edilen sonuçlar ve 18 gün ölçülen radon konsantrasyonu ortalama değerleri Çizelge 1'de gösterilmiştir.

Çizelge 1. ANS kampüsündeki fakülte binalarının radon konsantrasyonları (Bqm^{-3}).

Ölçüm sayısı	Eğitim Fakültesi	Fen-Edebiyat Fakültesi	İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi	Turizm Fakültesi	Mühendislik Fakültesi	Veterinerlik Fakültesi
	Rn (Bqm^{-3})	Rn (Bqm^{-3})	Rn (Bqm^{-3})	Rn (Bqm^{-3})	Rn (Bqm^{-3})	Rn (Bqm^{-3})
1. ölçüm	31.88	21.63	22.81	41.50	33.59	24.19
2. ölçüm	8.06	12.19	15.84	36.00	30.56	7.05
3. ölçüm	22.38	17.75	7.16	21.00	24.94	36.25
4. ölçüm	20.00	14.67	31.38	31.56	21.09	19.47
5. ölçüm	7.48	22.19	31.00	30.50	31.63	43.38
6. ölçüm	33.13	39.38	44.25	39.38	21.50	15.03
7. ölçüm	25.19	19.69	30.13	35.08	19.41	19.44
8. ölçüm	25.94	20.32	82.00	62.00	24.06	20.25
9. ölçüm	27.13	19.09	40.31	9.38	48.13	16.13
10. ölçüm	22.81	24.25	18.66	23.95	25.81	30.44
11. ölçüm	11.06	22.38	21.06	31.13	35.69	17.13
12. ölçüm	16.37	21.17	29.49	30.89	22.81	31.13
13. ölçüm	10.25	21.75	25.44	34.13	21.31	17.19
14. ölçüm	15.44	13.72	23.88	30.19	19.00	15.97
15. ölçüm	19.00	14.59	30.13	18.81	4.48	9.38
16. ölçüm	25.69	30.19	30.88	26.19	14.34	23.88
17. ölçüm	26.69	16.06	18.38	30.38	24.00	23.75
18. ölçüm	32.25	20.41	28.81	24.31	19.41	25.25
Ortalama	21.15	20.64	29.53	30.91	24.54	21.96

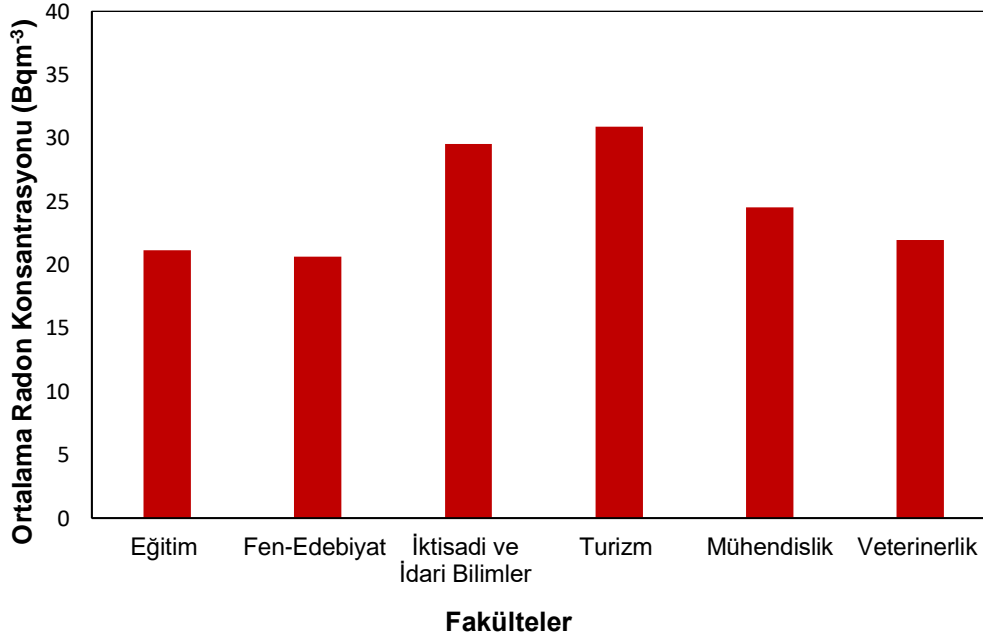
Çizelge 1 incelendiğinde, en düşük radon konsantrasyonu değeri $4.48 Bqm^{-3}$ ile Mühendislik Fakültesi binasında, en yüksek radon konsantrasyonu değeri $82.00 Bqm^{-3}$ ile İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesinde ölçülmüştür. Her bir fakültenin ortalama radon konsantrasyonu (Bqm^{-3}) Şekil 3'den de görülebileceği gibi en düşük $20.64 Bqm^{-3}$ ile Fen-Edebiyat Fakültesinde, en yüksek $30.91 Bqm^{-3}$ ile Turizm Fakültesi binasında elde edilmiştir. Genel olarak 6 eğitim binasının ortalama radon konsantrasyonu değerleri birbirlerine yakın sonuçlarda belirlenmiştir.

4. Tartışma ve Sonuç

Ahmet Necdet Sezer Kampüsü'nde 6 fakülte binasının ortalama radon konsantrasyonu değeri $24.79 Bqm^{-3}$ olarak belirlenmiştir. Radon gazı konsantrasyonlarının sağlık üzerine etkisi nedeniyle uluslararası ve ulusal kuruluşlar tarafından limit değerler tavsiye edilmektedir. Uluslararası Radyolojik Koruma Komisyon (ICRP) radon gazı için evlerde $200-600 Bqm^{-3}$ ve işyerleri için ise $500-1500 Bqm^{-3}$ değerlerini limit değer olarak belirlemiştir (ICRP 1993).

Ülkemizde ise Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) radon gazı için izin verilen konsantrasyon seviyelerini yıllık ortalama olarak evlerde 400 Bqm^{-3} , işyerlerinde 1000 Bqm^{-3} olarak belirlemiştir (TAEK 2012). Afyon Kocatepe Üniversitesi ANS Kampüsü'nde 6 eğitim binasında gerçekleştirilen bu

çalışmada elde edilen ortalama radon konsantrasyonu değerleri, işyerlerinin radon konsantrasyonu için TAEK tarafından önerilen 1000 Bqm^{-3} ve ICRP tarafından işyerleri için önerilen $500\text{-}1500 \text{ Bqm}^{-3}$ limit değerlerinin altında olduğu görülmüştür.



Şekil 3. ANS kampüsündeki fakülte binalarının ortalama radon konsantrasyonları (Bqm^{-3}).

$$YEDE = C_{Rn} \times D \times F \times H \times T \quad (1)$$

Etkin doz, doku veya organların aldığı dozun tüm vücut için yüklediği riski ifade etmek için kullanılan bir kavramdır (Gökharman vd. 2016). Yıllık etkin doz eşdeğeri ise, insanların farklı radyasyon kaynaklarından yayımlanan ışınlar maruz kalmak suretiyle bir yıl süresince alacağı radyasyon dozu olarak tanımlanmaktadır (Karakılıç vd. 2009). Yıllık etkin doz eşdeğeri denklem (1) kullanılarak hesaplanmıştır.

Burada C_{Rn} radon konsantrasyonu (Bqm^{-3}), D doz dönüşüm faktörü ($9 \text{ nSv h}^{-1} / \text{Bq m}^{-3}$), F radon ile bozunma ürünleri arasındaki denge faktörü (0.4), H bina içi meşgulliyet faktörü (çalışanlar için yıllık ortalama 2000 saat olarak tahmini 0.25 alınmıştır), T saat cinsinden yıllık süredir (8760 saat) (Yu et al. 2000).

Çizelge 1'deki ölçüm değerleri denklem (1)'de kullanılarak her bir fakülte binasının yıllık etkin doz eşdeğerleri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Fakülte binalarının ortalama radon konsantrasyonları (Bqm^{-3}) ve yıllık etkin doz eşdeğerleri ($mSvy^{-1}$).

Fakülteler	Ortalama Radon Konsantrasyonu C_{Rn} (Bqm^{-3})	YEDE ($mSvy^{-1}$)
Eğitim Fakültesi	21.15	0.17
Fen-Edebiyat Fakültesi	20.64	0.16
İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi	29.53	0.23
Turizm Fakültesi	30.91	0.24
Mühendislik Fakültesi	24.54	0.19
Veterinerlik Fakültesi	21.96	0.17
Ortalama	24.79	0.20

Çizelge 2 incelendiğinde, Ahmet Necdet Sezer Kampüsü'ndeki 6 eğitim binasında yıllık etkin doz eşdeğerleri $0.16-0.24 mSvy^{-1}$ aralığında belirlenmiştir. En yüksek yıllık etkin doz eşdeğeri $0.24 mSvy^{-1}$ değeri ile Turizm Fakültesi'nde; en düşük ise $0.16 mSvy^{-1}$ ile Fen-Edebiyat Fakültesi'nde elde edilmiştir. 6 fakülte binasının ortalama yıllık etkin doz eşdeğeri ise $0.20 mSvy^{-1}$ olarak hesaplanmıştır. ICRP yıllık etkin doz eşdeğeri için limit sınırını $3-10 mSvy^{-1}$; UNSCEAR ise $1.0 mSvy^{-1}$ olarak belirlemiştir (ICRP 1993, UNSCEAR 2000). Tüm binalarda elde edilen yıllık etkin doz eşdeğerleri ICRP ve UNSCEAR tarafından önerilen limit değerlerin altındadır. Ülkemizde ve diğer ülkelerde evlerde, iş yerlerinde ve kampüslerde insanların maruz kaldığı radon konsantrasyonları (Bqm^{-3}) ve yıllık etkin doz eşdeğerlerinin ($mSvy^{-1}$) belirlenmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır. Özellikle insanların yaşam alanı olan evlerle ilgili çok sayıda çalışma mevcuttur. Bu çalışma ANS Kampüsü'nde gerçekleştirildiği için genel olarak kampüste ve işyerlerinde yapılan diğer çalışma sonuçları ile karşılaştırılmıştır ve Çizelge 3'de verilmiştir.

Afyon Kocatepe Üniversitesi'nde ANS Kampüsü'nde 6 eğitim binasında gerçekleştirilen bu çalışmanın sonuçları farklı ülkelerdeki Üniversitelerin kampüslerinde ve işyerlerinde yapılmış benzer çalışmalarla kıyaslandığında ortak bulgular gözlenmektedir. Çizelge 3'den de görülebileceği gibi Afyonkarahisar'da kamu binalarında 2018 yılında da işyerlerinde radon konsantrasyonu ölçümü gerçekleştirilmiştir. 28 kamu binasında gerçekleştirilen Yalım vd. (2018) çalışmasında ortalama radon konsantrasyonları ölçümleri, bu çalışmadaki ortalama radon konsantrasyonu değerlerinden daha yüksek elde edilmiştir. Aynı şehirde gerçekleştirilen iki çalışmada şehrin bölge olarak farklı kısımlarında ve farklı metotla (biri aktif biri pasif ölçüm metodu) ölçüm yapılmıştır.

Çizelge 3. Ülkemizdeki ve farklı ülkelerdeki üniversite kampüslerindeki ve işyerlerindeki ortalama radon konsantrasyonları ($Bq\ m^{-3}$) ve yıllık etkin doz eşdeğerlerinin ($mSv\ y^{-1}$) bu çalışma sonuçları ile karşılaştırılması.

Çalışma alanı	Rn ($Bq\ m^{-3}$)	YEDE ($mSv\ y^{-1}$)	Konum	Referans
Fatima Jinnah Women Üniversitesi	31-213 (eski binalar) 27-143 (yeni binalar)	0.16-232	Rawalpindi, Pakistan	(Khan et al. 2005)
İş yerleri	1.4-182	0.42-0.52	Japonya	(Oikawa et al. 2006)
İbadan Üniversitesi	157-495	0.99-3.12	Ibadan, Nijerya	(Obed et al. 2010)
İş yerleri	12-293	Ort: 0.61 ± 0.30	İslamabad, Pakistan	(Rahman et al. 2010)
Ladoke Akintola Teknoloji Üniversitesi	20.0-30.3	0.11-0.18	Nigeria	(Oni et al. 2012)
Okul	31-157	0.06-1.40	Trabzon, Türkiye	(Çevik et al. 2013)
Dokuz Eylül Üniversitesi	40-335	0.79-4.27	İzmir, Türkiye	(Alkan and Karadeniz 2014)
Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Meşelik Kampüsü	59-252	Ort:3.398	Eskişehir, Türkiye	(Altınsöz vd. 2016)
Sakarya Üniversitesi	0.20-94.1	0.18-2.00	Sakarya, Türkiye	(Zenginler et al. 2016)
Giresun Üniversitesi	76-504	0.97-14.84	Giresun, Türkiye	(Büyükkuslu et al. 2018)
İş yerleri (kamu)	13-1932	Ort:1.25±0.10	Afyonkarahisar, Türkiye	(Yalım vd. 2018)
Üsküdar ve Okan Üniversitesi	7-177	0.024-0.61	İstanbul, Türkiye	(Kulalı et al. 2019)
Karadeniz Teknik Üniversitesi Kanuni Kampüsü	12-234	0.08-1.5	Trabzon, Türkiye	(Uzun Duran ve Küçükömeroğlu 2020)
Afyon Kocatepe Üniversitesi ANS Kampüsü	20.64-30.91	0,16-0.24 Ort: 0.20	Afyonkarahisar, Türkiye	Bu çalışma

Kapalı ortamlarda radon konsantrasyonu pek çok faktörden etkilenir. Bu faktörler zeminin altındaki ana kaya ve topraktaki radyum ve dolayısıyla radon miktarı, bina temelini kaya ve toprakla olan temas yüzeyin büyüklüğü, zeminden olan yükseklik, fay hattına yakınlık, yeraltındaki suyun seviyesi ve radon konsantrasyonu, bina zeminindeki depo-kiler olup olmadığı, ortamdaki iç-dış hava, sıcaklık ve basınç farkı, bina yapım malzemelerinin cinsi, bina yalıtımının özelliği, binanın havalandırma sıklığı gibi sıralanabilir (Uludağ 2010, Örgün ve Çelebi 2016, Al-Khateeb *et al.* 2017). İklim koşulları da binadaki radon konsantrasyonu etkileyen bir faktördür. Sıcak bölgelerde pencerelerin çok açılması ve

havalandırma yapılması içerideki ve dışardaki radon konsantrasyonu farkını düşürür. Soğuk bölgelerde pencerelerin açılmaması ve havalandırmanın nispeten daha az olması nedeniyle iç ortamdaki radon konsantrasyonu miktarının çok daha yüksek olduğu belirlenmiştir (UNSCEAR 1982).

Çizelge 3'de üniversite kampüslerinde yapılan radon konsantrasyonu ölçüm sonuçlarının, bu çalışmadaki değerlerden genel olarak daha yüksek ölçüldüğü görülmektedir. Bunun çeşitli nedenleri olabilir. Ölçümler, fakülte binalarının giriş katlarında kapıdan oldukça uzak bir noktada gerçekleştirilmiş olmasına rağmen, giriş kapılarının düzensiz bir şekilde açık olması nedeniyle yine de havalandırmanın etkili

olduğu düşünülmektedir. Yine çalışma alanının jeolojisinin de radon konsantrasyonu sonuçları üzerindeki etkisi kaçınılmazdır. ANS Kampüsü jeolojik olarak alüvyonal bir düzlük üzerindedir (Başaran 2019). Bu nedenle de kampüs gevşek zeminli bir alanda konumlanmıştır. Radon gazının oluşumu ve taşınmasında en önemli ana faktör jeolojik yapıdır. Binalardaki radon konsantrasyonlarının alansal değişiminde jeolojinin çok önemli olduğunu gösteren güçlü istatistiksel kanıtlar içeren çalışmalar vardır (Schumann and Gundersen 1996, Apte ve ark., 1998; Zhu *et al.* 2001, Ielsch *et al.* 2002, Popit and Vaupotič 2002, Sundal *et al.* 2004, Shi *et al.* 2006, Kemski *et al.* 2009, Dai *et al.* 2019, Kellenbenz and Shakya 2021). Düz ovalar ve dere yatakları boyunca görülen alüvyon yapı üzerinde olan ANS Kampüsü'nde de yer altı ana kaynağına bağlı olarak jeolojik unsurlar, radon konsantrasyonları seviyelerinde etkili olmuş olabilir.

Elde edilen hem radon konsantrasyonu sonuçları hem de yıllık etkin doz eşdeğerleri, ulusal ve uluslararası kuruluşlar tarafından önerilen limit değerlerin altındadır. Bu nedenle Afyon Kocatepe Üniversitesi ANS Kampüsü'ndeki 6 fakülte binasında radon gazı konsantrasyonlarının çalışanlar ve öğrenciler için sağlık riski oluşturmadığı söylenebilir. Radon gazı ölçümlerinin periyodik aralıklarla yapılması son derece önemlidir. Bu nedenle zamanlarının çoğunu kampüs binalarında kapalı ortamda geçiren çalışanlar ve öğrenciler için Afyon Kocatepe Üniversitesi ANS Kampüsü'nde daha fazla eğitim binasında uzun süreli radon gazı ölçümünün yararlı olacağı düşünülmektedir.

5. Kaynaklar

- Alkan, T., Karadeniz, Ö., 2014. Indoor 222Rn levels and effective dose estimation of academic staff in Izmir-Turkey. *Biomedical and Environmental Sciences*, **27**, 259–267. <https://doi.org/10.3967/bes2014.049>
- Al-Khateeb, H.M., Aljarrah, K.M., Alzoubi, F.Y., Alqadi, M.K., Ahmad, A.A., 2017. The correlation between indoor and In soil radon concentrations in a desert climate. *Radiation Physics and Chemistry*, **130**, 142–147. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2016.08.00>

- Altinsöz, M., Algın, E., Aşıcı, C., Soğukpınar, H., 2016. Radon concentration measurements at a University Campus In Turkey. *Turkish Journal of Physics*, **40**, 69–75. <https://doi.org/10.3906/fiz-1510-1>
- Apte, M.G., Price, P.N., Nero, A. v, Revzan, K.L., 1998. Predicting new hampshire indoor radon concentrations from Geologic information and other covariates. Environmental Energy Technologies Division Lawrence Berkeley National Laboratory University of California Berkeley, CA 94720. https://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metadc836039/m2/1/high_res_d/1009823.pdf, (19.06.2022)
- Axelson, O., 1995. Cancer Risks from Exposure to Radon in Homes. *Environmental Health Perspectives*, **103**, 37–43.
- Başaran, C., 2019. Afyon Kocatepe Üniversitesi-ANS Kampüsü (Afyonkarahisar) yeraltısularının hidrojeokimyası ve kullanılabilirlik özelliklerinin belirlenmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, **7**, 431–440. <https://doi.org/10.21923/jesd.510026>
- Büyükuslu, H., Özdemir, F.B., Öge, T.Ö., Gökce, H., 2018. Indoor and tap water radon (222Rn) concentration measurements at Giresun University Campus areas. *Applied Radiation and Isotopes*, **139**, 285–291. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2018.05.027>
- Cevik, U., Celik, A., Celik, N., Ozkalayci, F., Akbulute, S., 2013. Assessment of radiological levels at schools in Trabzon, Turkey. *Indoor and Built Environment*, **22**, 376–383. <https://doi.org/10.1177/1420326X11426590>
- Field, R.W., Steck, D.J., Smith, B.J., Brus, C.P., Fisher, E.L., Neuberger, J.S., Piatz, C.E., Robinson, R.A., Woolson, R.F., Lynch', C.F., 2000. Residential radon gas exposure and lung cancer the Iowa radon lung cancer study. *American Journal of Epidemiology*, **151**, No:11.
- Gökharman, F.D., Aydın, S., Koşar, P.N., 2016. Radyasyon Güvenliğinde Mesleki Olarak Bilmemiz Gerekenler. *Süleyman Demirel Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, **7-2**, 35–40.
- ICRP, 1993. The International Commission on Radiological Protection, Protection against radon-222 at home and at work, Annals of the ICRP.
- Ielsch, G., Ferry, C., Tymen, G., Rob, M.C., 2002. Study of a Predictive Methodology for Quantification and Mapping of the Radon-222 Exhalation Rate. *Journal of Environmental Radioactivity*, **63**, 15–33.

- Karakılıç, V., Bayraktar, G., Kürkçüoğlu, M.E., Haner, B., Yılmaz, A., 2009. Radon Measurements at S.D.U. Information Center. Süleyman Demirel University, Journal of Natural and Applied Sciences, **13-3**, 201-207.
- Kemski, J., Klingel, R., Siehl, A., Valdivia-Manchego, M., 2009. From radon hazard to risk prediction-based on geological maps, soil gas and indoor measurements in Germany. *Environmental Geology*, **56**, 1269–1279. <https://doi.org/10.1007/s00254-008-1226-z>
- Khan, S.A., Ali, S., Tufail, M., Qureshi, A.A., 2005. Radon concentration levels in Fatima Jinnah Women University Pakistan. *Radioprotection*, **40**, 11–27. <https://doi.org/10.1051/radiopro:2004019>
- Kulali, F., Günay, O., Aközcan, S., 2019. Determination of indoor radon levels at campuses of Üsküdar and Okan Universities. *International Journal of Environmental Science and Technology*, **16**, 5281–5284. <https://doi.org/10.1007/s13762-019-02369-5>
- Lázár, I., Tóth, E., Marx, G., Cziegler, I., Köteles, G.J., 2003. Effects of residential radon on cancer incidence. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, **258**, 519–524.
- NCRP 1988, n.d. NCRP RPT 97: Measurement of radon and radon daughters in air. https://global.ihp.com/doc_detail.cfm?document_name=NCRP%20RPT%2097&item_s_key=00292245 (09.06.2022)
- Obed, R.I., Lateef, H.T., Ademola, A.K., 2010. Indoor radon survey in a University Campus of Nigeria. *Journal of Medical Physics*, **35**, 242–246. <https://doi.org/10.4103/0971-6203.71760>
- Oikawa, S., Kanno, N., Sanada, T., Abukawa, J., Higuchi, H., 2006. A survey of indoor workplace radon concentration in Japan. *Journal of Environmental Radioactivity*, **87**, 239–245. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2005.12.001>
- Oni, O.M., Isola, G.A., Oladapo, O.O., Oni, E.A., 2012. Estimation of lifetime fatality risk from indoor radon in some offices in a Nigerian University. *Research Journal of Environmental and Earth Sciences*, **4**, 131–133.
- Örgün, Y., Çelebi, N., 2016. Radyasyon, radon (Rn) ve toplum sağlığı. *TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, Tıbbi Jeoloji ve İnsan Sağlığı, Haber Bülteni*, Ocak-Haziran 11–27.
- Popit, A., Vaupotič, J., 2002. Indoor radon concentrations in relation to geology in Slovenia. *Environmental Geology*, **42**, 330–337. <https://doi.org/10.1007/s00254-002-0526-y>
- Rahman, S.U., Rafique, M., Matiullah, Anwar, J., 2010. Radon measurement studies in workplace buildings of the Rawalpindi region and Islamabad Capital Area, Pakistan. *Building and Environment*, **45**, 421–426. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.06.019>
- Saphymo GmbH, 1998. AlphaGUARD User manual portable radon monitor, Heerstrasse 149 D-60488.
- Schumann, R.R., Gundersen, L.C.S., 1996. Geologic and climatic controls on the radon emanation coefficient. *Environment International*, **22**, 439–446.
- Shi, X., Hoftiezer, D.J., Duell, E.J., Onega, T.L., 2006. Spatial association between residential radon concentration and bedrock types in New Hampshire. *Environmental Geology*, **51**, 65–71. <https://doi.org/10.1007/s00254-006-0304-3>
- Sundal, A. v., Henriksen, H., Soldal, O., Strand, T., 2004. The influence of geological factors on indoor radon concentrations in Norway. *Science of the Total Environment*, **328**, 41–53. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2004.02.011>
- TAEK, 2012. Kapalı Ortamlarda Radon Gazı. Teknik Rapor 2012/3, Ankara.
- Uludağ, H.İ., 2010. Radon Kirliliği ve Halk Sağlığı İlişkisi. Bitirme tezi, T.C. Ege Üniversitesi, Tıp Fakültesi, İzmir, 44.
- UNSCEAR, 2000. Sources and Effects of Ionizing Radiation, Report to the General Assembly, with Scientific Annexes Volume I: Sources United Nations.
- UNSCEAR, 1982. Ionizing Radiation: Sources and Biological Effects, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation 1982 Report to the General Assembly, with annexes UNITED NATIONS.
- Uzun Duran, S., Küçükömeroğlu, B., 2020. Karadeniz Teknik Üniversitesi Kanuni Kampüsü'nde bazı ofislerde radon gazı ölçümü ve çevrelerindeki topraklarda radyonüklid seviyeleri. *BEU Journal of Science*, **9**, 68–77.
- WHO, 2009. The World Health Organization, Handbook on Indoor Radon: a Public Health Perspective. World Health Organization.
- Yalım, H.A., Gümüş, A., Ünal, R., 2018. Determination of Indoor Radon Concentration and Effective Dose Equivalent at Workplaces of Afyonkarahisar Province. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi*, **13**, 29–35.

<https://doi.org/10.29233/sdufeffd.442298>

Yu, K.N., Lau, B.M.F., Guan, Z.J., Lo, T.Y., Young, E.C.M., 2000. Survey of the Rn dose conversion factor for offices. *Journal of Environmental Radioactivity*, **51**, 379–385.

Zenginerler, Z., Ertugral, F., Yakut, H., Tabar, E., Demirci, N., Gunermelikoglu, K., 2016. Measurement of Seasonal Indoor Radon Concentration in Sakarya University, Turkey. *Acta Physica Polonica A*, **130**, 450–452.

<https://doi.org/10.12693/APhysPolA.130.450>

Zhu, H.C., Charlet, J.M., Poffijn, A., 2001. Radon Risk Mapping in Southern Belgium: an Application of Geostatistical and GIS Techniques. *The Science of the Total Environment*, **272**, 203–210.

Kollektif Etkilerin Nötron Yakalama Reaksiyon Tesir Kesiti Üzerindeki Rolü

Deniz CANBULA

Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Manisa Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Alternatif Enerji Kaynakları Teknolojisi Programı, 45140, Manisa, Türkiye

e-posta: deniz.canbula@cbu.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0283-2698>

Geliş Tarihi: 01.04.2022

Kabul Tarihi: 23.08.2022

Öz

Nötron yakalama reaksiyonu, çekirdeğin yapısal özelliklerinin belirlenmesini ve yakalama reaksiyon mekanizmaları hakkında detaylı bilgi sahibi olunmasını sağlayan önemli reaksiyonlardan bir tanesidir. Bu çalışmada, nötron yakalama reaksiyonu olan $^{89}\text{Y}(n,g)^{90}\text{Y}$ reaksiyonuna ait tesir kesiti değerleri farklı seviye yoğunluğu modelleri kullanılarak 10 MeV gelen parçacık enerjisine kadar TALYS bilgisayar kodu ile hesaplanmıştır. Hesaplamalarda, geri kaydırılmış Fermi gaz modeli (Back-Shifted Fermi Gas Model-BSFGM), sabit sıcaklık modeli (Constant Temperature Model-CTM), genelleştirilmiş süperakışkan model (Generalized Superfluid Model-GSM) ve kollektif yarı-klasik Fermi gaz modeli (Collective Semi Classical Fermi Gas Model-CSCFGM) tercih edilmiştir. Elde edilen sonuçlar deneysel veri tabanından alınan veriler ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca, modellere ait kalite faktörleri tablo halinde sunulmuştur. Yapılan hesaplamalar sonucunda kollektif etkileri en temelde hesaba dahil eden CSCFGM modelin deneysel verileri tekrar sağlamada daha başarılı olduğu ve kollektif etkilerin nötron yakalama reaksiyon tesir kesitleri üzerinde baskın rol oynadığı sunulmuştur. Dolayısıyla, ileride yapılacak olan nötron yakalama reaksiyon analizlerinde CSCFGM'nin kullanılabilecek bir model olduğu ortaya konmuştur.

Anahtar kelimeler

Kollektif etkiler;
Nötron yakalama reaksiyonu; Nükleer seviye yoğunluğu modelleri; TALYS

Role of the Collective Effects on Neutron Capture Reaction Cross Section

Abstract

The neutron capture reaction is one of the important reactions that provides the determination of the structural properties of the nucleus and detailed information about the capture reaction mechanisms. In this study, cross section values of $^{89}\text{Y}(n,g)^{90}\text{Y}$ reaction, which is a neutron capture reaction, were calculated with TALYS computer code up to 10 MeV incident particle energy using different level density models. In the calculations, back-shifted Fermi gas model (BSFGM), constant temperature model (CTM), generalized superfluid model (GSM), and collective semi-classical Fermi gas model (CSCFGM) were preferred. The obtained results were compared with the data taken from the experimental database. In addition, the quality factors of the models were presented in the table. As a result of the calculations, it has been presented that the CSCFGM, which takes the collective effects into account basically, is more successful model to reproduce the experimental data and that the collective effects play a dominant role on the neutron capture reaction cross sections. Therefore, it has been demonstrated that CSCFGM is a model, which can be used for neutron capture reaction analyses in the future.

Keywords

Collective effects;
Neutron capture reaction; Nuclear level density models; TALYS

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

Nötron yakalama reaksiyonları, yıldız nükleosentezinden nükleer reaktörlere kadar çok çeşitli nükleer uygulamalar için önem arz etmektedir (Tagliente vd. 2010, Quesada Molina vd. 2013, Santoro 2013, Ronen 2001). Radyoaktif çekirdeklerin büyük çoğunluğunun nötron yakalama

reaksiyon tesir kesitlerinin hem temel hem de uygulamalı nükleer bilimdeki önemine rağmen bu reaksiyonlar hakkında bilgi eksikliği vardır. Radyoaktif çekirdeklerin kökenini anlamak nükleer bilimdeki en önemli zorluklardan biridir ve bu durumun detaylı analiz yollarından birisi, nükleosentez boyunca üretilen radyoaktif çekirdekler için nötron yakalama tesir kesitlerinin bilinmesidir. Geçtiğimiz yüzyılda, nükleer

reaktörlerde yüksek miktarda enerjiden yararlanabilmek için nötron kaynaklı reaksiyonlardan yararlanılmıştır. Kullanılma amaçlarından birisi, büyük nötron yakalama tesir kesitine sahip çekirdekler yakıtta zehir görevi görerek performansı düşürebilir veya yakıt reaktivitesini kontrol etmek için kasıtlı olarak eklenebilir.

Nötron yakalama reaksiyonları ile ilgili literatürde çok sayıda teorik (Aydın vd. 2008, Tel vd. 2008, Kaplan vd. 2011, Canbula 2017b, Özdoğan vd. 2021, Watanabe vd. 2010) ve deneysel (Gandhi vd. 2021, Makwana vd. 2017, Gandhi vd. 2020, Mulik vd. 2013) çalışma mevcuttur. Yapılan teorik ve deneysel çalışmalar ile nötron bombardımanına tutulan hedef çekirdeklerin oluşturdukları reaksiyonların analizleri yapılmaya çalışılarak literatüre katkı sağlanmaya çalışılmış ve çalışılmaya devam edilmektedir.

Çekirdeklerin nötron-proton sayılarına bağlı dağılımları incelendiğinde, kütle numarası 80 civarında olan çekirdeklerin kararlılıktan uzak olması, süper deforme olmuş şekilleri, titreşim ve dönme serbestlik derecelerinin önemi gibi çeşitli motivasyonlarından dolayı büyük ilgi alanlarından birisi haline gelmiştir. Bu bölge civarında yer alan çekirdekler kolektif ve tek parçacık serbestlik derecelerinin etkileşimini gözlemek için idealdir. Son yıllarda, itriyum (Y) izotopları ilginç özelliklerinden (prolate-oblate karışımı, şekil geçişi gibi) dolayı araştırmacıların büyük ilgisini çekmiştir. İtiryum izotoplarının teorik modeller için test edilebilme imkanı sunması ve yapılarının teorik olarak izotopik zincirler boyunca daha fazla araştırılabilir olması da önemini artırmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, bir nötron yakalama reaksiyon tesir kesiti üzerinde kolektif etkilerin önemini araştırmaktır. Bu amaç doğrultusunda, bir nötron yakalama reaksiyonu olan $^{89}\text{Y}(n,g)^{90}\text{Y}$ analiz edilmiştir. Bu reaksiyon ile ilgili çalışmalar 1951 yılında başlamış olup günümüze kadar birçok deneysel grup tarafından farklı farklı teknikler kullanılarak çalışılmıştır (Benoist vd. 1951, Perkin vd. 1958, Booth vd. 1958, Diven vd. 1960, Gibbons vd. 1961, Macklin vd. 1963, Csikai vd. 1967, Macklin ve Gibbons 1967, Stuepegia vd. 1968, Rigaud vd. 1970, Ryves 1971, Voignier vd. 1992). Bu çalışmada yapılan hesaplamalarda, dört farklı nükleer seviye yoğunluğu modeli opsiyonel birer girdi olarak kullanılmış ve tesir kesiti değerleri her model için hesaplanarak modeller hem birbirleri hem de deneysel veriler ile karşılaştırılmıştır. Kolektif etkilerin (titreşim ve dönme) doğrudan veya dolaylı

olarak hesaplara dahil edildiği modeller analiz edilerek deneysel verileri sağlayan en başarılı model belirlenmiştir.

Çalışmanın devamında, 2. Bölümde hesaplamalarda kullanılan teorik detaylar, 3. Bölümde elde edilen bulgular ve tartışma, ve 4. Bölümde hesaplamalardan çıkarılan sonuçlar sunulmuştur.

2. Materyal ve Metot

2.1 Nükleer Seviye Yoğunluğu Modelleri

Nükleer seviye yoğunluğu, belirli uyarılma enerjisi civarındaki uyarılmış seviyelerin sayısıdır. Bu uyarılma enerjileri düşük enerjilerde gözle ayırt edilip sayılabilirken artan enerjilerde seviyeler sıklaşır ve sürekli bir dağılım sergilerler. Dolayısıyla, bu sıklaşan dağılım nükleer seviye yoğunluğu olarak adlandırılan bir fonksiyon yardımıyla tanımlanır. İstatistiksel yöntemlerde, özellikle nükleer reaksiyonları tanımlamak için Hauser-Feshbach teorisi (Hauser ve Feshbach 1952) ve nükleer seviye yoğunluğu bilgisi çok önemlidir (Rauscher vd. 1997, Rauscher ve Thielemann 2000, Möller vd. 2009). Nükleer seviye yoğunluğu fonksiyonu ile ilgili ilk çalışma 1937 yılında Bethe (Bethe 1937) tarafından yapılmıştır. En basit ve en temel model olan bu çalışma, Fermi gaz modeli olarak da adlandırılır ve bu modele göre, parçacıklar arası etkileşimin olmadığı, tek parçacık seviyelerinin eşit aralıklarla yerleştirildiği ve kolektif (titreşim ve dönme) etkilerin olmadığı kabul edilir. Uyarılma enerjisi U , spin J ve parite Π 'ye bağlı nükleer seviye yoğunluğu fonksiyonu,

$$\rho(U, J, \Pi) = \frac{1}{2} \frac{2J+1}{2\sqrt{2\pi}\sigma^3} \exp \left[-\frac{(J+\frac{1}{2})^2}{2\sigma^2} \right] \frac{\sqrt{\pi}}{12} \frac{\exp [2\sqrt{aU}]}{a^{1/4} U^{5/4}},$$

(1)

ile verilir (Demetriou ve Goriely 2001, Hilaire ve Goriely 2006, Nerlo-Pomorska vd. 2002, Nerlo-Pomorska vd. 2006, Newton 1956, Dilg vd. 1973, Krusche ve Lieb 1986, von Egidy vd. 1988). Burada σ spin-limit parametresidir. Spinler ve pariteler üzerinden toplam seviye yoğunluğu fonksiyonu aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$\rho^{top}(U, a) = \frac{1}{12\sqrt{2}\sigma} \frac{\exp [2\sqrt{aU}]}{a^{1/4} U^{5/4}}. \quad (2)$$

Nükleer seviye yoğunluğunun temel değişkeni olan seviye yoğunluğu parametresi a (Ignatyuk vd. 1975)

$$a(U) = \tilde{a} \left(1 + \delta W \frac{1 - \exp[-\gamma U]}{U} \right) \quad (3)$$

ile elde edilir. \tilde{a} asimptotik seviye yoğunluğu parametresidir ve yüksek enerjilerde gidilecek limit değeri belirler, δW kabuk düzeltme parametresini ve γ sönüm parametresini temsil etmektedir.

Nükleer seviye yoğunluğu modelleri içinde geri-kaydırılmış Fermi gaz modeli (Back-Shifted Fermi Gas Model-BSFGM) (Bethe 1937), Fermi gaz modeli temel alır, ancak farklı olarak nükleon çiftlerini ayrı ayrı uyarılmadan önce ayırmak için gereken enerjiye karşılık gelen bir enerji kayma parametresi içerir. Literatürde en yaygın kullanılan modellerden bir tanesidir. İlerleyen yıllarda, çekirdeğin uyarılma enerjisi bölgesini iki bölümde ele alan sabit sıcaklık model (Constant Temperature Model-CTM) (Gilbert ve Cameron 1965) ortaya konmuştur. Bu modele göre, düşük uyarılma enerjisinden bir eşleşme enerjisine kadar sabit sıcaklık parametresinin geçerli olduğu, eşleşme enerjisinden yüksek enerjilerde Fermi gaz modeli geçerli olduğu kabul edilmektedir. Bu modelde, eşleşme enerjisinin yerinin belirlenmesi ile ilgili bir problem oluşmasına rağmen, nükleer reaksiyon hesaplamalarında düşük enerjilerdeki başarısından dolayı literatürde yaygın olarak kullanılan modellerden bir diğeridir. Benzer başka bir model olan genelleştirilmiş süperakışkan model (Generalized Superfluid Model-GSM) uyarılma enerjisi bölgesini iki bölümde ele alır. Yüksek enerjilerde diğer modeller gibi Fermi gaz modelini temel alırken, düşük uyarılma enerjilerinde süper iletken çiftlenme korelasyonlarını hesaba dahil eder. Böylece, eşleşme enerjisi süperakışkan davranıştan bir faz geçişi ile karakterize edilir. Bu üç modelde de, Ignatyuk'un (Ignatyuk 1975) iyi bilinen seviye yoğunluğu formülasyonu kullanılır. Bu modellerde çekirdeğin dönme ve titreşim etkileri anlamına gelen kollektif etkiler formülasyona birer çarpan olarak

$$\rho(U, a) = K_{rot} K_{vib} \rho_{iç} \quad (4)$$

ile ilave edilerek hesaplamalar yapılmaktadır. Burada, $\rho_{iç}$ yalnızca saf tek parçacık uyarılmalarını tanımlayan nükleer seviye yoğunluğu, K_{rot} ve K_{vib} sırasıyla kollektif etkileri oluşturan dönme ve titreşim etkilerine karşılık gelmektedir.

Yakın zamanda çalışma grubumuz tarafından ortaya konan nükleer seviye yoğunluğu formülasyonunda (Collective Semi Classical Fermi Gas Model-CSCFGM), kollektif etkiler en temelde seviye yoğunluğu parametresinin içerisine dahil edilmiştir (Canbula vd. 2014). Ayrıca, önerdiğimiz bu yeni formülasyon ayarlanabilir tüm parametrelerden arındırılarak kullanılan parametreler fiziksel olarak anlamlandırılmıştır. Modele göre, nükleer seviye yoğunluğu parametresi a ,

$$a(U) = \tilde{a} \left(1 + A_c \frac{S_n}{U} \frac{\exp(-|U-E_0|/\sigma_c'^3)}{\sigma_c'^3} \right) \quad (5)$$

ile elde edilir. Burada, A_c kollektif şiddet, S_n nötron ayrılma enerjisi ve E_0 çift-çift çekirdeklerin ilk 2^+ durumlarının uyarılma enerjisine karşılık gelmektedir. Modelimizin kullanıldığı daha önceki çalışmalarda farklı reaksiyonlardaki etkisi sunulmuştur (Canbula 2017a, Canbula 2020a, Canbula 2020b, Canbula 2021).

Nükleer seviye yoğunluğunun güvenilir bir tanımı, hem düşük hem de yüksek uyarılma enerjisi bölgesindeki bir çekirdeğin uyarılmış seviyelerini tanımlayabilmelidir. Bu nedenle, bu güvenilirliği ve doğruluğu test edebilmek için deneysel olarak bilinen ayrı seviyeler kullanılır. Nükleer seviye yoğunluğunu test etmek için deneysel olarak bilinen ayrı seviyelerden yararlanılır. Deneysel ve teorik değerler arasındaki uyum testini yapabilmek için

$$f_{lev} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sum_{k=N_L^i}^{N_U^i} \frac{[N_{küm}^i(E_k - k)]^2}{k} \quad (6)$$

formülü kullanılır. Burada, E_L uyarılma enerjisi ile N_L en düşük seviyeyi, E_U uyarılma enerjisi ile N_U en yüksek seviyeyi göstermek üzere, uyarılmış seviyelerin kümülatif sayısı,

$$N_{küm}(E) = N_L + \int_{E_L}^E \rho^{top}(E) dE, \quad (7)$$

formülü ile hesaplanır. Ayrıca, teorik nötron rezonans boşlukları D_0^{teo} , nötron ayrılma enerjisi S_n , spin ve pariyete bağlı nükleer seviye yoğunluğu kullanılarak,

$$\frac{1}{D_0^{teo}} = \sum_{J=|I-\frac{1}{2}|}^{J=I+\frac{1}{2}} \rho(S_n, J, \Pi) \quad (8)$$

formülü yardımıyla hesaplanır. Burada I hedef çekirdeğin toplam açısal momentumudur. Hesaplanan nötron rezonans boşluklarının deneysel veriler ile karşılaştırılması için kullanılacak olan kalite faktörü N çekirdek sayısı olmak üzere,

$$f_{rms} = \exp \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\ln \frac{D_{0,i}^{teo}}{D_{0,i}^{den}} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (9)$$

ile hesaplanır (Capote vd. 2009). En düşük f_{lev} ve f_{rms} değerleri en iyi model sonuçlarına karşılık gelir. En iyi uyum $f_{lev} = 0$ ve $f_{rms} = 1$ olduğu değerlerdir. Nükleer seviye yoğunluğu modellerine ait f_{lev} ve f_{rms} değerleri Çizelge 1 de sunulmuştur. Efektif sonuçların anlamı, kollektif etkileri dahil etmek için herhangi bir belirgin artırma faktörü içermedikleridir.

2.2 TALYS Bilgisayar Kodu

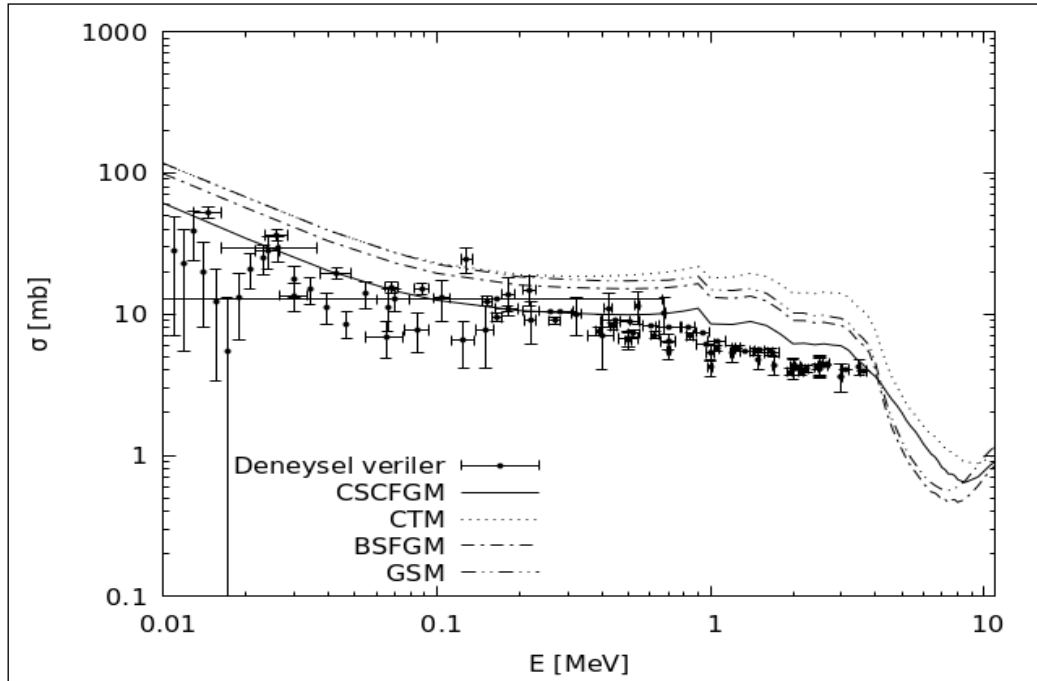
TALYS (Koning 2019) bilgisayar kodu, hafif parçacıklar (proton, nötron, döteron, triton, alfa gibi) ile indüklenen nükleer reaksiyonların simülasyonunu yapmaya imkan tanıyan bir programdır. 1 keV enerjiden 1 GeV enerjiye kadar nükleer reaksiyonların analizine imkan tanır. Ayrıca, programa, nükleer seviye yoğunluğu, gama ışınım şiddet fonksiyonu gibi ifadeler birer opsiyonel girdi

olarak dahil edilerek hesaplamaların daha detaylı analiz edilmesine imkan verir. TALYS bilgisayar kodunun kullanılarak analiz edilmiş nükleer reaksiyonlar literatürde mevcuttur (Özdoğan vd. 2018, Kaplan vd. 2018, Özdoğan vd. 2020, Şekerci vd. 2019, Özdoğan vd. 2021, Şekerci vd. 2020, Sarpün vd. 2019).

3. Bulgular

Bu çalışmada, $^{89}\text{Y}(n,g)^{90}\text{Y}$ reaksiyonunun tesir kesiti değerleri literatürde yer alan farklı nükleer seviye yoğunluğu modelleri kullanılarak TALYS bilgisayar kodu yardımıyla hesaplanmıştır. Elde edilen değerler Uluslararası deneysel veri tabanı Exfor'dan (Otuka vd. 2014) alınan deneysel veriler (Benoist vd. 1951, Perkin vd. 1958, Booth vd. 1958, Diven vd. 1960, Gibbons vd. 1961, Macklin vd. 1963, Csikai vd. 1967, Macklin ve Gibbons 1967, Stupegia vd. 1968, Rigaud vd. 1970, Ryves 1971, Voignier vd. 1992) ile karşılaştırılarak Şekil 1 ile sunulmuştur.

Şekil 1 incelendiğinde, 10 MeV gelen parçacık enerjisine kadar hesaplama sonuçları görülmektedir. Kollektif etkileri birer çarpan olarak sonradan hesaba dahil eden CTM, BSFGM ve GSM modellerinin deneysel verilerden uzak tahminler verdiği anlaşılmaktadır.



Şekil 1. $^{89}\text{Y}(n,g)^{90}\text{Y}$ reaksiyonu için nükleer seviye yoğunluğu modelleri ile hesaplanan tesir kesiti değerlerinin deneysel veriler ile karşılaştırması.

Çizelge 1. Nükleer seviye yoğunluğu modellerinin kalite faktörlerinin karşılaştırılması.

Model	Tür	f_{rms}	f_{lev}
CSCFGM	Kollektif	1,53	1,32
BSFGM	Efektif	1,68	28,5
BSFGM	Kollektif	1,71	35,3
CTM	Efektif	1,76	24,2
CTM	Kollektif	1,77	47,8
GSM	Efektif	1,78	28,0
GSM	Kollektif	1,94	47,4

Çizelge 1'e bakıldığında kullanılan tüm modellerin kalite faktörleri görülmektedir. Hem efektif hem de kollektif sonuçlar değerlendirildiğinde CSCFGM modelinin en iyi kalite faktörü değerlerini sağladığı ortaya konmuştur. Bu sonuçları test etmenin en önemli yollarından bir tanesi de reaksiyon hesaplamaları ile sonuçları karşılaştırarak sunmaktır. Bu çalışmada, amaçlardan bir tanesi de, nötron yakalama reaksiyonu olan $^{89}\text{Y}(n,g)^{90}\text{Y}$ reaksiyonunun tesir kesiti hesaplamalarında kollektif etkilerin hesaba dahil edilmesinin ne derece önemli olduğunu gösterebilmektir. Şekil 1'deki sonuçlar incelendiğinde görülüyor ki bu reaksiyonun deneysel tesir kesiti değerlerine, hesaplamaların yapıldığı tüm enerji bölgesinde en yakın tahmini yapan nükleer seviye yoğunluğu modeli CSCFGM olmuştur. Reaksiyon çalışmalarında, teorik çalışmalar var olan deneysel verilerin en iyi şekilde açıklanması için oldukça önemlidir. Çünkü, mevcut deneysel verilerin altında ve üstündeki enerji aralıklarında deneysel çalışmaların yapılmasının zor olduğu durumlarda sonuçları iyi açıklayan bir teorik modelin var olmayan bölgelerde de güvenle kullanılarak ön tahmin yapılmasına olanak sağlanmış olur.

4. Tartışma ve Sonuç

Özetlersek, bu çalışmada nötron yakalama reaksiyonlarının tesir kesitleri üzerinde kollektif etkilerin varlığının ne derece önemli olduğu araştırılmıştır. Bunun için, $^{89}\text{Y}(n,g)^{90}\text{Y}$ reaksiyonu seçilerek bu reaksiyonun tesir kesiti değerleri dört farklı nükleer seviye yoğunluğu modeli ile ayrı ayrı hesaplanmış ve tahminler deneysel veriler ile karşılaştırılmıştır. Hesaplamalar iyi bilinen ve literatürde yaygın olarak kullanılan TALYS bilgisayar kodu ile yapılmıştır. Sonuçlar değerlendirildiğinde,

Denklem (2.4) ile verilen formülasyona göre kollektif etkilerin birer çarpan şeklinde iyileştirme faktörü olarak en son adımda hesaplamalara dahil edilmesi ile elde edilen sonuçların kalite faktörlerinin oldukça kötü değerlere sahip oldukları Çizelge 1. de açıkça görülmektedir. Dolayısıyla, bu çalışma ile, Denklem (2.5)'in $^{89}\text{Y}(n,g)^{90}\text{Y}$ nötron yakalama reaksiyonunun tesir kesiti hesabında kullanılması ile elde edilen sonuçların hem kalite faktörleri çizelgesinde hem de Şekil 1 de görüldüğü üzere modeller içerisinde en iyi sonucu verdiği görülmektedir. Böylece, bu çalışma ile incelemiş olduğumuz nötron yakalama reaksiyonunun tesir kesiti hesaplamalarında, kollektif etkilerin hesaplamalara sonradan birer çarpan olarak değil en temelde dahil edilmesi gerekliliği sunulmuştur.

5. Kaynaklar

- Aydin, A., Tel, E., Kaplan, A., 2008. Calculation of 14–15 MeV (n, d) reaction cross sections using newly evaluated empirical and semi-empirical systematics. *Journal of Fusion Energy*, **27**(4), 308-313.
- Benoist, P., Kowarski, L., Netter, F., 1951. Mesures d'absorption des neutrons thermiques par la modulation d'une pile. *Journal of Physics Radium*, **12**(5), 584-589.
- Bethe, H. A., 1937. Nuclear physics B. Nuclear dynamics, theoretical. *Reviews of Modern Physics*, **9**(2), 69.
- Booth, R., Ball, W. P., MacGregor, M., H. 1958. Neutron activation cross sections at 25 keV. *Physical Review*, **112**(1), 226.
- Canbula, B., Bulur, R., Canbula, D., Babacan, H., 2014. A Laplace-like formula for the energy dependence of the nuclear level density parameter. *Nuclear Physics A*, **929**, 54-70.
- Canbula, B., 2017a. Collective effects in deuteron induced reactions of aluminum. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, **391**, 73-77.
- Canbula, B., 2017b. Bazı tellür izotoplarının nötron yakalama tesir kesiti analizi. *Celal Bayar University Journal of Science*, **13**(2), 445-455.
- Canbula, B., 2020a. 55Mn İzotopunun fotonükleer tesir kesitleri üzerinde kollektif nükleer seviye yoğunluğunun etkisi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, **24**(1), 138-142.
- Canbula, D., 2020b. Cross section analysis of proton-

- induced nuclear reactions of thorium. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, **478**, 229-232.
- Canbula, D., 2021. Hafif Nadir Toprak Elementi 144Sm İzotopunun Fotonükleer Tesir Kesiti Hesabı. *International Journal of Pure and Applied Sciences*, **7**(2), 314-320.
- Capote, R., Herman, M., Obložinský, P., Young, P. G., Goriely, S., Belgia, T., ... Reffo, G., 2009. RIPL—reference input parameter library for calculation of nuclear reactions and nuclear data evaluations. *Nuclear Data Sheets*, **110**(12), 3107-3214.
- Csikaj, J., Petö, G., Buczko, M., Miligy, Z., Eissa, N. A., 1967. Radiative capture cross sections for 14.7 MeV neutrons. *Nuclear Physics A*, **95**(1), 229-234.
- Demetriou, P., Goriely, S., 2001. Microscopic nuclear level densities for practical applications. *Nuclear Physics A*, **695**(1-4), 95-108.
- Dilg, W., Schantl, W., Vonach, H., Uhl, M., 1973. Level density parameters for the back-shifted fermi gas model in the mass range $40 < A < 250$. *Nuclear Physics A*, **217**(2), 269-298.
- Diven, B. C., Terrell, J., Hemmendinger, A., 1960. Radiative capture cross sections for fast neutrons. *Physical Review*, **120**(2), 556.
- Gandhi, A., Sharma, A., Kumar, A., Pachuau, R., Lalremruata, B., Suryanarayana, S. V., ... Nayak, B. K., 2020. Measurement of (n, γ), (n, p), and (n, 2 n) reaction cross sections for sodium, potassium, copper, and iodine at neutron energy 14.92 ± 0.02 MeV with covariance analysis. *Physical Review C*, **102**(1), 014603.
- Gandhi, A., Sharma, A., Pachuau, R., Singh, N., Patil, P. N., Mehta, M., ... Kumar, A., 2021. Neutron capture reaction cross section measurement for iodine nucleus with detailed uncertainty quantification. *The European Physical Journal Plus*, **136**(8), 1-17.
- Gibbons, J. H., Macklin, R. L., Miller, P. D., Neiler, J. H., 1961. Average radiative capture cross sections for 7- to 170-keV neutrons. *Physical Review*, **122**(1), 182.
- Gilbert, A., ve Cameron, A. G. W., 1965. A composite nuclear-level density formula with shell corrections. *Canadian Journal of Physics*, **43**(8), 1446-1496.
- Hauser, W., Feshbach, H., 1952. The inelastic scattering of neutrons. *Physical review*, **87**(2), 366.
- Hilaire, S., Goriely, S., 2006. Global microscopic nuclear level densities within the HFB plus combinatorial method for practical applications. *Nuclear Physics A*, **779**, 63-81.
- Ignatyuk, A. V., 1975. Contribution of collective motions to density of excited-states of a nucleus. *Soviet Journal of Nuclear Physics-Ussr*, **21**(1), 10-14.
- Ignatyuk, A. V., Smirenkin, G. N., Tishin, A. S., 1975. Phenomenological description of energy dependence of the level density parameter. *Yadernaya Fizika*, **21**(3), 485-490.
- Kaplan, A., Büyüksulu, H., Tel, E., Aydin, A., Bölükdemir, M. H., 2011. Investigation of the neutron emission spectra of some deformed nuclei for (n, xn) reactions up to 26 MeV energy. *Indian Journal of Physics*, **85**(11), 1615-1629.
- Kaplan, A., Şekerci, M., Demir, B., 2018, August. Neutron production cross-section calculations for some gamma and proton induced reactions on 89Y. *In AIP Conference Proceedings* (Vol. 1994, No. 1, p. 020009). AIP Publishing LLC.
- Koning, A.J., Hilaire, S., Duijvestijn, M.C., 2019. TALYS 1.95 A nuclear reaction program. <http://www.talys.eu/>
- Krusche, B., Lieb, K. P., 1986. Dipole transition strengths and level densities in $A \leq 80$ odd-odd nuclei obtained from thermal neutron capture. *Physical Review C*, **34**(6), 2103.
- Macklin, R. L., Gibbons, J. H., Inada, T., 1963. Neutron capture cross sections near 30 keV using a Moxon-Rae detector. *Nuclear Physics*, **43**, 353-362.
- Macklin, R. L., ve Gibbons, J. H., 1967. Capture-cross-section studies for 30—220-keV neutrons using a new technique. *Physical Review*, **159**(4), 1007.
- Makwana, R., Mukherjee, S., Mishra, P., Naik, H., Singh, N. L., Mehta, M., ... , Khirwadkar, S., 2017. Measurements of the cross sections of the W 186 (n, γ) W 187, W 182 (n, p) Ta 182, Gd 154 (n, 2 n) Gd 153, and Gd 160 (n, 2 n) Gd 159 reactions at neutron energies of 5 to 17 MeV. *Physical Review C*, **96**(2), 024608.
- Möller, P., Sierk, A. J., Ichikawa, T., Iwamoto, A., Bengtsson, R., Uhrenholt, H., Åberg, S., 2009. Heavy-element fission barriers. *Physical Review C*, **79**(6), 064304.
- Mulik, V. K., Naik, H., Suryanarayana, S. V., Dhole, S. D., Prajapati, P. M., Shivashankar, B. S., ... Goswami, A., 2013. Measurement of 56Fe (n, p) 56Mn reaction

- cross-section at $E_n = 5.9, 9.85, 14.8$ and 15.5 MeV. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, **296**(3), 1321-1329.
- Nerlo-Pomorska, B., Pomorski, K., Bartel, J., Dietrich, K., 2002. Nuclear level densities within the relativistic mean-field theory. *Physical Review C*, **66**(5), 051302.
- Nerlo-Pomorska, B., Pomorski, K., Bartel, J., 2006. Shell energy and the level-density parameter of hot nuclei. *Physical Review C*, **74**(3), 034327.
- Newton, T. D., 1956. Shell effects on the spacing of nuclear levels. *Canadian Journal of Physics*, **34**(8), 804-829.
- Otuka, N., Dupont, E., Semkova, V., Pritychenko, B., Blokhin, A. I., Aikawa, M., ... Lalremruata, B., 2014. Towards a more complete and accurate experimental nuclear reaction data library (EXFOR): international collaboration between nuclear reaction data centres (NRDC). *Nuclear Data Sheets*, **120**, 272-276.
- Özdoğan, H., Şekerci, M., Sarpün, İ. H., Kaplan, A., 2018. Investigation of level density parameter effects on (p, n) and $(p, 2n)$ reaction cross-sections for the fusion structural materials ^{48}Ti , ^{63}Cu and ^{90}Zr . *Applied Radiation and Isotopes*, **140**, 29-34.
- Özdoğan, H., Şekerci, M., Kaplan, A., 2020. An Investigation on the Effects of Some Theoretical Models in the Cross-Section Calculations of $^{50, 52, 53, 54}\text{Cr}$ (α, x) Reactions. *Physics of Atomic Nuclei*, **83**(6), 820-827.
- Özdoğan, H., Şekerci, M., Kaplan, A., 2021. Production cross-section and reaction yield calculations for $^{123-126}\text{I}$ isotopes on ^{123}Sb (α, xn) reactions. *Kuwait Journal of Science*, **48**(2).
- Özdoğan, H., Üncü, Y. A., Şekerci, M., Kaplan, A., 2021. A study on the estimations of (n, t) reaction cross-sections at 14.5 MeV by using artificial neural network. *Modern Physics Letters A*, **36**(23), 2150168.
- Perkin, J. L., O'connor, L. P., Coleman, R. F., 1958. Radiative capture cross sections for 14.5 MeV neutrons. *Proceedings of the Physical Society (1958-1967)*, **72**(4), 505.
- Quesada Molina, J. M., Lederer, C., Massimi, C., Altstadt, S. G., Andrzejewski, J., Audouin, L., ... , Bécares, V., 2013. Neutron capture cross section of unstable ^{63}Ni : implications for stellar nucleosynthesis. *Physical Review Letters*, **110** (2), 022501-1-022501-5.
- Rauscher, T., Thielemann, F. K., Kratz, K. L., 1997. Nuclear level density and the determination of thermonuclear rates for astrophysics. *Physical Review C*, **56**(3), 1613.
- Rauscher, T., Thielemann, F. K., 2000. Astrophysical reaction rates from statistical model calculations. arXiv preprint astro-ph/0004059.
- Rigaud, F., Roturier, J., Irigaray, J. L., Petit, G. Y., Longo, G., Saporetti, F., 1970. Radiative neutron capture on Si, Rb, Sr and Y in the dipole giant resonance region. *Nuclear Physics A*, **154**(2), 243-260.
- Ronen, Y., Aboudy, M., Regev, D., 2001. Homogeneous 242mAm -Fueled Reactor for Neutron Capture Therapy. *Nuclear science and engineering*, **138**(3), 295-304.
- Ryves, T. B., 1971. Further activation thermal neutron capture cross sections and resonance integrals. *National Physical Lab.*, Teddington, Eng.
- Santoro, A., Iljadica, F., Cohen, I. M., 2013. The production of ^{172}Tm by triple neutron capture in nuclear reactors. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, **298**(3), 1973-1976.
- Sarpün, İ. H., Özdoğan, H., Taşdöven, K., Yalim, H. A., Kaplan, A., 2019. Theoretical photoneutron cross-section calculations on Osmium isotopes by Talys and Empire codes. *Modern Physics Letters A*, **34**(26), 1950210.
- Stupegia, D. C., Schmidt, M., Keedy, C. R., Madson, A. A., 1968. Neutron capture between 5 keV and 3 MeV. *Journal of Nuclear Energy*, **22**(5), 267-281.
- Şekerci, M., Özdoğan, H., Kaplan, A., 2019. Investigation on the different production routes of ^{67}Ga radioisotope by using different level density models. *Moscow University Physics Bulletin*, **74**(3), 277-281.
- Şekerci, M., Özdoğan, H., Kaplan, A., 2020. Level density model effects on the production cross-section calculations of some medical isotopes via (α, xn) reactions where $x = 1-3$. *Modern Physics Letters A*, **35**(24), 2050202.
- Tagliente, G., Milazzo, P. M., Fujii, K., Abbondanno, U., Aerts, G., Alvarez, H., ..., n_TOF Collaboration, 2010. The ^{92}Zr (n, γ) reaction and its implications for stellar nucleosynthesis. *Physical Review C*, **81**(5), 055801.
- Tel, E., Aydın, A., Kaplan, A., Şarer, B., 2008. Investigation of $14-15$ MeV (n, t) Reaction Cross-sections by Using New Evaluated Empirical and Semi-empirical Systematic Formulas. *Journal of Fusion Energy*, **27**(3), 188-194.
- Watanabe, T., Kawano, T., Chadwick, M. B., Nelson, R. O., Hilaire, S., Bauge, E., Dossantos-Uzarralde, P., 2010.

Calculation of prompt fission product average cross sections for neutron-induced fission of ^{235}U and ^{239}Pu . *Journal of Nuclear Science and Technology*, **47**(5), 478-481.

Voignier, J., Joly, S., Grenier, G., 1992. Capture cross sections and gamma-ray spectra from the interaction of 0.5-to 3.0-MeV neutrons with nuclei in the mass range $A= 45$ to 238 . *Nuclear Science and Engineering*, **112**(1), 87-94.

Von Egidy, T., Schmidt, H. H., Behkami, A. N., 1988. Nuclear level densities and level spacing distributions: Part II. *Nuclear Physics A*, **481**(2), 189-206.

ZnO/Kitosan Hibrit Nano Geçirgen Mikroküreciklerin Ultrasonik Fabrikasyonu

Özlem ÜNLÜ^{1*}, Mecit AKSU¹

¹Düzce Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Düzce.

*Sorumlu yazar e-posta: ozlemilkin@duzce.edu.tr ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-1818-6646>
mecitaksu@duzce.edu.tr ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-9405-1217>

Geliş Tarihi: 17.06.2022

Kabul Tarihi: 10.08.2022

Öz

Sonokimyasal reaksiyonlarda, sıvıdaki ultrasonik dalgaların ve kabarcıkların etkileşimi, kimyasal aktivitenin başlaması veya artması gibi birçok olaya neden olabilir. Nano malzemelerin sentezinde akustik kaviteasyon sırasında oluşan H ve OH radikalleri bir çok yükseltgenme ve indirgemeleri tetikler. Bu çalışmada, sonokimyasal oluşum ile katalitik ve biyomateryal çekirdek/kabuk morfolojisinin sentezi ve ultrasonik dalga yoğunluğunun biyomalzeme boyutuna etkisi araştırılmıştır. Çekirdek kabuk morfolojisine sahip mikrokürecikler hazırlamak için yeni bir tek adımlı ultrasonik yöntem geliştirildi. Mikroküreciklerin boyutunu ve morfolojisini belirlemek için optik mikroskop, Taramalı Elektron mikroskobu (SEM) kullanıldı. Yüzey morfolojisi, Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM) kullanılarak yeniden incelendi. Sonikasyon süresi 18 dk olarak ayarlandığında istenen mikrokürecikler elde edildi. Mikroküreciklerin kabuğu biyolojik olarak parçalanabilen kitosandır ve çekirdek ZnO nanoparçacıklardır. Çekirdek kabuk morfolojisine sahip mikroküreciklerin sentezi için geliştirilen reaksiyon yöntemi hızlı ve düşük maliyetlidir.

Anahtar kelimeler

Kitosan; Sonokimya;
Çinko oksit; Nano-
geçirgen mikrokürecik

Ultrasonic Fabrication Of ZnO/Chitosan Nano Permeable Microspheres

Abstract

In sonochemical reactions, the interaction of ultrasonic waves and bubbles in liquid phase can initiate or increase chemical activity. In the synthesis of nanomaterials, H and OH radicals formed during acoustic cavitation are triggered a lot of oxidation and reductions. In the present study, the synthesis of sonochemical formation and catalytic and biomaterial core/shell morphology and the effect of ultrasonic waves intensity on biomaterial size were investigated. A new one-step ultrasonic method was fabricated to prepare microspheres with core shell morphology. Optical microscope, Scanning Electron microscope (SEM) were used to determine the size and morphology of the microspheres. Surface morphology was examined using Atomic Force Microscopy (AFM). The desired microspheres were obtained when the sonication time was set to 18 min. The shell of the microspheres is biodegradable chitosan, and the core is ZnO nanoparticles. The reaction method developed for the synthesis of microspheres with core shell morphology is fast and low cost.

Keywords

Chitosan;
Sonochemistry; Zinc
oxide; Nano-
permeable
microspheres

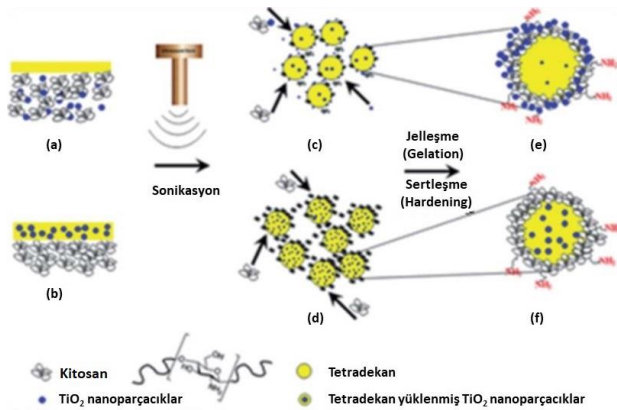
© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

Çözelti fazında yüksek frekanslı ses dalgalarının oluşturduğu akustik kaviteasyon ile meydana gelen sonokimyasal reaksiyonlar her geçen gün daha da önem kazanmaktadır (Hiremath *et al.* 2020, Savun-Hekimoğlu 2020, Walton 2002). Yüksek yoğunluklu ses dalgaları ile damlacıkların sıvı içinde oluşması, büyümesi ve ani bozunması süreci olan akustik kaviteasyon 1980 yılından beri araştırmacılar

tarafından yaygın olarak kullanılmaktadır (Neppiras 1980, Suslick 1990). Nano malzemelerin sulu veya susuz bir ortamda sentezlenmesinde çekirdek-kabuk morfolojisine sahip mikrokürecikler, biyomedikal, kataliz ve gıda endüstrisinde kullanılabilirliği açısından dikkat çekmektedir (Zhang *et al.* 2011, Zhou *et al.* 2015). Doğal ve ucuz bir kopolimer olan kitosan biyomedikal ve farmasötik uygulamalarda büyük potansiyele sahiptir (Illum

1998, Kumar *et al.* 2004, Mini *et al.* 2016, Panos *et al.* 2008, Varshosaz 2007). Kitosanın yapısal özellikleri, kolay çözünmesine, çözelti pH'ının bir fonksiyonu olarak kontrollü çökmeye ve basit yapısal ve kimyasal değişikliklere izin vermektedir (Colombo *et al.* 2017). Özellikle kitosan yapısı içinde bulunan serbest amino fonksiyonel grupları, biyopolimere asidik çözeltilerde pozitif bir yük verir ve birçok negatif yüklü malzemeye ve yüzeye bağlanmasına olanak sağlar (Zhou *et al.* 2015). Kitosan mikroküreler elde etmek için geliştirilen bir çok farklı metot olmasına rağmen, kitosanın zayıf mekanik mukavemeti nedeniyle mikroküre eldesi hayli zorlu bir konudur (Filipović-Grčić *et al.* 2000, He *et al.* 1999, Perugini *et al.* 2000, Xu *et al.* 2009, Zubieta *et al.* 2008). Bu nedenle, kitosan mikrokürelerin mekanik mukavemeti, stabilitesi ve yüzey işlevselliğini sağlamak için kitosan kabuğunun metal veya metal oksit kullanılarak modifikasyonu büyük ilgi görmektedir (Babgi *et al.* 2016, Baxter *et al.* 2009, Yusof *et al.* 2016, Zhao *et al.* 2011, Zhou *et al.* 2015). Daha önceki çalışmamızda, yüksek yoğunlukta ultra ses kullanmak suretiyle kitosan-TiO₂ hibrit mikrokürecikler elde edilmiş ve bu yaklaşım kullanılarak nano geçirgen mikrokürecikler üretilmiştir (Zhou *et al.* 2015). Oyuk kitosan-TiO₂ mikrokürecikler, etkili basit ve ucuz bir metot ile elde edilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. TiO₂ yüklenmiş kitosan mikroküreciklerin oluşumunun muhtemel mekanizması a) TiO₂ dağılmış sulu kitosan çözeltisine tetradekan katman b) sulu kitosan çözeltisi üzerine dağılmış tetradekanda yayılmış TiO₂ c) Ultrasonik olarak damlacıkların TiO₂/kitosana kaplanması d) kitosan ile kaplanmış TiO₂ yüklenmiş tetradekan damlacıkları e) mikroküreciklerin kitosan

kabuğuna TiO₂ yüklenmesi ve (f) kitosan mikroküreciklerin içine TiO₂ yüklenmesi (Zhou *et al.* 2015).

Literatürde farklı metotlar (Babgi *et al.* 2016, Genc *et al.* 2016, Ghows and Entezari 2012, Mini *et al.* 2016, Pandiselvi and Thambidurai 2014, Wang *et al.* 2016, Xiao *et al.* 2016, Yusof *et al.* 2016, Zhou *et al.* 2015, Zou *et al.* 2016) ile çekirdek-kabuk morfolojisinde sentezlenmiş nano kompozitler yada biyomalzemeler bulunmaktadır, ZnO/kitosan/polivinil alkol (Shukla *et al.* 2012, 2013) oyuk ZnO glukoz biyosensörü olarak, hidrojen peroksit biyosensörü olarak ZnO sentezlenmiştir (Liu, Xu, and Wu 2011) ancak, sonokimyasal olarak kitosan-ZnO kompozit malzemenin tek basamaklı bir yöntem ile sentezine ait bilgi bulunamamıştır. Bu nedenle önerilen çalışma özgün değere sahiptir. Oluşturulan olan nano yada mikro biyomalzeme olarak oyuk küreciklerin ilaç salınımı için kullanılma ihtimali bulunmaktadır. Bu çalışmada ise daha önceki çalışmamızın devamı olarak antifungal ZnO, metal oksit olarak kullanılmış ve çalışma genişletilmiştir. Daha önceki çalışmamızda elde ettiğimiz sonuçlara göre damlacıkların oluşumu ve büyümesini kontrol altına almayı hedeflenmiştir.

2. Materyal ve Metot

%0,2 (w/v) kitosan, seyreltik asetik asit (pH 5) içerisinde çözüldü. Kitosan çözeltisi içerisine ZnO (%5 w) ilave edildi ve 15 dk süre ile ultrasonik banyoda sonike edildi. Hidrofobik ZnO elde etmek amacıyla ZnO parçacıkları hekzan içerisinde 20 dk sonike edildi ve bir gece muhafaza edildi. Sonra, hekzan buharlaştırıldı. Ön muameleye tabi tutulmuş olan ZnO tetradekan içerisinde disperse edildi (20 dk sonikasyon banyosunda). Kabuklaşma işleminin başarısını görebilmek için nil kırmızısı içeren tetradekan şahit organik sıvı olarak kullanıldı. ZnO'ce zengin-kitosan kabuklaşmış mikrokürecikler 50 mL tetradekanı kitosan/ZnO karışımı üzerine katmanlayarak sonike edildi, böylece ZnO'ca zengin çekirdek üretildi. Daha önce hazırlanmış olan numune üzerine NaOH çözeltisi eklendi ve bir gece karıştırıldı. Numune saf su ile 5 kez yıkandı ve sulu çözeltide saklandı (pH 7). Yıkama işlemi, sonike edilmiş emülsiyonun ayırma hunisi içerisinde birkaç saat tutulması ile mikroküreciklerin kısmen daha

düşük yoğunluk nedeniyle yüzeye çıkması ile gerçekleştirildi.

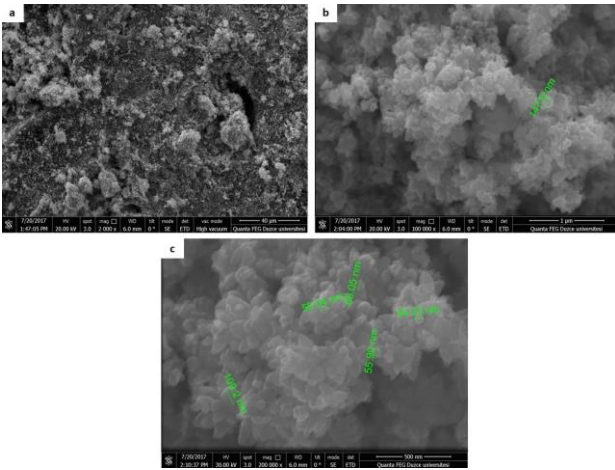
Ayırma hunisinde alt kısmın akıtılması ve üst yüzeyde kalan köpüksü kısmın üzerine ise tekrar saf su ilavesi ve çalkalanması ile yıkama işlemi devam ettirildi. 450°C de kalsine edilmek suretiyle organik kısmın buharlaşması ile çinko oksit elde edildi.

3. Bulgular

Mikroküreciklerin ebatlarını ve morfolojisini belirlemek için Optik mikroskop ve SEM görüntüleri kullanıldı. Atomik kuvvet Mikroskobu (AFM) kullanılarak yüzey morfolojisi tekrar incelendi. Bu amaçla tetradekanın kitosan/ZnO karışımı üzerine katmanlayarak sonike edildiği aşamada sonikasyon süresi değiştirildi ve bu değişikliğin oluşturduğu farklılıklar incelendi.

3.1. SEM Analizi

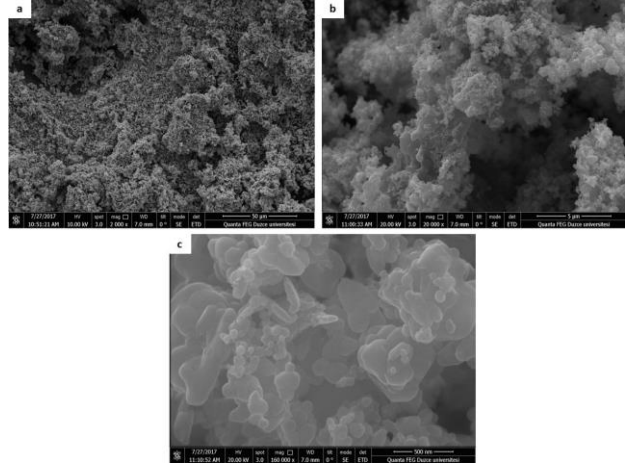
Tetradekanın kitosan/ZnO karışımı üzerine katmanlayarak 30 saniye sonikasyona maruz bırakılan kitosan/ZnO yapılarının SEM görüntüleri farklı ölçeklerde görüntülenerek Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Sonikasyon süresi 30s olan ZnO'nin SEM görüntüsü a) ölçek 40µm, b) ölçek 1µm, c) ölçek 500nm.

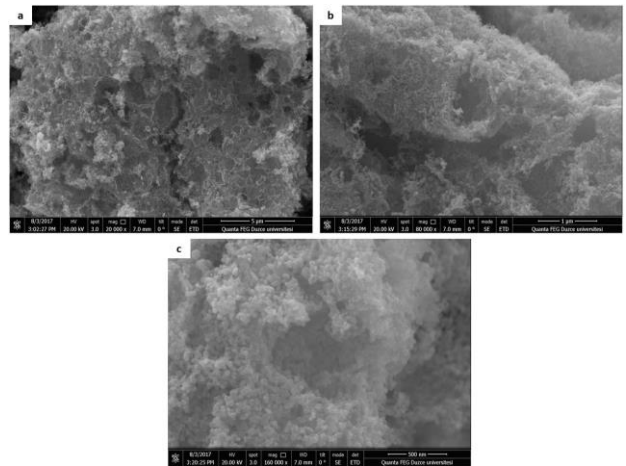
Sonikasyon süresininin 30 saniye olduğu resimlerde numunelerin nano boyutta olduğunu (Şekil 2.b-Şekil 2.c) ve aglomerasyon halinde olduğunu göstermektedir. Sonikasyon süresi 12 dk olduğunda alınan resimler Şekil 3'te verilmiştir. Numunenin homojen morfolojide olduğu gözlenmektedir ve yer yer mikro ölçekte bazı oyukların oluşmaya başladığı görülmektedir. Mikro ölçekte oyukların teşekkülünü

daha yakından görebilmek mümkündür (Şekil 3.b). Yer yer nano ve mikro ölçekte ZnO'nin katmanlar halinde belirli bir geometrik şekilde olmayan halde katmanlar halinde agglomerasyona tabi oldukları görülmektedir (Şekil 3.c).



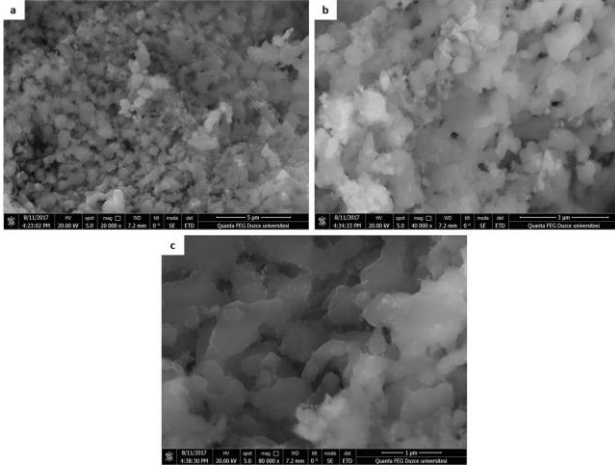
Şekil 3. Sonikasyon süresi 12 dk olan ZnO'nin SEM görüntüsü a) ölçek 50µm, b) ölçek 5µm, c) ölçek 500nm.

Sonikasyon süresininin 18 dk olduğu örneklerin SEM görüntüleri Şekil 4'te verilmektedir. Numunenin heterojen morfolojide olduğu görülmektedir. Numune gözenekli bir yapıdadır. Yer yer mikro ölçekte oyukların oluştuğu ve bu oyukların daha önceki deneylere nazaran daha belirgin oldukları gözlenmektedir (Şekil 4.a). Aynı deneyde alınan resimde ölçeğin 1µm olması halinde geçirgen yapının daha ayrıntılı görüldüğüne şahit olunmaktadır (Şekil 4.b).

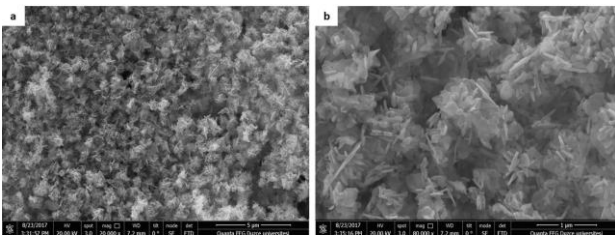


Şekil 4. Sonikasyon süresi 18 dk olan ZnO'nin SEM görüntüsü a) ölçek 5µm, b) ölçek 1µm, c) ölçek 500nm.

Sonikasyon süresinin 24 dk olduğu SEM görüntüleri Şekil 5'te verilmiştir. Numune agglomerasyona tabidir. Homojen morfolojide olmasına rağmen herhangi bir oyuk gözlenmemiştir. Söz konusu zaman zarfında uygulanan enerji oyuklarda deformasyona neden olmuştur. Belirgin bir geometrik şekle sahip olamayan yapılar görülmektedir. Sonikasyon süresi 30 dk olan SEM görüntüleri Şekil 6'da verilmiştir. Görüntüler incelendiğinde numunenin gayet homojen yapıda ve belirli bir geometrik şekle sahip olmadığı görülmektedir. Uygulanan enerjinin yoğunluğu nedeniyle oyukların tamamen kaybolduğu gözlenmiştir.



Şekil 5. Sonikasyon süresi 24 dk olan ZnO'nin SEM görüntüsü a) ölçek 5µm, b) ölçek 3µm, c) ölçek 1µm.

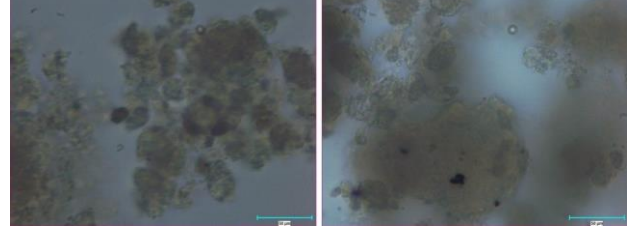


Şekil 6. Sonikasyon süresi 30 dk olan ZnO'nin SEM görüntüsü a) ölçek 5µm, b) ölçek 1µm.

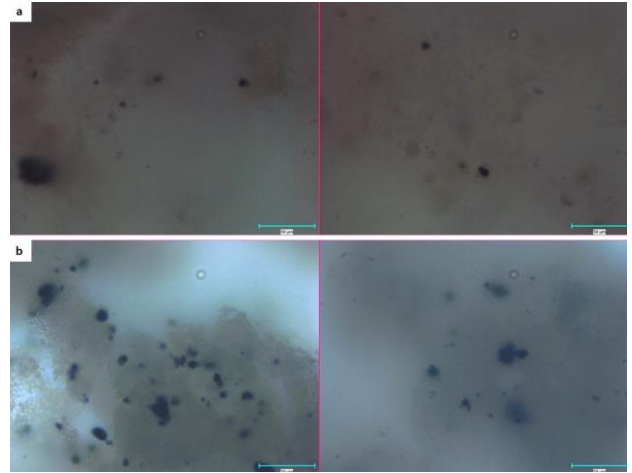
3.2. Optik Mikroskop Analizi

Sonikasyon süresi 18 dk olan ZnO'nin Optik Mikroskobu görüntüsü Şekil 7 de görülmektedir. Optik mikroskobu resimleri alınırken herhangi bir indikatör kullanılmamıştır. Mikro ölçekte küreciklerin oluşumu gözlenmiştir. Sonikasyon süresi 24 dk olan ZnO'nin Optik Mikroskobu görüntüsü Şekil 8.a'da görülmektedir. Yer yer

mikrokürecikler görünmekle beraber görüntüler net değildir. Sonikasyon süresi 30 dk olan ZnO'nin Optik Mikroskobu görüntüsü Şekil 8.b'de görülmektedir. Mikroküreciklerin var olmadığı bunun yerine farklı geometrik şekillerin olduğu gözlenmektedir.



Şekil 7. Sonikasyon süresi 24 dk olan ZnO'nin Optik Mikroskobu görüntüsü



Şekil 8. a) Sonikasyon süresi 24 dk olan ZnO'nin Optik Mikroskobu görüntüsü, b) Sonikasyon süresi 30 dk olan ZnO'nin Optik Mikroskobu görüntüsü

4. Tartışma ve Sonuç

Tetradekan ve ZnO parçacıkları kitosan yüzeyine yerleştirildiğinde çekirdeğinde tetradekan/ZnO olan ve yüzeyde kitosan olan mikrokürecikler meydana gelir. ZnO yüklenmiş kitosan mikroküreciklerinin parçacık büyüklüğü ebatları 3-50 µ aralığındadır. ZnO nano parçacıkları kitosan yüzeyine enkapsüle olmaktadır. Kitosan bir polisakkarittir, kararlı kitosan mikroküreciklerinin oluşması esnasında hidrojen bağı gibi birçok moleküller arası etkileşimler rol oynayabilir. ZnO/kitosan mikrokürecikleri daha sonra 450°C'de kalsine edilmiş ve ZnO mikro kürecikleri elde edilmiştir. Meydana gelmiş olan ZnO mikroküreciklerinin morfolojisi SEM ile incelenmiştir (Şekil 2-6). Sonikasyon süresinin ya da uygulanan enerjinin ZnO mikroküreciklerinin morfolojisi üzerine etkilerinin incelenmesi amacıyla sonikasyon

30s, 12, 18, 24, ve 30 dk olacak şekilde değiştirilmiştir. Alınan SEM resimleri incelendiğinde heterojen morfolojide oldukları görülmüştür. Ayrıca, yer yer nano büyüklüğe varıncaya kadar parçacık büyüklükleri görünmekle beraber mikro yapıda heterojen morfolojide oldukları gözlemlenmiştir. SEM ve optik mikroskobu görüntülerinin gösterdiğine göre mikroküreciklerin tanecik büyüklüğü ortalama olarak 10 µm'dir. Sonikasyon süresinin tanecik büyüklüğü ve morfolojisi üzerine kayda değer bir etkisinin olmadığı gözlenmiştir. Kabuk kalınlığına ait yeterli bilgi mevcut değildir. Meydana gelen yapılar için muhtemel oluşum mekanizması Şekil 1'de verilmiştir.

Her ne kadar mikrokürecik oluşumunun incelenmesinde fluoresan indikatör kullanmak yararlı ise de, mikroküreciklerin indikatörsüz olarak gözlenmesi de mümkündür. Çalışmamız da optik mikroskopi ile elde edilen resimler indikatör kullanmaksızın elde edilmiştir (Şekil 7,8). Optik mikroskopi ile elde edilen veriler mikroküreciklerin şekillerini daha belirgin hale getirmiştir.

Optik mikroskopi ve SEM görüntülerinin vermiş olduğu sonuçlara göre mikroküreciklerin oluşumu için optimum şartların sonikasyon süresinin 18 dk olduğu durum olduğu ortaya çıkmaktadır.

Bu projede Çekirdek kabuk formunda ZnO/kitosan mikrokürecikler elde edilmiştir. Değişik sonikasyon süreleri denenmiş ve 18 dk'nın süre olarak en uygun olduğu saptanmıştır. Hızlı ve ucuz bir reaksiyon yöntemi geliştirilmiştir.

Teşekkür

Bu çalışma Düzce Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından desteklenmiştir. (Proje No: 2016.05.03.517)

5. Kaynaklar

Babgi, B., Zhou, M., Aksu, M., Alghamdi, Y. and Ashokkumar, M. 2016. Initial Growth of Sonochemically Active and Sonoluminescence Bubbles at Various Frequencies. *Ultrasonics Sonochemistry*, **29**, 55–59.

Baxter, J., Bian, Z., Chen, G., Danielson, D., Dresselhaus, M.S., Fedorov, A.G., Fisher, T.S., Jones, C.W., Maginn, E., Kortshagen, U., Manthiram, A., Nozik, A., Rolison, D.R., Sands, T., Shi, L., Sholl, D. and Wu, Y. 2009. Nanoscale Design to Enable the Revolution in

Renewable Energy. *Energy & Environmental Science*, **2**, 6, 559–88.

Colombo, E., Li, W., Bhangu, S.K. and Ashokkumar, M. 2017. Chitosan Microspheres as a Template for TiO₂ and ZnO Microparticles: Studies on Mechanism, Functionalization and Applications in Photocatalysis and H₂S Removal. *RSC Advances*, **7**, **31**, 19373–83.

Filipović-Grčić, J., Voinovich, D., Moneghini, M., Bećirević-Laćan, M., Magarotto, L. and Jalšenjak, I. 2000. Chitosan Microspheres with Hydrocortisone and Hydrocortisone-Hydroxypropyl-Beta-Cyclodextrin Inclusion Complex. *European Journal of Pharmaceutical Sciences: Official Journal of the European Federation for Pharmaceutical Sciences*, **9**, **4**, 373–79.

Genc, A. M., Akdeniz, M.V., Ozturk, T. and Kalay, Y.E. 2016. Synthesis of AlNiCo Core/Shell Nanopowders. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, **417**, 112–16.

Ghows, N. and Entezari, M.H. 2012. Sono-Synthesis of Core-Shell Nanocrystal (CdS/TiO₂) without Surfactant. *Ultrasonics Sonochemistry*, **19**, **5**, 1070–78.

He, P., Davis, S.S. and Illum, L. 1999. Chitosan Microspheres Prepared by Spray Drying. *International Journal of Pharmaceutics*, **187**, **1**, 53–65.

Hiremath, L., Nipun, S., Sruti, O., Kala, N. G. and Aishwarya, B. M. 2020. Sonochemistry: Applications in Biotechnology in Sonochemical Reactions. Edited by Selcan Karakuş. London, IntechOpen, Ch 5, 160.

Illum, L. 1998. Chitosan and Its Use as a Pharmaceutical Excipient. *Pharmaceutical Research*, **15**, **9**, 1326–31.

Liu, C., Xu, J. and Wu, Z. 2011. Direct Electron Transfer and Electrochemical Study of Hemoglobin Immobilized in ZnO Hollow Spheres. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, **34**, **8**, 931–38.

Mini, V., Archana, K., Raghu, S., Sharanappa, C. and Devendrappa, H. 2016. Nanostructured Multifunctional Core/Shell Ternary Composite of Polyaniline-Chitosan-Cobalt Oxide: Preparation, Electrical and Optical Properties. *Materials Chemistry and Physics*, **170**, 90–98.

Neppiras, E. A. 1980. Acoustic Cavitation. *Physics Reports*, **61**, **3**, 159–251.

Pandiselvi, K. and Thambidurai S. 2014. Chitosan-ZnO/Polyaniline Nanocomposite Modified Glassy Carbon Electrode for Selective Detection of Dopamine. *International Journal of Biological*

- Macromolecules*, **67**, 270–78.
- Panos, I., Acosta, N. and Heras, A. 2008. New Drug Delivery Systems Based on Chitosan. *Current Drug Discovery Technologies*, **5**, **4**, 333–41.
- Perugini, P., Genta, I., Pavanetto, F., Conti, B., Scalia, S., and Baruffini, A. 2000. Study on Glycolic Acid Delivery by Liposomes and Microspheres. *International Journal of Pharmaceutics*, **196**, **1**, 51–61.
- Ravi Kumar, M. N. V., Muzzarelli, R. A. A., Muzzarelli, C., Sashiwa, H. and Domb, A. J. 2004. Chitosan Chemistry and Pharmaceutical Perspectives. *Chemical Reviews*, **104**, **12**, 6017–84.
- Savun-Hekimoğlu, B. 2020. A Review on Sonochemistry and Its Environmental Applications. *Acoustics*, **2**, **4**, 766–75.
- Shukla, S. K., Swapneel R. Deshpande, S.R. and Tiwari, S.A. 2012. Fabrication of a Tunable Glucose Biosensor Based on Zinc Oxide/Chitosan-Graft-Poly(Vinyl Alcohol) Core-Shell Nanocomposite. *Talanta*, **99**, 283–87.
- Shukla, S.K., Mishra, A.K, Arotiba, O.A. and Mamba, B.B. 2013. Chitosan-Based Nanomaterials: A State-of-the-Art Review. *International Journal of Biological Macromolecules*, **59**, 46–58.
- Suslick, K.S. 1990. Sonochemistry. *Science*, **247**, **4949**, 1439–45.
- Varshosaz, J. 2007. The Promise of Chitosan Microspheres in Drug Delivery Systems. *Expert Opinion on Drug Delivery*, **4**, **3**, 263–73.
- Walton, D. J. 2002. Sonochemistry - The Application of Ultrasound to Electrochemical Systems. *Arkivoc*, 2002, **3**, 198–218.
- Wang, Y.H., Yu, C.M, Gu,H.Y. and Tu, Y.F. 2016. The Hemoglobin-Modified Electrode with Chitosan/Fe₃O₄ Nanocomposite for the Detection of Trichloroacetic Acid. *Journal of Solid State Electrochemistry*, **20**, **5**, 1337–44.
- Xiao, C., You, R., Dong, Y. and Zhang, Z. 2016. Tunable Core-Shell Particles Generated from Smart Water-Soluble Chitosan Seeds. *Carbohydrate Polymers*, **142**, 51–55.
- Xu, J. H., Li, S. W. ,Tostado, C., Lan, W. J. and Luo, G. S. 2009. Preparation of Monodispersed Chitosan Microspheres and in Situ Encapsulation of BSA in a Co-Axial Microfluidic Device. *Biomedical Microdevices*, **11**, **1**, 243–49.
- Yusof, N.S.M., Babgi, B., Alghamdi, Y., Aksu, M., Madhavan, J. and Ashokkumar, M. 2016. Physical and Chemical Effects of Acoustic Cavitation in Selected Ultrasonic Cleaning Applications. *Ultrasonics Sonochemistry*, **29**, 568–76.
- Zhang, X., Zhao, X., and Su, H. 2011. Degradation Characteristic of TiO₂-Chitosan Adsorbent on Rhodamine B and Purification of Industrial Wastewater. *Korean Journal of Chemical Engineering*, **28**, **5**, 1241–46.
- Zhao, X., Sánchez, B.M., Dobson, P.J. and Grant, P.S. 2011. The Role of Nanomaterials in Redox-Based Supercapacitors for next Generation Energy Storage Devices. *Nanoscale*, **3**, **3**, 839–55.
- Zhou, M., Babgi, B., Gupta, S., Cavalieri, F., Alghamdi, Y., Aksu, M. and Ashokkumar, M. 2015. Ultrasonic Fabrication of TiO₂/Chitosan Hybrid Nanoporous Microspheres with Antimicrobial Properties. *RSC Advances*, **5**, **26**, 20265–69.
- Zou, M., Wen,W., Li, J.,Lai, H. and Huang, Z. 2016. Electric Cu Nanoparticles Decorated V₂O₅ Spheres as High Performance Cathodes for Lithium Ion Batteries. *Journal of Alloys and Compounds*, **681**, 268–74.
- Zubieta, C.E., Messina, P.V., Luengo, C., Dennehy, M., Pieroni, O. and Schulz, P.C. 2008. Reactive Dyes Remotion by Porous TiO₂-Chitosan Materials. *Journal of Hazardous Materials*, **152**, **2**, 765–77.

On Various Types w –Compatible Mappings in Modular A –Metric Spaces

Elif KAPLAN^{1*}, Servet KÜTÜKCÜ¹¹Ondokuz Mayıs University, Faculty of Science and Arts, Department of Mathematics, Samsun, TurkeySorumlu yazar e-posta: elifaydinkaplan@gmail.com ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-7620-3387>e-posta: skutukcu@omu.edu.tr ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-2513-1600>

Geliş Tarihi: 07.12.2021

Kabul Tarihi: 16.08.2022

Keywords

w –compatible maps;
 w –compatible maps
of type (α) ;
 w –compatible maps
of type (β) ; Modular
 A –metric spaces

Abstract

In this article, we have established three new types of compatible mappings named w –compatible maps, w –compatible maps of type (α) and w –compatible maps of type (β) in modular A –metric space. Then, by using these definitions we examine the relations between them. The results in this article generalize many known results in the existing literature.

Modüler A –Metrik Uzaylarda Çeşitli Tipte w –Bağdaşabilir Dönüşümler

Anahtar Kelimeler

w –bağdaşabilir
dönüşümler; (α) tip
 w –bağdaşabilir
dönüşümler; (β) tip
 w –bağdaşabilir
dönüşümler; Modüler
 A –metrik uzaylar

Öz

Bu makalede, modüler A –metrik uzaylar üzerinde w –bağdaşabilir dönüşümler, (α) tip w –bağdaşabilir dönüşümler ve (β) tip w –bağdaşabilir dönüşümler olarak adlandırdığımız üç yeni tip bağdaşabilir dönüşüm tanımladık. Bu tanımları kullanarak aralarındaki ilişkileri araştırdık. Bu makalede elde edilen sonuçlar literatürde var olan ve iyi bilinen birçok sonucu genelleştirmektedir.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi.

1. Introduction

In the last quarter of the 20th century, the problem of finding common fixed points of mappings that satisfied the contraction condition began to attract a lot of attention. In 1986, Jungck generalized the Banach contraction theorem using compatible maps and obtained the common fixed point theorem (Jungck 1986). After this, Jungck et al. (1993) gave the concept compatible maps of type (A) and Pathak et al. (1996) also gave the notion compatible maps of type (P) in metric spaces. The fixed point theory for these mappings in metric spaces and different generalized metric spaces was extensively studied by many mathematicians (Cho et al. 1998, Kutukcu and Sharma 2009). On the other hand,

Aydin and Kutukcu (2017) introduced the modular A –metric space by a generalization of the concepts of the modular metric (Chistyakov 2010) and the A –metric space (Abbas et al. 2015). We also introduce the notions of w –compatible maps, w –compatible maps of type (α) and w –compatible maps of type (β) in modular A –metric space which is important for fixed point theory. And then, we examine some basic relationships between these maps. We believe that it will create an important infrastructure for researchers who want to work in fixed point theory.

2. Material and Method

Now, we will give some basic properties of modular A – metric spaces.

Definition 2.1 Let χ be a nonempty set. A function $A_\lambda : (0, \infty) \times \chi^n \rightarrow [0, \infty]$ is said to be a modular A – metric on χ if it satisfies the following conditions

$$MA1) A_\lambda(u_1, u_2, u_3, \dots, u_{n-1}, u_n) \geq 0,$$

$$MA2) A_\lambda(u_1, u_2, u_3, \dots, u_{n-1}, u_n) = 0 \text{ if and only if } u_1 = u_2 = \dots = u_{n-1} = u_n,$$

MA3)

$$\begin{aligned} &A_{\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n}(u_1, u_2, u_3, \dots, u_{n-1}, u_n) \\ &\leq A_{\lambda_1}(u_1, u_1, \dots, (u_1)_{n-1}, a) \\ &+ A_{\lambda_2}(u_2, u_2, \dots, (u_2)_{n-1}, a) \\ &\vdots \\ &+ A_{\lambda_n}(u_n, u_n, \dots, (u_n)_{n-1}, a) \end{aligned}$$

for all $u_i, a \in \chi$, $\lambda_i > 0$, $i = \overline{1, n}$ and $\lambda > 0$. A nonempty set χ together with a modular A – metric is called a modular A – metric space (Aydin and Kutukcu 2017).

Lemma 2.2 Let (χ, A) be a modular A – metric space. If for all $u_1, \dots, u_n \in \chi$, the mapping $A(\cdot, u_1, u_2, \dots, u_n) : (0, \infty) \rightarrow [0, \infty]$ is continuous, then the following equality is true

$$A_\lambda(u, u, \dots, u, v) = A_\lambda(v, v, \dots, v, u)$$

for each $u, v \in \chi$ and $\lambda > 0$ (Kaplan 2021).

Theorem 2.3 For each $u_1, u_2, \dots, u_n \in \chi$, the mapping $A(\cdot, u_1, u_2, \dots, u_n) : (0, \infty) \rightarrow [0, \infty]$ is continuous in (χ, A) modular A – metric space. Then, there are the following inequalities such that

$$\begin{aligned} A_\lambda(u, u, \dots, u, w) &\leq (n-1)A_{\frac{\lambda}{n}}(u, u, \dots, u, v) \\ &+ A_{\frac{\lambda}{n}}(w, w, \dots, w, v) \end{aligned}$$

and

$$\begin{aligned} A_\lambda(u, u, \dots, u, w) &\leq (n-1)A_{\frac{\lambda}{n}}(u, u, \dots, u, v) \\ &+ A_{\frac{\lambda}{n}}(v, v, \dots, v, w) \end{aligned}$$

for each $u, v, w \in \chi$ (Kaplan, 2021).

Proposition 2.4 For each $u_1, u_2, \dots, u_n \in \chi$, the mapping $A(\cdot, u_1, u_2, \dots, u_n) : (0, \infty) \rightarrow [0, \infty]$ is continuous in (χ, A) modular A – metric space.

Then, the following inequality

$$A_\lambda(u, u, \dots, u, v) \leq A_{\frac{\lambda}{n}}(u, u, \dots, u, v) \leq A_{\frac{\lambda}{n^2}}(u, u, \dots, u, v)$$

is satisfied for $\frac{\lambda}{n^2} \leq \frac{\lambda}{n} \leq \lambda$ (Kaplan 2021).

Example 2.5 Let $\chi = R$. A function $A_\lambda : (0, \infty) \times \chi^n \rightarrow [0, \infty]$ defined by

$$\begin{aligned} A_\lambda(u_1, \dots, u_{n-1}, u_n) &= \frac{\lambda}{n} [|u_1 - u_2| + |u_1 - u_3| + \dots + |u_1 - u_n| \\ &+ |u_2 - u_3| + |u_2 - u_4| + \dots + |u_2 - u_n| \\ &\vdots \\ &+ |u_{n-2} - u_{n-1}| + |u_{n-2} - u_n| \\ &+ |u_{n-1} - u_n|] \\ &= \frac{\lambda}{n} \sum_{i=1}^n \sum_{i < j} |u_i - u_j| \end{aligned}$$

for each $\lambda > 0$ and $u_1, u_2, \dots, u_n \in \chi$.

Then, (χ, A) is a usual modular A -metric space.

Example 2.6 Let $\chi = [0, 6]$ and define a modular A – metric $A_\lambda : (0, \infty) \times \chi^n \rightarrow [0, \infty]$ by

$$A_\lambda(u_1, u_2, \dots, u_n) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=i+1}^n \frac{|e^{u_i} - e^{u_j}|}{\lambda}$$

for each $u_1, u_2, \dots, u_n \in \chi$.

Thus, (χ, A) is a modular A – metric space.

Definition 2.7 The open ball of center $u_0 \in \mathcal{X}$ and radius $r > 0$ in a modular A -metric space (\mathcal{X}, A) is the subset

$$B_{A_\lambda}(u_0, r) = \{v \in \mathcal{X} : A_\lambda(v, v, \dots, v, u_0) < r\}$$

(Kaplan 2021).

Definition 2.8 Let (\mathcal{X}, A) be a modular A -metric space, let $u \in \mathcal{X}$ be a point and let $\{u_k\}_{k \in \mathbb{N}} \subset \mathcal{X}$ be sequence. We say that

- i. $\{u_k\}$ converges to u if $A_\lambda(u_k, u_k, u_k, \dots, u_k, u) \rightarrow 0$ as $k \rightarrow \infty$ for all $\lambda > 0$. That is, for each $\varepsilon > 0$, there exists $k_0(\varepsilon) \in \mathbb{N}$ satisfying $A_\lambda(u_k, u_k, u_k, \dots, u_k, u) \leq \varepsilon$ for all $k \geq k_0$.
- ii. $\{u_k\}$ is said to be a Cauchy sequence if $A_\lambda(u_k, u_k, u_k, \dots, u_k, u_m) \rightarrow 0$ as $k, m \rightarrow \infty$ for all $\lambda > 0$. That is, for all $\varepsilon > 0$, there exists $k_0(\varepsilon) \in \mathbb{N}$ such that for all $k, m \geq k_0$, $A_\lambda(u_k, u_k, u_k, \dots, u_k, u_m) \leq \varepsilon$.
- iii. (\mathcal{X}, A) is complete if every Cauchy sequence in \mathcal{X} is convergent in \mathcal{X} (Kaplan 2021).

Theorem 2.9 The limit of a convergent sequence in a modular A -metric space is unique (Kaplan 2021)

Theorem 2.10 Every convergent sequence in a modular A -metric space is a Cauchy sequence (Kaplan 2021)

3. Results

Definition 3.1 Let (\mathcal{X}, A) be a modular A -metric space and let $\mu, \eta : \mathcal{X} \rightarrow \mathcal{X}$ be two self-mappings. We say that the pair (μ, η) is a w -compatible if we have that

$$\lim_{k \rightarrow \infty} A_\lambda(\mu\eta x_k, \dots, \mu\eta x_k, \eta\mu x_k) = 0$$

where $\{x_k\}$ is a sequence in \mathcal{X} such that $\lim_{k \rightarrow \infty} \mu x_k = \lim_{k \rightarrow \infty} \eta x_k = t$ for some point $t \in \mathcal{X}$ and $\lambda > 0$.

Example 3.2 Let $\mathcal{X} = \mathbb{R}$ and define a function

$$A_\lambda : (0, \infty) \times \mathcal{X}^n \rightarrow [0, \infty]$$

$$A_\lambda(x_1, x_2, \dots, x_n) = \frac{\lambda}{n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=i+1}^n |x_i - x_j|$$

for all $\lambda > 0$ and $x_1, x_2, \dots, x_n \in \mathcal{X}$. Then, (\mathcal{X}, A) is a modular A -metric space. Let $\mu, \eta : \mathcal{X} \rightarrow \mathcal{X}$ be defined on \mathcal{X} by $\mu(x) = x^2$ and $\eta(x) = x^3$ for each $x \in \mathcal{X}$. Take $\{x_k\}$ such that

$$x_k = \frac{1}{k}, k = 1, 2, \dots$$

In this case, we have

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \mu x_k = \lim_{k \rightarrow \infty} \frac{1}{k^2} = 0$$

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \eta x_k = \lim_{k \rightarrow \infty} \frac{1}{k^3} = 0.$$

Moreover, $\mu\eta x_k = \frac{1}{k^6}$ and $\eta\mu x_k = \frac{1}{k^6}$. Thus, the

pair (μ, η) is w -compatible maps since

$$\begin{aligned} & \lim_{k \rightarrow \infty} A_\lambda(\mu\eta x_k, \dots, \mu\eta x_k, \eta\mu x_k) \\ &= \lim_{k \rightarrow \infty} A_\lambda\left(\frac{1}{k^6}, \dots, \frac{1}{k^6}, \frac{1}{k^6}\right) \\ &= \lim_{k \rightarrow \infty} \frac{\lambda}{n} \left[\left| \frac{1}{k^6} - \frac{1}{k^6} \right| + \left| \frac{1}{k^6} - \frac{1}{k^6} \right| + \dots + \left| \frac{1}{k^6} - \frac{1}{k^6} \right| \right] \\ &= 0. \end{aligned}$$

Example 3.3 Let $\mathcal{X} = [0, 2]$ and define a function

$$A_\lambda : (0, \infty) \times \mathcal{X}^n \rightarrow [0, \infty]$$

$$A_\lambda(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=i+1}^n \frac{|e^{x_i} - e^{x_j}|}{\lambda}$$

for all $\lambda > 0$ and $x_1, x_2, \dots, x_n \in \mathcal{X}$. Then, (\mathcal{X}, A) is a modular A -metric space. Then, (\mathcal{X}, A) is a

modular A -metric space. Also, define $\mu, \eta : \mathcal{X} \rightarrow \mathcal{X}$ by

$$\mu(x) = \begin{cases} 1, & x \in [0, 1] \\ \frac{x+1}{2}, & x \in (1, 2] \end{cases}$$

$$\eta(x) = \begin{cases} 2, & x = 1 \\ \frac{x+3}{4}, & x \neq 1 \end{cases}$$

for each $x \in \mathcal{X}$. Take $\{x_k\}$ such that

$$x_k = 1 - \frac{1}{k}, k = 1, 2, \dots$$

In this case, we have

$$\mu x_k = 1 \quad \mu \eta x_k = 1$$

$$\eta x_k = \frac{4k-1}{4k} \quad \eta \mu x_k = 2.$$

Thus, the pair (μ, η) is not w -compatible maps since

$$\lim_{k \rightarrow \infty} A_\lambda(\mu \eta x_k, \dots, \mu \eta x_k, \eta \mu x_k)$$

$$= \lim_{k \rightarrow \infty} A_\lambda(1, \dots, 1, 2)$$

$$= \lim_{k \rightarrow \infty} \left[\frac{|e-e|}{\lambda} + \dots + \frac{|e-e^2|}{\lambda} \right]$$

$$= \lim_{k \rightarrow \infty} (n-1) \frac{|e-e^2|}{\lambda}$$

$$\neq 0$$

Definition 3.4 Let (\mathcal{X}, A) be a modular A -metric space and let $\mu, \eta : \mathcal{X} \rightarrow \mathcal{X}$ be two self mappings. We say that the pair (μ, η) is a w -compatible maps of type (α) if we have that

$$\lim_{k \rightarrow \infty} A_\lambda(\mu \eta x_k, \eta \eta x_k, \dots, \eta \eta x_k) = 0$$

$$\lim_{k \rightarrow \infty} A_\lambda(\eta \mu x_k, \mu \mu x_k, \dots, \mu \mu x_k) = 0$$

where $\{x_k\}$ is a sequence in \mathcal{X} such that

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \mu x_k = \lim_{k \rightarrow \infty} \eta x_k = t \text{ for some point } t \in \mathcal{X} \text{ and } \lambda > 0.$$

Example 3.5 Let $\mathcal{X} = [0, 6]$ and define a function

$A_\lambda : (0, \infty) \times \mathcal{X}^n \rightarrow [0, \infty]$ by

$$A_\lambda(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=i+1}^n \frac{|e^{x_i} - e^{x_j}|}{\lambda}$$

for all $\lambda > 0$ and $x_1, x_2, \dots, x_n \in \mathcal{X}$. Then, (\mathcal{X}, A) is a modular A -metric space. Also, define $\mu, \eta : \mathcal{X} \rightarrow \mathcal{X}$ by

$$\mu(x) = \begin{cases} x, & x \in [0, 3] \\ 6, & x \in [3, 6] \end{cases} \quad \eta(x) = \begin{cases} 6-x, & x \in [0, 3] \\ 6, & x \in [3, 6] \end{cases}$$

for each $x \in \mathcal{X}$. Take $\{x_k\}$ such that

$$x_k = 3 - \frac{1}{k^2}, k = 1, 2, \dots$$

In this case, we have

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \mu x_k = \lim_{k \rightarrow \infty} 3 - \frac{1}{k^2} = 3$$

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \eta x_k = \lim_{k \rightarrow \infty} 6 - 3 + \frac{1}{k^2} = 3$$

and

$$\mu \eta x_k = 6 \quad \eta \mu x_k = 6 - 3 + \frac{1}{k^2} = 3 + \frac{1}{k^2}$$

$$\eta \eta x_k = 6 \quad \mu \mu x_k = 3 - \frac{1}{k^2}$$

Thus, the pair (μ, η) is w -compatible of type (α) since

$$\lim_{k \rightarrow \infty} A_\lambda(\mu \eta x_k, \eta \eta x_k, \dots, \eta \eta x_k)$$

$$= \lim_{k \rightarrow \infty} A_\lambda(6, 6, \dots, 6)$$

$$= \lim_{k \rightarrow \infty} \frac{|e^6 - e^6| + |e^6 - e^6| + \dots + |e^6 - e^6|}{\lambda}$$

$$= 0$$

$$\begin{aligned} & \lim_{k \rightarrow \infty} A_\lambda(\eta\mu x_k, \mu\mu x_k, \dots, \mu\mu x_k) \\ &= \lim_{k \rightarrow \infty} A_\lambda\left(3 + \frac{1}{k^2}, 3 - \frac{1}{k^2}, \dots, 3 - \frac{1}{k^2}\right) \\ &= \lim_{k \rightarrow \infty} \frac{\left| e^{3+\frac{1}{k^2}} - e^{3-\frac{1}{k^2}} \right| + \dots + \left| e^{3-\frac{1}{k^2}} - e^{3-\frac{1}{k^2}} \right|}{\lambda} \\ &= 0 \end{aligned}$$

But, the pair (μ, η) is not w -compatible maps since

$$\begin{aligned} &= \lim_{k \rightarrow \infty} A_\lambda\left(6, 6, \dots, 6, 3 + \frac{1}{k^2}\right) \\ &= \lim_{k \rightarrow \infty} \left[\frac{|e^6 - e^6|}{\lambda} + \frac{|e^6 - e^6|}{\lambda} + \dots + \frac{|e^6 - e^{3+\frac{1}{k^2}}|}{\lambda} \right] \\ &= \lim_{k \rightarrow \infty} \frac{|e^6 - e^{3+\frac{1}{k^2}}|}{\lambda} \\ &\neq 0. \end{aligned}$$

Example 3.6 Let $\mathcal{X} = IR$ and A be a function on \mathcal{X} defined by

$$A_\lambda(x_1, x_2, \dots, x_n) = \frac{\lambda}{n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=i+1}^n |x_i - x_j|$$

for all $\lambda > 0$ and $x_1, x_2, \dots, x_n \in \mathcal{X}$. Then, (\mathcal{X}, A) is a modular A -metric space. Also, define $\mu, \eta : \mathcal{X} \rightarrow \mathcal{X}$ by

$$\mu(x) = \begin{cases} 2, & x = 0 \\ \frac{1}{x^3}, & x \neq 0 \end{cases} \quad \eta(x) = \begin{cases} 3, & x = 0 \\ \frac{1}{x^5}, & x \neq 0 \end{cases}$$

for each $x \in \mathcal{X}$. Take $\{x_k\}$ such that $x_k = k, k = 1, 2, \dots$. In this case, we have

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \mu x_k = \lim_{k \rightarrow \infty} \frac{1}{k^3} = 0$$

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \eta x_k = \lim_{k \rightarrow \infty} \frac{1}{k^5} = 0.$$

Also,

$$\mu\eta x_k = k^{15}, \eta\mu x_k = k^{15}, \eta\eta x_k = k^{25}, \mu\mu x_k = k^9$$

Consequently, the pair (μ, η) is w -compatible maps since

$$\begin{aligned} & \lim_{k \rightarrow \infty} A_\lambda(\mu\eta x_k, \dots, \mu\eta x_k, \eta\mu x_k) \\ &= \lim_{k \rightarrow \infty} A_\lambda(k^{15}, \dots, k^{15}, k^{15}) \\ &= \lim_{k \rightarrow \infty} \frac{\lambda}{n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=i+1}^n |x_i - x_j| \\ &= \lim_{k \rightarrow \infty} \frac{\lambda}{n} \left[|k^{15} - k^{15}| + \dots + |k^{15} - k^{15}| \right] \\ &= 0 \end{aligned}$$

But, the pair (μ, η) is not a w -compatible maps of type (α) since

$$\begin{aligned} & \lim_{k \rightarrow \infty} A_\lambda(\mu\eta x_k, \eta\eta x_k, \dots, \eta\eta x_k) \\ &= \lim_{k \rightarrow \infty} A_\lambda(k^{15}, k^{25}, \dots, k^{25}) \\ &= \lim_{k \rightarrow \infty} \frac{\lambda}{n} \left[|k^{15} - k^{25}| + |k^{15} - k^{25}| + \dots + |k^{25} - k^{25}| \right] \\ &= \lim_{k \rightarrow \infty} \frac{\lambda}{n} (n-1) |k^{15} - k^{25}| \\ &= \infty \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \lim_{k \rightarrow \infty} A_\lambda(\eta\mu x_k, \mu\mu x_k, \dots, \mu\mu x_k) \\ &= \lim_{k \rightarrow \infty} A_\lambda(k^{15}, k^9, \dots, k^9) \\ &= \lim_{k \rightarrow \infty} \frac{\lambda}{n} \left[|k^{15} - k^9| + |k^{15} - k^9| + \dots + |k^9 - k^9| \right] \\ &= \lim_{k \rightarrow \infty} \frac{\lambda}{n} (n-1) |k^{15} - k^9| \\ &= \infty. \end{aligned}$$

Proposition 3.7 Let $\mu, \eta : \mathcal{X} \rightarrow \mathcal{X}$ be two continuous maps in (\mathcal{X}, A) modular A -metric space. If the pair (μ, η) is w -compatible maps, then it is w -compatible maps of type (α) .

Proof : Assume that μ and η are w -compatible maps and $\{\mu x_k\}$ and $\{\eta x_k\}$ converge to same $t \in X$ for a sequence of $\{x_k\}$ in the χ . We have

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \mu \mu x_k = \lim_{k \rightarrow \infty} \mu \eta x_k = \mu t$$

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \eta \mu x_k = \lim_{k \rightarrow \infty} \eta \eta x_k = \eta t$$

since the maps μ and η are continuous. Moreover, we obtain

$$\lim_{k \rightarrow \infty} A_\lambda(\mu \eta x_k, \mu \eta x_k, \dots, \mu \eta x_k, \eta \mu x_k) = 0$$

since the pair (μ, η) is w -compatible maps.

$$\begin{aligned} A_\lambda(\eta \mu x_k, \mu \mu x_k, \dots, \mu \mu x_k) &= A_\lambda(\eta \mu x_k, \dots, \eta \mu x_k, \mu \mu x_k) \\ &\leq A_{\frac{\lambda}{n}}(\eta \mu x_k, \dots, \eta \mu x_k, \mu \eta x_k) \\ &\vdots \\ &+ A_{\frac{\lambda}{n}}(\eta \mu x_k, \dots, \eta \mu x_k, \mu \eta x_k) \\ &+ A_{\frac{\lambda}{n}}(\mu \mu x_k, \dots, \mu \mu x_k, \mu \eta x_k) \end{aligned}$$

from the above inequality,

$$\lim_{k \rightarrow \infty} A_\lambda(\eta \mu x_k, \mu \mu x_k, \dots, \mu \mu x_k) = 0$$

is obtained. In a similar vein,

$$\lim_{k \rightarrow \infty} A_\lambda(\mu \eta x_k, \eta \eta x_k, \dots, \eta \eta x_k) = 0.$$

Consequently, the pair (μ, η) is a w -compatible maps of type (α) .

Proposition 3.8 Let $\mu, \eta : \chi \rightarrow \chi$ be w -compatible maps of type (α) in (χ, A) modular A -metric space. If at least one of μ and η are continuous maps, then they are w -compatible maps.

Proof : Assume that the map η be a continuous map and $\{\mu x_k\}$ and $\{\eta x_k\}$ converge to same $t \in \chi$. In this case, we have

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \eta \mu x_k = \lim_{k \rightarrow \infty} \eta \eta x_k = \eta t$$

since the map η is continuous. We can write the following inequality from the condition (MA3)

$$\begin{aligned} &A_\lambda(\mu \eta x_k, \dots, \mu \eta x_k, \eta \mu x_k) \\ &\leq A_{\frac{\lambda}{n}}(\mu \eta x_k, \dots, \mu \eta x_k, \eta \eta x_k) \\ &\vdots \\ &+ A_{\frac{\lambda}{n}}(\mu \eta x_k, \dots, \mu \eta x_k, \eta \eta x_k) \\ &+ A_{\frac{\lambda}{n}}(\mu \mu x_k, \dots, \eta \mu x_k, \eta \eta x_k) \end{aligned}$$

Moreover, we obtain

$$\lim_{k \rightarrow \infty} A_{\frac{\lambda}{n}}(\eta \mu x_k, \mu \mu x_k, \dots, \mu \mu x_k) = 0$$

$$\lim_{k \rightarrow \infty} A_{\frac{\lambda}{n}}(\mu \eta x_k, \eta \eta x_k, \dots, \eta \eta x_k) = 0$$

since the pair (μ, η) is a w -compatible maps of type (α) . From the above equalities,

$$\lim_{k \rightarrow \infty} A_\lambda(\mu \eta x_k, \mu \eta x_k, \dots, \mu \eta x_k, \eta \mu x_k) = 0$$

and the pair (μ, η) is w -compatible maps.

Corollary 3.9 Let $\mu, \eta : \chi \rightarrow \chi$ be two continuous maps in (χ, A) modular A -metric space. If the pair (μ, η) is w -compatible maps if and only if it is a w -compatible maps of type (α) .

Definition 3.10 Let (χ, A) be a modular A -metric space and let $\mu, \eta : \chi \rightarrow \chi$ be two self mappings. We say that (μ, η) is a w -compatible maps of type (β) if we have that

$$\lim_{k \rightarrow \infty} A_\lambda(\mu \mu x_k, \dots, \mu \mu x_k, \eta \eta x_k) = 0$$

where $\{x_k\}$ is a sequence in χ such that $\lim_{k \rightarrow \infty} \mu x_k = \lim_{k \rightarrow \infty} \eta x_k = t$ for some point $t \in \chi$ and $\lambda > 0$.

Example 3.11 Let $\mathcal{X} = \mathbb{R}$ and define a function $A_\lambda : (0, \infty) \times \mathcal{X}^n \rightarrow [0, \infty]$ by

$$A_\lambda(x_1, x_2, \dots, x_n) = \frac{\lambda}{n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=i+1}^n |x_i - x_j|$$

for all $\lambda > 0$ and $x_1, x_2, \dots, x_n \in \mathcal{X}$. Then, (\mathcal{X}, A) is a modular A -metric space. Also, define $\mu, \eta : \mathcal{X} \rightarrow \mathcal{X}$ by

$$\mu(x) = \begin{cases} 5, & x = 0 \\ \frac{1}{x^2}, & x \neq 0 \end{cases} \quad \eta(x) = \begin{cases} 1, & x = 0 \\ \frac{1}{x^3}, & x \neq 0 \end{cases}$$

for each $x \in \mathcal{X}$. Take $\{x_k\}$ such that $x_k = k, k = 1, 2, \dots$. In this case, we have

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \mu x_k = \lim_{k \rightarrow \infty} \frac{1}{k^2} = 0$$

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \eta x_k = \lim_{k \rightarrow \infty} \frac{1}{k^3} = 0$$

and $\mu \eta x_k = k^6, \eta \mu x_k = k^6, \eta \eta x_k = k^9, \mu \mu x_k = k^4$.

Thus, the pair (μ, η) is w -compatible maps since

$$\begin{aligned} & \lim_{k \rightarrow \infty} A_\lambda(\mu \eta x_k, \dots, \mu \eta x_k, \eta \mu x_k) \\ &= \lim_{k \rightarrow \infty} A_\lambda(k^6, \dots, k^6, k^6) \\ &= \lim_{k \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^n \sum_{j=i+1}^n \frac{|x_i - x_j|}{\lambda} \\ &= \lim_{k \rightarrow \infty} \frac{1}{\lambda} \left[|k^6 - k^6| + \dots + |k^6 - k^6| \right] \\ &= 0 \end{aligned}$$

But, the pair (μ, η) is not a w -compatible maps of type (β) since

$$\begin{aligned} & \lim_{k \rightarrow \infty} A_\lambda(\mu \mu x_k, \dots, \mu \mu x_k, \eta \eta x_k) \\ &= \lim_{k \rightarrow \infty} A_\lambda(k^4, \dots, k^4, k^9) \\ &= \lim_{k \rightarrow \infty} \frac{1}{\lambda} \left[|k^4 - k^4| + |k^4 - k^4| + \dots + |k^4 - k^9| \right] \\ &= \lim_{k \rightarrow \infty} \frac{1}{\lambda} (n-1) |k^4 - k^9| \\ &= \infty. \end{aligned}$$

Example 3.12 Let's take modular A -metric space and the pair (μ, η) is given at the Example 3.3. It is not w -compatible maps and w -compatible maps of type (α) but it is w -compatible maps of type (β) . Really, define $\mu, \eta : \mathcal{X} \rightarrow \mathcal{X}$ by

$$\mu(x) = \begin{cases} 1, & x \in [0, 1] \\ \frac{x+1}{2}, & x \in (1, 2] \end{cases}$$

$$\eta(x) = \begin{cases} 2, & x = 1 \\ \frac{x+3}{4}, & x \neq 1 \end{cases}$$

for each $x \in X$. Take $\{x_k\}$ such that $x_k = 1 - \frac{1}{k}, k = 1, 2, \dots$. In this case, we have

$$\begin{aligned} \mu x_k &= 1 & \eta x_k &= \frac{4k-1}{4k} \\ \mu \mu x_k &= 1 & \eta \eta x_k &= \frac{16k-1}{16k} \\ \mu \eta x_k &= 1 & \eta \mu x_k &= 2 \end{aligned}$$

The Example 3.3 shows that the pair (μ, η) is not w -compatible maps. Now, let's show that it is not a w -compatible of type (α) but it is a w -compatible of type (β) . From Definition 3.4, the pair (μ, η) is not a w -compatible of type (α) since

$$\begin{aligned} & \lim_{k \rightarrow \infty} A_\lambda(\mu\eta x_k, \eta\eta x_k, \dots, \eta\eta x_k) \\ &= \lim_{k \rightarrow \infty} A_\lambda\left(1, \frac{16k-1}{16k}, \dots, \frac{16k-1}{16k}\right) \\ &= \lim_{k \rightarrow \infty} \frac{\left|e - e^{\frac{16k-1}{16k}}\right| + \left|e - e^{\frac{16k-1}{16k}}\right| + \dots + \left|e^{\frac{16k-1}{16k}} - e^{\frac{16k-1}{16k}}\right|}{\lambda} \\ &= \lim_{k \rightarrow \infty} \frac{(n-1)}{\lambda} e \cdot \left(1 - e^{-\frac{1}{16k}}\right) \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \lim_{k \rightarrow \infty} A_\lambda(\eta\mu x_k, \mu\mu x_k, \dots, \mu\mu x_k) \\ &= \lim_{k \rightarrow \infty} A_\lambda(2, 1, \dots, 1) \\ &= \lim_{k \rightarrow \infty} \frac{\left|e^2 - e\right| + \left|e^2 - e\right| + \dots + \left|e - e\right|}{\lambda} \\ &= \lim_{k \rightarrow \infty} \frac{(n-1)}{\lambda} \left|e^2 - e\right| \\ &= \frac{(n-1)}{\lambda} \left|e^2 - e\right| \end{aligned}$$

From Definition 3.10, the pair (μ, η) is w -compatible of type (β) since

$$\begin{aligned} & \lim_{k \rightarrow \infty} A_\lambda(\mu\mu x_k, \dots, \mu\mu x_k, \eta\eta x_k) \\ &= \lim_{k \rightarrow \infty} A_\lambda\left(1, 1, \dots, 1, \frac{16k-1}{16k}\right) \\ &= \lim_{k \rightarrow \infty} \left[\frac{\left|e - e\right|}{\lambda} + \frac{\left|e - e\right|}{\lambda} + \dots + \frac{\left|e - e^{\frac{16k-1}{16k}}\right|}{\lambda} \right] \\ &= \lim_{k \rightarrow \infty} \frac{(n-1)}{\lambda} \left|e - e^{\frac{16k-1}{16k}}\right| \\ &= 0 \end{aligned}$$

Proposition 3.13 Let (\mathcal{X}, A) be a modular A -metric space and $\mu, \eta : \mathcal{X} \rightarrow \mathcal{X}$ be two continuous maps. If the pair (μ, η) is w -compatible maps, then it is w -compatible of type (β) .

Proof: Assume that the maps μ and η are w -compatible maps and $\{\mu x_k\}$ and $\{\eta x_k\}$ converge to same $t \in \mathcal{X}$ for a sequence $\{x_k\}$ in the \mathcal{X} . We have

$$\begin{aligned} \lim_{k \rightarrow \infty} \mu\mu x_k &= \lim_{k \rightarrow \infty} \mu\eta x_k = \mu t \\ \lim_{k \rightarrow \infty} \eta\mu x_k &= \lim_{k \rightarrow \infty} \eta\eta x_k = \eta t \end{aligned}$$

since the maps μ and η are continuous. Also, we get

$$\lim_{k \rightarrow \infty} A_\lambda(\mu\eta x_k, \dots, \mu\eta x_k, \eta\mu x_k) = 0$$

since the pair (μ, η) is w -compatible maps. Thus, from the following inequality

$$\begin{aligned} A_\lambda(\mu\mu x_k, \dots, \eta\eta x_k) &\leq A_{\frac{\lambda}{n}}(\mu\mu x_k, \dots, \mu\eta x_k) \\ &+ A_{\frac{\lambda}{n}}(\mu\mu x_k, \dots, \mu\eta x_k) + \dots + A_{\frac{\lambda}{n}}(\eta\eta x_k, \dots, \mu\eta x_k) \\ &\leq A_{\frac{\lambda}{n}}(\mu\mu x_k, \dots, \mu\eta x_k) + \dots + A_{\frac{\lambda}{n}}(\mu\mu x_k, \dots, \mu\eta x_k) \\ &+ A_{\frac{\lambda}{n^2}}(\eta\eta x_k, \dots, \eta\mu x_k) + \dots + A_{\frac{\lambda}{n^2}}(\mu\eta x_k, \dots, \eta\mu x_k) \end{aligned}$$

we obtain

$$\lim_{k \rightarrow \infty} A_\lambda(\mu\mu x_k, \mu\mu x_k, \dots, \eta\eta x_k) = 0.$$

Consequently, the pair (μ, η) is a w -compatible maps of type (β) .

Proposition 3.14 Let $\mu, \eta : \mathcal{X} \rightarrow \mathcal{X}$ be w -compatible maps of type (β) in (\mathcal{X}, A) modular A -metric space. If the maps μ and η are continuous maps, then they are w -compatible maps.

Proof: Assume that the pair (μ, η) is a w -compatible maps of type (β) and $\{\mu x_k\}$ and $\{\eta x_k\}$ converge to same $t \in \mathcal{X}$ for a sequence of $\{x_k\}$ in \mathcal{X} . We have

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \mu \mu x_n = \lim_{k \rightarrow \infty} \mu \eta x_n = \mu t$$

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \eta \mu x_n = \lim_{k \rightarrow \infty} \eta \eta x_n = \eta t$$

since the maps μ and η are continuous. Thus, we know that

$$A_{\lambda}(\mu \eta x_n, \dots, \eta \mu x_n)$$

$$\leq A_{\frac{\lambda}{n}}(\mu \eta x_k, \dots, \mu \mu x_k) + A_{\frac{\lambda}{n}}(\eta \mu x_k, \dots, \mu \mu x_k)$$

$$\leq A_{\frac{\lambda}{n}}(\mu \eta x_k, \dots, \mu \mu x_k) + \dots + A_{\frac{\lambda}{n}}(\mu \eta x_k, \dots, \mu \mu x_k)$$

$$+ A_{\frac{\lambda}{n^2}}(\eta \mu x_k, \dots, \eta \eta x_k) + \dots + A_{\frac{\lambda}{n^2}}(\eta \mu x_k, \dots, \eta \eta x_k)$$

$$+ A_{\frac{\lambda}{n^2}}(\mu \mu x_k, \dots, \eta \eta x_k)$$

from condition (MA3). Thus, we obtain

$$\lim_{k \rightarrow \infty} A_{\lambda}(\mu \eta x_k, \dots, \mu \eta x_k, \eta \mu x_k) = 0.$$

Then, the pair (μ, η) is w -compatible maps.

Corollary 3.15 Let $\mu, \eta : \mathcal{X} \rightarrow \mathcal{X}$ be two continuous maps in (\mathcal{X}, A) modular A -metric space. If the pair (μ, η) is w -compatible maps if and only if it is a w -compatible maps of type (β) .

Proposition 3.16 Let (\mathcal{X}, A) be a modular A -metric space and $\mu, \eta : \mathcal{X} \rightarrow \mathcal{X}$ be two continuous maps. If the pair (μ, η) is a w -compatible maps of type (β) , then it is a w -compatible maps of type (α) .

Proof: Assume that the maps μ and η are w -

compatible maps of type (β) and $\{\mu x_k\}$ and

$\{\eta x_k\}$ converge to same $t \in \mathcal{X}$ for a sequence of

$\{x_k\}$ in the \mathcal{X} . In this case, we have

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \mu \mu x_k = \lim_{k \rightarrow \infty} \mu \eta x_k = \mu t$$

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \eta \mu x_k = \lim_{k \rightarrow \infty} \eta \eta x_k = \eta t$$

since the maps μ and η are continuous. Also, we get

$$\lim_{k \rightarrow \infty} A_{\lambda}(\mu \mu x_k, \dots, \mu \mu x_k, \eta \eta x_k) = 0$$

since the pair (μ, η) is a w -compatible maps of type (β) . Thus, we obtain

$$\lim_{k \rightarrow \infty} A_{\lambda}(\mu \eta x_k, \dots, \mu \eta x_k, \eta \eta x_k) = 0$$

from the following inequality

$$A_{\lambda}(\mu \eta x_k, \dots, \mu \eta x_k, \eta \eta x_k)$$

$$\leq A_{\frac{\lambda}{n}}(\mu \eta x_k, \dots, \mu \eta x_k, \mu \mu x_k)$$

$$+ A_{\frac{\lambda}{n}}(\mu \eta x_k, \dots, \mu \eta x_k, \mu \mu x_k)$$

$$+ \dots + A_{\frac{\lambda}{n}}(\eta \eta x_k, \dots, \eta \eta x_k, \mu \mu x_k)$$

In the similar vein, we have

$$\lim_{k \rightarrow \infty} A_{\lambda}(\eta \mu x_k, \dots, \eta \mu x_k, \mu \mu x_k) = 0$$

Then, the pair (μ, η) is a w -compatible of type (α) .

Proposition 3.17 Let $\mu, \eta : \mathcal{X} \rightarrow \mathcal{X}$ be w -compatible maps of type (α) in (\mathcal{X}, A) modular A -metric space. If at least one of μ and η are continuous maps, then they are w -compatible maps of type (β) .

Proof: Suppose that the map μ be a continuous map and $\{\mu x_k\}$ and $\{\eta x_k\}$ converge to same $t \in \mathcal{X}$. In this case, we have

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \mu \mu x_k = \lim_{k \rightarrow \infty} \mu \eta x_k = \mu t$$

since the map μ is continuous. We know that

$$\begin{aligned}
 & A_{\lambda}(\mu\mu x_k, \dots, \mu\mu x_k, \eta\eta x_k) \\
 & \leq A_{\lambda}(\mu\mu x_k, \dots, \mu\mu x_k, \mu\eta x_k) \\
 & \vdots \\
 & + A_{\lambda}(\mu\mu x_k, \dots, \mu\mu x_k, \mu\eta x_k) \\
 & + A_{\lambda}(\eta\eta x_k, \dots, \eta\eta x_k, \mu\eta x_k)
 \end{aligned}$$

from condition (MA3). We have

$$\begin{aligned}
 \lim_{k \rightarrow \infty} A_{\lambda}(\eta\mu x_k, \mu\mu x_k, \dots, \mu\mu x_k) &= 0 \\
 \lim_{k \rightarrow \infty} A_{\lambda}(\mu\eta x_k, \eta\eta x_k, \dots, \eta\eta x_k) &= 0
 \end{aligned}$$

since the pair (μ, η) is a w -compatible maps of type (α) . Also, $\lim_{k \rightarrow \infty} A_{\lambda}(\eta\eta x_k, \eta\mu x_k, \dots, \eta\mu x_k) = 0$.

From the last inequality, we know that

$$\lim_{k \rightarrow \infty} A_{\lambda}(\mu\mu x_k, \dots, \mu\mu x_k, \eta\eta x_k) = 0.$$

Then, the pair (μ, η) is a w -compatible maps of type (β) .

Corollary 3.18 Let $\mu, \eta : \mathcal{X} \rightarrow \mathcal{X}$ be two continuous maps in (\mathcal{X}, A) modular A -metric space. If the pair (μ, η) is a w -compatible maps of type (α) if and only if it is a w -compatible maps of type (β) .

4. Conclusion

This study introduces the concepts of w -compatible mappings, w -compatible maps of type (α) and w -compatible maps of type (β) on modular A -metric spaces. The relationships between these mappings are examined and necessary inverse examples are presented. Different types of compatible mappings concepts can be defined and with the help of these definitions, common fixed point theorems can be proved.

5. References

Abbas, M., Ali, B. and Suleiman, Y.I., 2015. Generalized coupled common fixed point results in partially ordered A -metric spaces. *Fixed Point Theory and Applications*, 2015(1), 64.

Aydin, E. and Kutukcu, S., 2017. Modular A -metric spaces. *Journal of Science and Arts*. **17(3)**, 423-432.

Chistyakov, V.V., 2010. Modular metric spaces, I: Basic concepts. *Nonlinear Analysis: Theory, Methods and Applications*. **72(1)**, 1-14.

Chistyakov, V.V., 2010. Modular metric spaces, II: Application to superposition operators. *Nonlinear Analysis: Theory, Methods and Applications*. **72(1)**, 15-30.

Cho, Y.J., Pathak H.K., Kang S.M. and Jung J.S., 1998. Common fixed points of compatible maps of type (beta) on fuzzy metric spaces. *Fuzzy Sets and Systems*. **93(1)**, 99-111.

Jungck, G., 1986. Compatible mappings and common fixed points. *International Journal of Mathematics and Mathematical Sciences*. **9(4)**, 771-779.

Jungck, G., Murthy, P.P. and Cho, Y.J., 1993. Compatible mappings of type (A) and common fixed points. *Mathematica Japonica*. **38(2)**, 381-390.

Kaplan, E, 2021. Modüler A -metrik uzaylar ve özellikleri, Doktora Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Samsun, 84.

Kutukcu, S. and Sharma, S., 2009. Compatible maps and common fixed points in Menger probabilistic metric spaces. *Communications of the Korean Mathematical Society*, **24(1)**, 17-27.

Pathak, H.K., Cho, Y.J., Chang, S.S. and Kang S.M., 1996. Compatible mappings of type (P) and fixed point theorems in metric spaces and probabilistic metric spaces. *Novi Sad Journal of Mathematics*, **26(2)**, 87-109.

On Approximation Properties of Gamma Type Operator Based on (p,q)-Integer

Ümit KARABIYIK¹

¹ Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Fakültesi, Matematik ve Bilgisayar Bilimleri i Bölümü, Konya.

e-posta: ukarabiyik@erbakan.edu.tr. ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-7989-7321>

Geliş Tarihi: 02.02.2022

Kabul Tarihi: 07.08.2022

Keywords

Gamma type operator;
The weighted modulus of continuity; Local approximation; (p,q)-integer

Abstract

In the literature; extensive work on the q and (p,q)-calculus has contributed greatly to describing the different generalizations of many operators involving the q and (p,q)-integers. In this study, we will present to you, that we define Gamma type operator based on (p,q)-integer. We get some direct output including asymptotic formula and error estimation in terms of modulus continuity. In addition, as a result of the research, we estimate the convergence rate of these operators in a weighted space.

Gama Tipi Operatörün (p,q)-tamsayı ikililerine Dayalı Yaklaşım Özellikleri

Anahtar kelimeler

Gama tipi operatör;
Ağırlıklı süreklilik modülü; Lokal yaklaşım; (p,q)-Tamsayı ikilileri

Öz

Literatürde; q ve (p,q)-hesabı üzerindeki kapsamlı çalışma q ve (p,q)-tamsayı ikililerini içeren birçok operatörün farklı genellemelerinin tanımlanmasına büyük ölçüde katkıda bulunmuştur. Size sunacağımız bu çalışmada (p,q)-tamsayı ikililerine göre gama tipi operatörü tanımlayarak süreklilik modül açısından asimtotik formül ve hata tahmini içeren bazı doğrudan sonuçlar elde edeceğiz. Ayrıca, bu operatörlerin ağırlıklı bir uzayda yakınsaklığını araştırarak ve yakınsaklık oranını tahmin ediyoruz.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Introduction

Recently Karsli (2007,2010) defined and studied some approximation properties following gamma type operatör;

$$L_n(f; x) = \int_0^\infty \int_0^\infty g_{n+2}(x, u) \cdot g_n(x, t) \cdot f(t) dt = \frac{(2n+3)! x^{n+3}}{n!(n+2)!} \int_0^\infty \frac{t^n}{(1+t)^{2n+4}} f(t) dt$$

Later Mao (2007) introduced following generalized Gamma type operatör;

$$M_{n,k}(f; x) = \int_0^\infty \int_0^\infty g_{(n-k)}(x, u) g_n(x, t) f(t) \cdot dt = \frac{(2n-k+1)! x^{(n+1)}}{n!(n-k)!} \int_0^\infty \frac{t^{(n-k)}}{(1+t)^{(2n-k+2)}} f(t) dt$$

Karsli *et al.* (2015) introduced stancu type modification of the q-type of general Gamma operators as follows:

$$M_{n,k,q}^{\alpha,\beta}(f; x) = \frac{[2n-k+1]_q! \left(q^{\frac{2n-k+1}{2}} \cdot x \right)^{(n+1)}}{[n]_q! [n-k]_q!} q^{\frac{(n-k)(n-k+1)}{2}}$$

$$\int_0^{\frac{\infty}{A}} \frac{t^{n-k}}{\left(q^{\frac{2n-k+1}{2}}x+t\right)^{2n-k+2}} \cdot f\left(\frac{[n]_q \cdot t + \alpha}{[n]_q + \beta}\right) d_q t.$$

They also present Voronovskaja type theorem and established some direct results.

These days, in the field of approximation theory one and two variable quantum calculus and its applications seem to have created a new field of study with different results.

Major work on the q and (p, q) -calculus has played an important role in arriving at different generalizations of many operators involving q and (p, q) -integers. As a result, some researchers have examined many positive linear operators based on q and (p, q) -integers and have brought them to the literature by giving their definitions (Karaisa 2015, 2016), (Gupta 2006, 2018), (Acar 2016, 2018), (Mursaleen 2015), (Khursheed and Karaisa 2017), (Sadiang 2018).

In this article motivated by these studies in the literature, we introduce the approximation properties of Gamma type operator based on (p, q) -integer.

Since the (p, q) -calculus has been the most intriguing area of research, this motivated us to introduce (p, q) -analogue of the generalized Gamma operators. First, let's start by examining some definitions and notations of the (p, q) -calculus concept.

The (p, q) -integer of the number n given as follows:

$$[n]_{p,q} := \begin{cases} \left(\frac{p^n - q^n}{p - q}\right), & 0 < q < p \leq 1, \\ n = 1, 2, \dots \end{cases}$$

The (p, q) -factorial $[n]_{p,q}!$ and the (p, q) -binomial coefficients are defined as:

$$[n]_{p,q}! := \begin{cases} [n]_{p,q} \cdot [n-1]_{p,q} \dots \dots [1]_{p,q}, & n \in N \\ 1, & n = 0 \end{cases}$$

and

$$[n]_{p,q}^k = \frac{[n]_{p,q}!}{[k]_{p,q}! \cdot [n-k]_{p,q}!}, 0 \leq k \leq n.$$

Further the (p, q) -binomial expansions are given as

$$\begin{aligned} &(ax + by)_{p,q}^n \\ &= \sum_{k=0}^n p^{\binom{n-k}{2}} \cdot q^{\binom{k}{2}} \cdot a^{n-k} \cdot b^k \cdot x^{n-k} \cdot y^k \end{aligned}$$

and

$$(x - y)_{p,q}^n = (x - y) \cdot (px - qy).$$

$$(p^2x - q^2y) \dots \dots (p^{n-1}x - q^{n-1}y).$$

Two different (p, q) -expansions named $E_{p,q}$ and $e_{p,q}$ of the exponential functions are given as follows;

$$e_{p,q}(x) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{p^{\frac{n(n-1)}{2}}}{[n]_{p,q}!} x^n$$

and

$$E_{p,q}(x) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{q^{\frac{n(n-1)}{2}}}{[n]_{p,q}!} x^n.$$

We can easily deduce $e_{p,q}(x) \cdot E_{p,q}(-x) = 1$.

Aral and Gupta (2016) for any $n, m \in N$, proposed (p, q) -Beta, (p, q) -Gamma function of second kind follows:

$$\begin{aligned} &B_{p,q}(m, n) = \\ &\int_0^{\infty} \frac{x^{m-1}}{(1+x)_{p,q}^{m+n}} d_{p,q}x \end{aligned} \tag{1}$$

and

$$\Gamma_{p,q}(n) = \int_0^{\infty} p^{\frac{n(n-1)}{2}} E_{p,q}(-qx) d_{p,q}x,$$

$$\Gamma_{p,q}(n + 1) = [n]_{p,q}!.$$

Also they showed following relation of $B_{p,q}(m, n)$ and $\Gamma_{p,q}(n)$:

$$\begin{aligned} &B_{p,q}(m, n) = \\ &q^{\frac{(2-m)(m-1)}{2}} \cdot p^{\frac{(-m)(m-1)}{2}} \cdot \frac{\Gamma_{p,q}(n) \cdot \Gamma_{p,q}(m)}{\Gamma_{p,q}(m+n)} \end{aligned} \tag{2}$$

Now for $0 < q < p \leq 1$ we define (p, q) -analogue of generalized Gamma type operator as follows:

$$\begin{aligned} &L_{n,k,p,q}(f; x) \\ &= \frac{[2n - k + 1]_{p,q}! x^{n+1} q^{\frac{(n-k)(n-k+1)-2}{2}} p^{\frac{(n-k)(n-k+1)-2}{2}}}{[n]_{p,q}! [n - k]_{p,q}!} \end{aligned}$$

$$\int_0^\infty \frac{t^{n-k}}{(x+t)_{p,q}^{(2n-k+2)}} \cdot f(p^{n-k+1}q^{n-k+1}) \cdot d_{p,q}t$$

Lemma 1.1.

$$L_n^{p,q}(t^m, x) = \frac{[n-k+m]_{p,q}! [n-m]_{p,q}! p^{\frac{-m(m-1)}{2}} q^{\frac{-m(m-1)}{2}}}{[n]_{p,q}! [n-k]_{p,q}!} \cdot x^m$$

Proof. By (1) and (2), we have

$$\begin{aligned} L_{n,k,p,q}(t^m; x) &= \frac{[2n-k+1]_{p,q}! x^{n+1} q^{\frac{(n-k)(n-k+1)-2}{2}} p^{\frac{(n-k)(n-k+1)}{2}}}{[n]_{p,q}! [n-k]_{p,q}!} \\ &\cdot p^{mn-km+m} \cdot q^{mn-km+m} \cdot \int_0^\infty \frac{t^{n-k+m}}{(x+t)_{p,q}^{2n-k+2}} d_{p,q}t \\ &= \frac{[2n-k+1]_{p,q}! x^{n+1} q^{\frac{(n-k)(n-k+1)-2}{2}} p^{\frac{(n-k)(n-k+1)}{2}}}{[n]_{p,q}! [n-k]_{p,q}!} \\ &\cdot p^{(mn-km+m)} q^{(mn-km+m)} \cdot \int_0^\infty \frac{\left(\frac{t}{x}\right)^{(n-k+m)}}{\left(1+\frac{t}{x}\right)_{p,q}^{(2n-k+2)}} d_{p,q}\left(\frac{t}{x}\right) \\ &= \frac{[2n-k+1]_{p,q}! x^{n+1} q^{\frac{(n-k)(n-k+1)-2}{2}} p^{\frac{(n-k)(n-k+1)}{2}}}{[n]_{p,q}! [n-k]_{p,q}!} \\ &p^{(mn-km+m)} \cdot q^{(mn-km+m)} \cdot B_{p,q}((n-k+m+1), (n-m+1)) \\ &= \frac{[n-k+m]_{p,q}! [n-m]_{p,q}! p^{\frac{-m(m-1)}{2}} q^{\frac{-m(m-1)}{2}}}{[n]_{p,q}! [n-k]_{p,q}!} \cdot x^m. \end{aligned}$$

The completes the proof.

From Lemma 1.1. we obtain that.

Corollary 1.2.

$$\begin{aligned} L_{n,k,p,q}(1; x) &= 1 \\ L_{n,k,p,q}(t; x) &= \frac{[n-k+1]_{p,q}}{[n]_{p,q}} \cdot x, \\ L_{n,k,p,q}(t^2; x) &= \frac{[n-k+2]_{p,q} \cdot [n-k+1]_{p,q}}{p \cdot q \cdot [n]_{p,q} \cdot [n-1]_{p,q}} \cdot x^2, \\ L_{n,k,p,q}(t^3; x) &= \frac{[n-k+3]_{p,q} \cdot [n-k+2]_{p,q} \cdot [n-k+1]_{p,q}}{p^3 \cdot q^3 \cdot [n]_{p,q} \cdot [n-1]_{p,q} \cdot [n-2]_{p,q}} \cdot x^3, \\ L_{n,k,p,q}(t^4; x) &= \frac{[n-k+4]_{p,q} \cdot [n-k+3]_{p,q} \cdot [n-k+2]_{p,q} \cdot [n-k+1]_{p,q}}{p^6 \cdot q^6 \cdot [n]_{p,q} \cdot [n-1]_{p,q} \cdot [n-2]_{p,q}} \cdot x^4. \end{aligned}$$

By linearity of $L_n^{p,q}$ we get.

Lemma 1.3.

$$\begin{aligned} L_{n,k,p,q}((t-x); x) &= \left(\frac{[n-k+1]_{p,q}}{[n]_{p,q}} - 1 \right) \cdot x, \\ L_{n,k,p,q}((t-x)^2; x) &= \left(\frac{[n-k+2]_{p,q} \cdot [n-k+1]_{p,q}}{p \cdot q \cdot [n]_{p,q} \cdot [n-1]_{p,q}} - 2 \frac{[n-k+1]_{p,q}}{[n]_{p,q}} + 1 \right) \cdot x^2 \end{aligned}$$

2. Local approximation properties of $L_{n,p,q}(f; x)$

In this part of our work, we will examine the Korovkin's approximation property Altomare (1994) order of convergence under the usual modulus of continuity and Peetre's K-functional, and the rate of convergence if it is a member of the class $Lip_M(\alpha)$, etc.

Theorem 2.1. Let $(p_n), (q_n)$ be sequences of real numbers such that $0 < q_n < p_n \leq 1$ and $A > 0$. Then for each, $f \in C_m[0, \infty) := \{f \in C_m[0, \infty) : |f(t)| \leq M \cdot (1+t)^m \text{ for some } m > 0 \text{ and } M > 0\}$, then sequence of operators $L_{n,p_n,q_n}(f; x)$ converges to f uniformly on any finite closed subinterval $[0, A]$ if and only if $\lim_{n \rightarrow \infty} p_n = 1$ and $\lim_{n \rightarrow \infty} q_n = 1$.

Proof. First, we assume that $\lim_{n \rightarrow \infty} p_n = 1, \lim_{n \rightarrow \infty} q_n = 1$. Now, we have to Show that $L_n(f, p_n, q_n; x)$ converges to f uniformly on $[0, A]$. From Corollary 1.2., we see that

$$\begin{aligned} L_n(1, p_n, q_n; x) &\rightarrow 1, \\ L_n(t, p_n, q_n; x) &\rightarrow x, \\ L_n(t^2, p_n, q_n; x) &\rightarrow x^2, \end{aligned}$$

uniformly on $[0, A]$ as $n \rightarrow \infty$.

Property of the Korovkin theorem implies that $L_n(f, p_n, q_n; x)$ converges to f uniformly on $[0, A]$ provided $f \in C_m[0, \infty)$.

Let's show the opposite with a contradiction. Suppose that p_n and $q_n \not\rightarrow 1$. Then they must contain subsequences $p_{n_k} \in (0, 1), q_{n_k} \in (0, 1), p_{n_k} \rightarrow a \in [0, 1]$ and $q_{n_k} \rightarrow b \in [0, 1]$ as $k \rightarrow \infty$ respectively. Thus,

$$\frac{1}{[n_k]_{p_{n_k}, q_{n_k}}} = \frac{p_{n_k}^{-q_{n_k}}}{(p_{n_k})^{n_k} - (q_{n_k})^{n_k}} \rightarrow 0 \text{ as } k \rightarrow \infty$$

and we get;

$$\begin{aligned}
 &L_n(t^2, p_{n_k}, q_{n_k}; x) - x^2 \\
 &= \frac{[n - k + 2]_{p_{n_k}, q_{n_k}} \cdot [n - k + 1]_{p_{n_k}, q_{n_k}} \cdot x^2}{p_{n_k} \cdot q_{n_k} \cdot [n]_{p_{n_k}, q_{n_k}} \cdot [n - 1]_{p_{n_k}, q_{n_k}}} - x^2 \\
 &= \frac{x^2}{ab} - x^2 \neq 0 \text{ as } k \rightarrow \infty.
 \end{aligned}$$

This appears as a contradiction and like this $p_n \rightarrow 1$ and $q_n \rightarrow 1$ as $n \rightarrow \infty$.

Theorem 2.2. Let $f \in C_B[0, \infty)$, $q = q_n \in (0, 1)$ and $p = p_n \in (q, 1]$ such that $p_n \rightarrow 1$ and $q_n \rightarrow 1$ as $n \rightarrow \infty$ and $\omega_{a+1}(f, \delta)$ be modulus of continuity on the finite interval $[0, (a + 1)] \subset [0, \infty)$, where $a > 0$. Then $|L_n(f, p, q; x) - f(x)| \leq 4M_f(1 + a^2)\delta_n^2(x) + 2\omega_{a+1}(f, \delta_n(x))$ where $\delta_n(x) = \sqrt{L_n((t - x)^2, p, q; x)}$ calculated in Lemma 1.3.

Proof. For $x \in [0, a]$ and $t > (a + 1)$ since $(t - x) > 1$,

$$\begin{aligned}
 |f(t) - f(x)| &\leq M_f(2 + x^2 + t^2) \\
 &\leq M_f(2 + 3x^2 + 2(t - x)^2) \\
 &\leq M_f((4 + 3x^2) \cdot (t - x)^2) \\
 &\leq 4M_f(1 + a^2) \cdot (t - x)^2 \quad (3)
 \end{aligned}$$

For $x \in [0, a]$ and $t \leq (a + 1)$

$$\begin{aligned}
 |f(t) - f(x)| &\leq \omega_{a+1}(f, |t - x|) \\
 &\leq \left(1 + \frac{|t - x|}{\delta}\right) \cdot \omega_{a+1}(f, \delta) \text{ with } \delta > 0
 \end{aligned}$$

(4)

From (3) and (4) we may write

$$\begin{aligned}
 |f(t) - f(x)| &\leq 4M_f(1 + a^2) \cdot (t - x)^2 \\
 &+ \left(1 + \frac{|t - x|}{\delta}\right) \cdot \omega_{a+1}(f, \delta)
 \end{aligned}$$

for $x \in [0, a]$ and $t > 0$.

(5)

Thus by applying the Cauchy-Schwarz's inequality we get,

$$\begin{aligned}
 &|L_n(f, p, q; x) - f(x)| \\
 &\leq L_n(|f(t) - f(x)|, p, q; x) \\
 &\leq 4M_f(1 + a^2) \cdot L_n((t - x)^2, p, q; x) \\
 &+ \left(1 + \frac{1}{\delta} \cdot \sqrt{L_n((t - x)^2, p, q; x)}\right) \cdot \omega_{a+1}(f, \delta) \\
 &\leq 4M_f(1 + a^2) \cdot \delta_n^2(x) + 2\omega_{a+1}(f, \delta_n(x))
 \end{aligned}$$

on choosing $\delta := \delta_n(x)$. This completes the proof.

Now we will present to you the local approximation theorem for the Kantorovich type of (p, q) -Szász operators. Let $C_B[0, \infty)$ be the space of all real-valued continuous bounded functions f on $[0, \infty)$, endowed with the norm

$$\|f\| = \sup_{x \in [0, \infty)} |f(x)|.$$

The Peetre's K-functional is defined by

$$\begin{aligned}
 K_2(f, \delta) &= \inf_{\lambda \in C^2[0, \infty)} \{\|f - \lambda\| + \delta\|\lambda''\|\} \\
 \text{where } C_B^2[0, \infty) &:= \{\lambda \in C_B[0, \infty) : \lambda', \lambda'' \in C_B[0, \infty)\}.
 \end{aligned}$$

By Devore (1993, p. 177, Theorem 2.4) there exists an absolute constant $M > 0$.

$$\begin{aligned}
 K_2(f, \delta) &\leq M\omega_2(f, \sqrt{\delta}), \text{ where } \delta > 0 \text{ and} \\
 &\omega_2(f, \delta) \\
 &= \sup_{0 < h \leq \delta} \sup_{x \in [0, \infty)} |f(x + 2h) - 2f(x + h) + f(x)|, \\
 &\text{where } f \in C_B[0, \infty) \text{ and } \delta > 0.
 \end{aligned}$$

Theorem 2.3.

Let $f \in C_B[0, \infty)$, $0 < q < p \leq 1$, $x \in [0, \infty)$. We have,

$$\begin{aligned}
 &|K_n(f, p, q; x) - f(x)| \leq M\omega_2(f, \sqrt{\delta_n(x)}) + \\
 &\omega(f, \left| \left(1 - \frac{[n - k + 1]_{p, q}}{[n]_{p, q}}\right) \cdot x \right|),
 \end{aligned}$$

where M is an absolute constant ω is the usual modulus of continuity and

$$\delta_n(x) = L_n((t-x)^2, p, q; x) + (1 - \frac{[n-k+1]_{p,q}}{[n]_{p,q}})^2 x^2.$$

Proof. We consider the auxiliary operators L_n^* is given as follows:

$$\begin{aligned} L_n^*(f, p, q; x) &= L_n(f, p, q; x) - f\left(\frac{1}{[2]_{p,q}[n]_{p,q}} + \frac{1}{q} \cdot x\right) + f(x) \end{aligned} \tag{6}$$

From Lemma 1.3. $L_n^*(f, p, q; x)$ are linear and reconstructs linear operators. Thus,

$$\begin{aligned} L_n^*((t-x), p, q; x) &= L_n((t-x), p, q; x) \\ &\quad - \left(\left(\frac{[n-k+1]_{p,q}}{[n]_{p,q}} \cdot x \right) - x \right) \\ &= L_n(t, p, q; x) - x \cdot L_n(1, p, q; x) - \left(\frac{[n-k+1]_{p,q}}{[n]_{p,q}} \cdot x \right) + x = 0. \end{aligned}$$

Let $x \in [0, \infty)$ and $\lambda \in C_B^2[0, \infty)$. Using the Taylor's formula

$$\lambda(t) = \lambda(x) + \lambda'(x)(t-x) + \int_x^t (t-\theta)\lambda''(\theta)d\theta.$$

Applying L_n^* to either side of the given equation and using (6) we have,

$$\begin{aligned} L_n^*(\lambda, p, q; x) - \lambda(x) &= L_n^*((t-x) \cdot \lambda'(x), p, q; x) \\ &+ L_n^*\left(\int_x^t (t-\theta) \cdot \lambda''(\theta)d\theta, p, q; x\right) \\ &= \lambda'(x) \cdot L_n^*((t-x), p, q; x) \\ &+ L_n^{(p,q)}\left(\int_x^t (t-\theta) \cdot \lambda''(\theta)d\theta, p, q; x\right) \end{aligned}$$

$$- \int_x^{\frac{[n-k+1]_{p,q}}{[n]_{p,q}}} \left(\frac{[n-k+1]_{p,q}}{[n]_{p,q}} \cdot x - \theta \right) \cdot \lambda''(\theta)d\theta.$$

In addition to this since

$$\begin{aligned} &\left| \int_x^t (t-\theta) \cdot \lambda''(\theta)d\theta \right| \\ &\leq \int_x^t |t-\theta| \cdot |\lambda''(\theta)|d\theta \leq \|\lambda''\| \cdot \int_x^t |t-\theta|d\theta \\ &\leq (t-x)^2 \cdot \|\lambda''\| \text{ and} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\left| \int_x^{\frac{[n-k+1]_{p,q}}{[n]_{p,q}}} \left(\frac{[n-k+1]_{p,q}}{[n]_{p,q}} \cdot x - \theta \right) \cdot \lambda''(\theta)d\theta \right| \\ &\leq \left(\frac{[n-k+1]_{p,q}}{[n]_{p,q}} \cdot x - \theta \right)^2 \cdot \|\lambda''\|. \end{aligned}$$

We conclude that,

$$\begin{aligned} L_n^*(\lambda, p, q; x) - \lambda(x) &= \left| L_n\left(\int_x^t (t-\theta) \cdot \lambda''(\theta)d\theta, p, q; x\right) - \int_x^{\frac{[n-k+1]_{p,q}}{[n]_{p,q}}} \left(\frac{[n-k+1]_{p,q}}{[n]_{p,q}} \cdot x - \theta \right) \lambda''(\theta)d\theta \right| \\ &\leq \|\lambda''\| \cdot L_n((t-x)^2, p, q; x) \\ &+ \left(\frac{[n-k+1]_{p,q}}{[n]_{p,q}} \cdot x - x \right)^2 \cdot \|\lambda''\| \\ &= \delta_n(x) \cdot \|\lambda''\|. \end{aligned} \tag{7}$$

Keeping in mind the boundedness of L_n^* by (6) we have,

$$\begin{aligned} |L_n^*(f, p, q; x)| &\leq |L_n(f, p, q; x)| + 2\|f\| \leq 3\|f\|. \end{aligned} \tag{8}$$

Using (7) and (8) in (6) we obtain

$$\begin{aligned}
 & |L_n(f, p, q; x) - f(x)| \\
 & \leq |L_n^*(f, p, q; x) - f(x)| \\
 & + \left| f(x) - f\left(\frac{[n-k+1]_{p,q}}{[n]_{p,q}} \cdot x\right) \right| \\
 & \leq |L_n^*((f-\lambda), p, q; x) \\
 & - (f-\lambda)(x)| \\
 & + \left| f(x) - f\left(\frac{[n-k+1]_{p,q}}{[n]_{p,q}} \cdot x\right) \right| \\
 & + |L_n^*(\lambda, p, q; x) - \lambda(x)| \\
 & \leq |L_n^*((f-\lambda), p, q; x) \\
 & - (f-\lambda)(x)| \\
 & + \left| f(x) - f\left(\frac{[n-k+1]_{p,q}}{[n]_{p,q}} \cdot x\right) \right| \\
 & + |K_n^*(\lambda, p, q; x) - \lambda(x)| \\
 & \leq 4\|f - \lambda\| \\
 & + \omega\left(f, \left| \left(1 - \frac{[n-k+1]_{p,q}}{[n]_{p,q}}\right) \cdot x \right|\right) \\
 & + \delta_n(x) \cdot \|\lambda''\|.
 \end{aligned}$$

We have the following result;

$$\begin{aligned}
 & |L_n(f, p, q; x) - f(x)| \\
 & \leq 4L_2(f, \delta_n(x)) + \omega\left(f, \left| \left(1 - \frac{[n-k+1]_{p,q}}{[n]_{p,q}} \cdot x\right) \right|\right).
 \end{aligned}$$

By the definition of K – functional we get,

$$\begin{aligned}
 & |K_n(f, p, q; x) - f(x)| \\
 & \leq M\omega_2\left(f, \sqrt{\delta_n(x)}\right) + \omega\left(f, \left| \left(1 - \frac{[n-k+1]_{p,q}}{[n]_{p,q}} \cdot x\right) \right|\right).
 \end{aligned}$$

3. Concluding Remarks.

Karsli (2007,2010) investigated some approximation properties of gamma type operators for the first time in the literature and gave important definitions. Then Mao (2007) investigated the generalized case of this operator. Recently, one and two variable quantum calculus and its applications have been adopted by many researchers as a new field of study. Karsli et al. (2015) introduced the stancu-type modification of the q -type of general gamma operators with the help of gamma operators. These studies in the literature have motivated us to investigate the

approach Properties of the (p,q) -integer-based gamma-type operator.

The results we obtained above; as a continuation of this study, it has contributed to our investigation of the generalized form and properties of this operator.

4. References

- Acar, T., 2016. (p,q) –generalization of Szász–Mirakyan operators. *Math. Method. Appl.Sci.*, **39(10)**, 2685-2695.
- Acar, T., Mohiudine, S. A., Mursaleen, M., 2018. Approximation by (p,q) –Baskakov-Durrmeyer–Stancu operators. *Complex Analysis and Operator Theory*, **12(6)**, 1453-1468.
- Altomare, F. and Campiti, M., 1994. Korovkin Type Approximation Theory and its Applications,17, Walter de Gruyter, Berlin.
- Aral, A. and Gupta, V., 2016. Bernstein Durrmeyer operators based on two parameters. *Facta Universitatis (Nis) Ser. Math. Inform.*, **31(1)**, 79–95.
- Gupta, V., Noor M. A, and Beniwal, M.S., 2006. Rate of convergence in simultaneous approximation for Szász–Mirakyan–Durrmeyer operators. *J. Math. Anal. Appl.*, **322(2)**, 964–970.
- Gupta, V., 2018. (p,q) –Szász–Mirakyan–Baskakov operators, *Complex Analysis and Operator Theory*. **12(1)**, 17-25.
- Karaisa, A., Tollu D. T., and Asar, Y., 2015. Stancu type generalization of q -Favard-Szász operators. *Appl. Math. Comput.*, **264**, 249-257.
- Karaisa, A., 2016. Approximation by Durrmeyer type Jakimoski–Leviatan operators. *Math. Methods Appl. Sci.*, **39**, 2401-2410.
- Karsli, H., 2007. Rate of convergence of a new gamma type operators for functions with derivatives of bounded variation. *Math. Comput. Model.*, **45(5-6)**, 617-624.
- Karsli, H. and Özarlan M. A., 2010. Direct local and global approximation results for the operators of gamma type. *Hacet. J. Math. Stat.*, **39 (2)**, 241-253.
- Karsli, H., Agrawal P. N., and Goyal, M., 2015. General Gamma type operators based on q -integers. *Applied Mathematics and Computation*, **251**, 564-575.

Khursheed Ansaria J., and Karaisa, A., 2017. On the approximation by Chlodowsky type generalization of (p, q) -Bernstein operators. *Int. J. Nonlinear Anal. Appl.*, **8(2)**, 181-200.

Mao, L.C., 2007. Rate of convergence of Gamma type operator. *J. Shangqiu Teachers Coll.*, **12**, 49-52.

Mursaleen, M., Nasiuzzaman, Md., and Nurgali, A., 2015. Some approximation results on Bernstein-Schurer operators defined by (p, q) –integers. *Jou. Ineq. Appl.*, **249(2015)**.

Sadjang, P. N., 2018. On the fundamental theorem of (p, q) –calculus and some (p, q) –Taylor formulas. *Results Math*, **73**, 21-39.

Kesik Tekil Değer Ayrışımı ve Ayrık Dalgacık Dönüşümü Kullanılarak Boyut İndirgeme Tabanlı Dayanıklı Dijital Görüntü Damgalama

Ahmet Haşim YURTTAKAL^{1*}, Fahrettin HORASAN²

¹Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Afyon.

²Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Kırıkkale.

*Sorumlu Yazar: ahyurttakal@aku.edu.tr ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-5170-6466>

fhorasan@kku.edu.tr ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-4554-9083>

Geliş Tarihi: 06.07.2022

Kabul Tarihi: 23.08.2022

Öz

Anahtar kelimeler

Damgalama; Kesik-TDA; Ayrık Dalgacık Dönüşümü; Boyut İndirgeme; Veri Gizleme

Telif hakkı koruma, kimlik doğrulama, parmak izi, içerik etiketleme gibi alanlarda kullanılan damgalama tekniklerinde genel olarak sinyal işleme dönüşümleri ve matematiksel teknikler kullanılır. Bu çalışmada çoğu damgalama tekniğinde tercih edilen Tekil Değer Ayrışımı (TDA) yerine, boyut indirgeme tabanlı Kesik-TDA tekniği kullanılmıştır. Önerilen bu teknik Ayrık Dalgacık Dönüşümü (ADD) ile birlikte kullanılmıştır. Temel TDA-ADD tabanlı yöntemle göre önerilen yöntemin histogram eşitleme dışında tüm olası saldırılara karşı algılanamazlık ve dayanıklılık performanslarında ilerleme kaydedtiği gözlemlenmiştir. Önerilen şemanın farklı matris ayrışımı ve sinyal işleme dönüşümlerinin kullanıldığı alternatif damgalama şemalarına yön vereceği tahmin edilmektedir.

Dimension Reduction Based Robust Digital Image Watermarking Using Truncated Singular Value Decomposition and Discrete Wavelet Transform

Abstract

Keywords

Watermarking; Truncated-SVD; Discrete Wavelet Transform; Dimension Reduction; Data Hiding

Signal processing transformations and mathematical techniques are generally used in watermarking techniques used in areas such as copyright protection, authentication, fingerprinting, content tagging. In this study, instead of the Singular Value Decomposition (SVD), which is preferred in most watermarking schemes, the dimension reduction-based truncated-SVD technique is used. This technique is combined with the Discrete Wavelet Transform. Compared to the baseline SVD-DWT-based technique, it has been observed that the proposed scheme has made progress in imperceptibility and resistance performances against all possible attacks, except histogram equalization. It is predicted that the proposed scheme will lead to alternative stamping schemes using different matrix decomposition and signal transformations.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

Dijital platformlarda yayınlanan içeriklerin telif haklarının korunması değiştirme, düzenleme ve filtreleme uygulamalarının artmasıyla zorlaşmaktadır. Dijital içerik üreticilerin eserlerine ait telif haklarını korumak amacıyla önlem almaları önemli bir konu olarak dikkat çekmektedir (Litman 2001, Postigo 2012). Dijital içeriklere telif hakkını korumak için damgalama adı verilen işlem uygulanır. Dijital içeriklere eser sahibine ait telif bilgisinin damga olarak gömülmesiyle bu işlem

gerçekleştirilmektedir (Kadian vd. 2021). Ancak bu damganın dijital içeriklerin maruz kalabileceği her türlü değişiklik, düzenleme ve filtreleme gibi saldırılara dayanıklı olması gerekmektedir. Araştırmacılar bu amaçla çeşitli damgalama şemaları önermektedirler (Evsutin vd. 2020, Evsutin ve Dzhnashia 2022).

Damgalama veri gizleme konusunun bir alt sınıfıdır (Rajendran vd. 2020). Veri gizleme dijital ortamdaki sinyallere gizli mesajın gömülmesini amaçlamaktadır (Xiang vd. 2016, Singh vd. 2020,

Kumar ve Singh 2021). Veri gizleme genel olarak bit uzayında ve frekans uzayında veri gizleme olarak iki farklı şekilde gerçekleşmektedir. Veri gizleme gizlenen verinin çeşitli saldırılara dayanıklılık durumu dikkate alındığında kırılğan ve kırılğan olmayan olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır. Kırılğan veri gizlemede veriye uygulanacak sinyal işleme saldırılarına karşı gizlenen veri dayanıksız ve geri çıkarılamazdır. Kırılğan olmayan veri gizlemede ise gizlenen verinin sinyal işleme saldırılarına karşı dayanıklı ve geri çıkarılabilir olması gerekir. Bu bilgilere dayanarak bu durumda dijital içeriklerin telif hakkının korunması maksadı için kırılğan olmayan bir veri gizleme işlemi gerekmektedir (Wang vd. 2009, Vaidya ve Pvssr 2017). Damgalama genellikle frekans uzayında gerçekleşen kırılğan olmayan yani dayanıklı bir veri gizleme tekniğidir. Uzamsal yani piksel tabanlı damgalama teknikleri saldırılara karşı sağlam olmadığı ve kapasitesinin kararsız olması nedeniyle çok tercih edilmemektedirler (Ernawan ve Kabir 2019).

Damgalama çalışmalarında damganın sağlamlığından ziyade, saydamlığı, güvenilirliği ve damgalama sürecinin maliyeti önem arz eder (Wang vd. 2009, Vaidya ve Pvssr 2017). Araştırmacılar bu kriterleri sağlayan en iyi modelleri geliştirmek için yeni şemalar önermeye devam etmektedirler. Damgalama çalışmalarında bu kriterleri sağlamaya imkân veren frekans uzayında gerçekleştirilen teknikler tercih edilmektedir. Frekans uzayında gerçekleştirilen damgalamalarda, çeşitli sinyal işleme dönüşümlerinin ve matematiksel tekniklerin sağladığı avantajlardan faydalanılmaktadır (Liu vd. 2019).

Damgalanmış bir sinyale uygulanan saldırılar sonrasında geri çıkarılan damgada kayıpların oluşması muhtemeldir (Vaidya ve Pvssr 2017, Liu vd. 2019, Kumar ve Singh 2021). Bunun yanı sıra matris ayrışımı sonrasında boyut indirgeme yaparak gürültülerin etkisi azaltılabilir. Boyut indirgeme sinyal işleme çalışmalarında gürültüleri azaltmada ve sadece anlamlı bilgileri işleme maksadıyla tercih edilmektedir (Fierro ve Hansen 1997, Zhou vd. 2012, Li vd. 2019). Bu çalışmada matris ayrışımı sonrasında olası gürültülerin etkisini azaltmak için boyut indirgeme yapılmaktadır. Böylece damgalanmış görüntüye uygulanan gürültü

niteliğindeki saldırıların etkisinin azaltılması amaçlanmıştır. Önerilen şemada, dijital görüntüler üzerinde ayrık dalgacık dönüşümü sonrasında, Kesik-TDA olarak adlandırılan teknik uygulanmıştır. Diğer bir deyişle TDA sonrasında boyut indirgeme işlemi gerçekleştirilmiştir. Damganın geri çıkarımı sırasında yine Kesik-TDA uygulandığı için olası gürültü saldırılarının etkisinin azaltılması amaçlanmıştır.

Çalışmanın bundan sonraki bölümünde ilgili araştırmalar anlatılmaktadır. Bölüm 3'te araştırmada kullanılan tekniklere ve açıklamalara yer verilmiştir. Çalışmanın deneysel analizine dair detaylar ve sonuçlar sırasıyla Bölüm 4 ve Bölüm 5'te yer almaktadır.

2. İlgili Çalışmalar

Araştırmacılar damgalama çalışmalarında matematiksel ve sinyal işleme dönüşümlerini kullanarak daha verimli sonuçlar elde etme eğilimindedirler. Sinyal dönüşümü olarak genellikle Ayrık Dalgacık Dönüşümü (ADD), Ayrık Kosinüs Dönüşümü (AKD), Ayrık Fourier Dönüşümü (AFD) ve Tamsayı Dalgacık Dönüşümü (TDD) gibi tekniklerin kullanıldığı görülmektedir (Ansari 2016, Vaidya ve Pvssr 2017, Liu vd. 2019, Zainol vd. 2020, Horasan 2022). Matematiksel teknikler ise genellikle matris ayrışımıdır. Bunlar Tekil Değer Ayrışımı, Negatif Olmayan Matris Ayrışımı (NOMA), QR ve LU ayrışımı olarak sıralanabilirler. Araştırmalarda en çok kullanılan matris ayrışımının genellikle TDA olduğu görülmektedir (Alshoura vd. 2021).

Araştırmacılar sadece TDA kullanarak önerdikleri damgalama çalışmalarında, görüntünün TDA sonrasında elde edilen tekil değerlerini kullanarak damgalama işlemi gerçekleştirmişlerdir (Liu ve Tan 2002, Byun vd. 2002). Ancak bu yöntem sinyal işleme ve görüntü işleme ataklarına yeterince dayanıklı değildir. Araştırmacılar bu nedenle sinyal işleme dönüşümlerini kullanarak daha dayanıklı şemalar oluşturmaya giriştiler. Görüntü ve sinyal işleme saldırılarına daha dayanıklı olan ADD tekniği ile birlikte TDA kullanan şema önerildi (Ganic ve Eskicioglu 2004). ADD tekniği damganın sağlamlığı ve saydamlığı konusunda sağladığı avantajlar nedeniyle birçok araştırmada tercih edilmektedir.

Çoğu araştırmada ADD sonrası elde edilen LL alt bandında verinin damgalandığı görülmektedir. ADD'nin sağladığı bir diğer avantaj ise sinyali farklı çözünürlüklerle analiz etme fırsatı sunmasıdır (Liu vd. 2019, Luo vd. 2021).

Matris ayrışmaları makine öğrenmesi, sinyal işleme, görüntü işleme ve bilgi çıkarımı gibi birçok alanlarda kullanılan lineer cebir tekniğidir (Hernandez-Lobato 2014, Chai 2020). Makine öğrenmesi alanında boyut indirgeme maksadıyla da kullanıldığı görülmektedir (Liu vd. 2008, Nikulin vd. 2011). Ancak damgalama çalışmalarında boyut indirgeme maksadıyla kullanılmamaktadır. Boyut indirgeme sayesinde sinyaller üzerindeki gürültülerin ve anlamsız özelliklerin azaltılması amaçlanmaktadır. Damgalama araştırmalarında matris ayrışım işlemlerinden sonra boyut azaltma işlemi gerçekleştirilmemektedir. Bu araştırmada ise damgaya uygulanan matris ayrışımı ve boyut indirgeme işlemi sonrasında damgada olabilecek gürültü niteliğindeki etkiler azaltılmaktadır. Böylece damgalanmış görüntüye yapılabilecek olası saldırıların etkisinin azaltılması amaçlanmıştır.

3. Materyal ve Metot

Bu bölümde çalışmada kullanılan teknikler ve açıklamaları yer almaktadır. Ayrıca son kısmında önerilen şema açıklanmıştır.

3.1 Ayrık Dalgacık Dönüşümü (ADD)

Damgalama sonrasında damganın sağlamlığını artırmak maksadıyla en çok tercih edilen sinyal işleme dönüşümlerinden biridir. Özellikle farklı çözünürlüklerde analiz ve işlem yapma becerisi kazandırması da tercih sebebi olmaktadır. ADD sonrasında LL, LH, HL ve HH olmak üzere dört tane matris (alt bant) elde edilir. Damgalama çalışmalarında genel olarak LL bandı kullanılarak bilgi gizlenmektedir (Liu vd. 2019, Luo vd. 2021). Şekil 1'de bir Ayrık dalgacık dönüşümü sonrasında elde edilen alt bantları göstermektedir.

LL	HL
LH	HH

Şekil 1. Ayrık dalgacık dönüşümü sonrasında elde edilen alt bantlar

3.2 Tekil Değer Ayrışımı (TDA)

Bir $A \in \mathbb{R}^{m \times n}$ matrisine TDA uygulanırsa U, Σ, V elde edilir. Burada $X \in \mathbb{R}^{m \times n}$ ve $Y \in \mathbb{R}^{m \times n}$ ortogonal matrislerdir ($UU^T = U^T U = I$ ve $VV^T = V^T V = I$). $m > n$ ve $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_m$ olmak üzere Σ 'nin elemanları sırasıyla $\sigma_1 > \sigma_2 > \dots > \sigma_m$ şartını sağlar ve Σ köşegen bir matristir. Denklik 1'de A matrisine TDA işleminin uygulanması gösterilmektedir.

$$A = X \Sigma Y^T \quad (1)$$

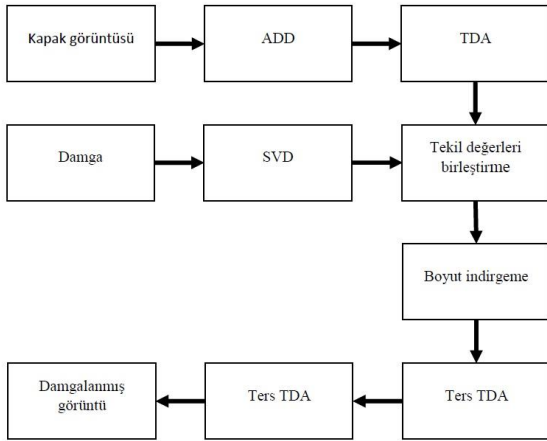
3.3 Boyut İndirgeme

Makine öğrenmesi, bilgiye erişim sistemleri ya da veri sıkıştırma gibi alanlarda kullanılan matris ayrışımından sonra genellikle boyut indirgeme işlemleri yapılır (Fierro ve Hansen 1997, Chen ve Saad 2008, Jessup ve Martin 2001). Aslında tekil değer ayrışımına uğrayan A matrisinin A_k olacak şekilde gerçek boyutuyla (k) temsil edilmesi amaçlanır. Mevcut boyutundan daha düşük boyutta olmasından dolayı hesaplama maliyetini önemli derecede azaltmaktadır (Jessup ve Martin 2001). Boyut indirgemenin veri damgalama sürecine en çok faydası olan husus ise sinyal üzerindeki gürültülerin temizlenebiliyor olmasıdır. Böylece damgalanmış görüntüler üzerine uygulanabilecek gürültü niteliğindeki saldırıların etkisinin azaltılması amaçlanmaktadır. Denklik 2 ile A matrisinin indirgenmiş hali olan A_k matrisi elde edilmektedir. Burada X_k ve Y_k sırasıyla X ve Y 'nin ilk k adet sütununu temsil eder. Σ_k ise Σ 'nin ilk k adet köşegen elemanlarını temsil etmektedir. Bu şemada k değeri en optimum performans sonuçlarının vermek üzere yapılan testler sonrasında belirlenmektedir.

$$A = X_k \Sigma_k Y_k^T \quad (2)$$

3.4 Önerilen Şema

Önerilen şemada, dijital görüntüye ilk önce ADD işlemi uygulanmaktadır. Bu dönüşüm sonrasında elde edilen LL bandına TDA işlemi uygulanmıştır. Aynı şekilde damgayı da TDA işlemi uygulanmaktadır. Damgayı uygulanan TDA ile elde edilen tekil değer matrisine (Σ_D) boyut indirgeme işlemi uygulanarak $\Sigma_{D,k}$ elde edilmiştir. Daha sonra Algoritma 1, Satır 6'da yer alan denklik kullanılarak tekil vektörler birleştirilmiştir. Böylece damgayı ait indirgenmiş tekil vektörler dijital görüntüye ait tekil vektörlere gömülmüştür. Elde edilen toplam tekil vektör matrisi satır 7'de olduğu gibi ters TDA yöntemi uygulanarak LL^* elde edilmiştir. Elde edilen LL^* ve diğer alt bantlar kullanılarak ADD dönüşümünün tersi uygulanır ve damgalanmış görüntü (H^*) elde edilir. Önerilen tekniğe ait damga gizleme ve geri çıkarma işlem adımları sırasıyla Şekil 2 ve Şekil 3'de gösterilmektedir.



Şekil 2. Damga gizleme şeması

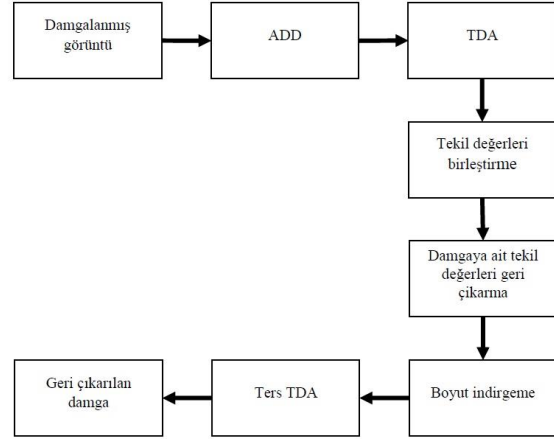
Algoritma 1: Damga Gizleme Algoritması

Girdi: Dijital Kapak Görüntüsü (H), Damga (D), Ölçekleme Katsayısı (α)

Çıktı: Damgalanmış Görüntü (H^*), $U_{D,k}$, $V_{D,k}^T$, Σ_H

1. Start
2. $[LL, HL, HL, HH] = ADD(H)$
3. $[U_H, \Sigma_H, V_H^T] = TDA(LL)$
4. $[U_D, \Sigma_D, V_D^T] = TDA(D)$
5. $[U_{D,k}, \Sigma_{D,k}, V_{D,k}^T] = BoyutIndirgeme(U_D, \Sigma_D, V_D^T)$
6. $\Sigma_H^* = \Sigma_H + \alpha \Sigma_{D,k}$
7. $LL^* = U_H \Sigma_H^* V_H^T$
8. $H^* = TersADD(LL, HL, HL, HH)$
9. Return H^*
10. End.

Burada damgalamanın gerçekleştirileceği dijital görüntüyü H , damgayı D temsil etmektedir. Ayrıca damgalama sonrası elde edilen damgalanmış görüntüyü ve geri çıkarılan damgayı sırasıyla H^* ve D^* temsil etmektedir.



Şekil 3. Damga geri çıkarma şeması

Algoritma 2: Damgayı Geri Çıkarma Algoritması

Girdi: Damgalanmış Görüntü (H^*), $U_{D,k}$, $V_{D,k}^T$, Σ_H Ölçekleme Katsayısı (α)

Çıktı: Geri Çıkarılan Damga (D^*)

1. Start
2. $[LL, HL, HL, HH] = TDA(H^*)$
3. $[U_H^*, \Sigma_H^*, V_H^{T*}] = TDA(LL)$
4. $\Sigma_D^* = (\Sigma_H^* - \Sigma_H) / \alpha$
5. $\Sigma_{D,k}^* = BoyutIndirgeme(\Sigma_D^*)$
6. $D^* = U_{D,k} \Sigma_{D,k}^* V_{D,k}^T$
7. Return D^*
8. End.

Damganın geri çıkarılmasında damgalanmış görüntü ile birlikte damga gömme algoritmasından elde edilen $U_{D,k}$, $V_{D,k}^T$ ve Σ_H matrisleri de girdi olarak kullanılmaktadır. Ölçekleme katsayısının da damga gizlemedeki ile aynı olması gerekmektedir. Damganın geri çıkarılmasında damgalanmış görüntüye ADD uygulandıktan sonra elde edilen LL alt bandına TDA işlemi yapılır. Algoritma 2'deki 4. satırda olduğu gibi TDA sonrası elde edilen tekil değer vektörü (Σ_H^*), orijinal kapak görüntüsüne ait tekil değer matrisi (Σ_H) ve ölçekleme faktörü kullanarak gizlenmiş damgayı ait tekil değer matrisi (Σ_D^*) elde edilir. Daha sonra girdi olarak alınan $U_{D,k}$ ve $V_{D,k}^T$ matrisleriyle çarpılarak damga D^* geri çıkarılır.

4. Deneysel Analizler

Çalışmada önerilen Kesik-TDA tekniğinin veri damgalama sürecindeki performansını incelemek için temel TDA tekniğine göre kıyaslaması gerçekleştirilmiştir. Her iki teknikte de öncelikle ADD uygulanmış ve LL bandına kesik-TDA ya da TDA uygulanarak iki şema elde edilmiştir. Elde edilen modelleri kıyaslamak için ise Şekil 4'de gösterilen kapak ve damga görüntüleri kullanılmıştır.



Şekil 4. Kapak Görüntüleri (a. H1 ve b. H2) (b) Damga-D

Performans analizi için damgalanmış görüntüden geri çıkarılan damganın dayanıklılığını ölçmek için kullanılan Normalized Correlation (NC) sonuçları incelenmiştir. Aynı zamanda damgalanan görüntüdeki algılanamazlığı ölçmek için de Peak Signal Noise Ratio (PSNR), Structural Similarity Index Measure (SSIM) metrikleri hesaplanmıştır. Aşağıda yer alan denklik 3, denklik 4 ve denklik 6 sırasıyla NC, PSNR ve SSIM metriklerini bulmak için kullanılmaktadır.

$$NC(D, D^*) = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n D_{i,j} D_{i,j}^*}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n D_{i,j}^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n D_{i,j}^{*2}}} \quad (3)$$

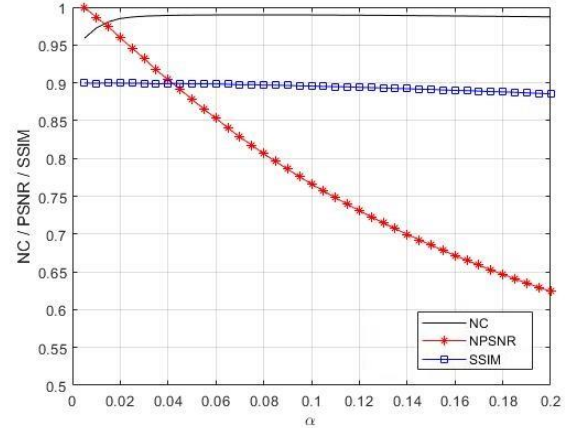
$$PSNR(H, H^*) = 10 \log_{10} \frac{H_{max}^2}{MSE(H, H^*)} \quad (4)$$

$$MSE(H, H^*) = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (H_{i,j} - H_{i,j}^*)^2}{m^2} \quad (5)$$

$$SSIM(H, H^*) = \frac{2\mu_H \mu_{H^*} + v_1}{\mu_H^2 + \mu_{H^*}^2 + v_1} \cdot \frac{\alpha_{HH^*} + v_2}{\alpha_H^2 + \alpha_{H^*}^2 + v_2} \quad (6)$$

μ_H ve μ_{H^*} sırasıyla H ve H^* görüntülerinin ortalamasını, α_H^2 ve $\alpha_{H^*}^2$ ise H ve H^* 'nin varyansını temsil eder. v_1 ve v_2 değişkenleri ise pay ve paydayı dengelemek için kullanılan iki değişkendir. α_{HH^*} H ve H^* 'nin kovaryansını temsil eder. Damganın dayanıklılığını ölçmek için çeşitli

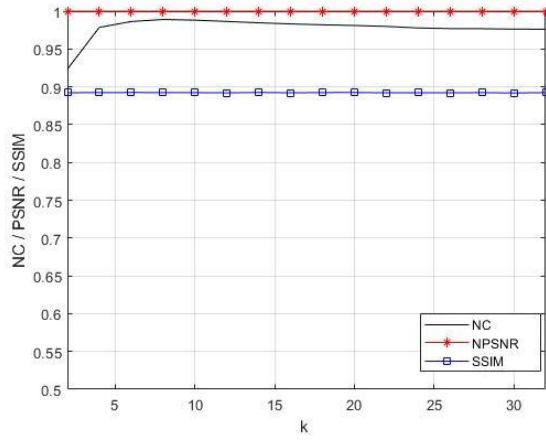
gürültü (Gaus - GG, Tuz & Biber – TBG ve Benek-BG gürültüleri), sıkıştırma (JPEG (QF=50)ve JPEG2000 (CR=12)), filtreleme (Gauss düşük geçiş-GDGF, Median-MF ve Average-AF), geometrik (Görüntü Ölçekleme(0.25,4)-ÖF ve görüntü kırpm (2%)-GK) histogram eşitleme-HE), ve bulanıklaştırma atakları uygulanmıştır.



Şekil 5. Ölçekleme faktörüne göre NC, PSNR VE SSIM metriklerinin değişimi

Damganın gömülmesi ve geri çıkarılması aşamasında kullanılan ölçekleme faktörünün belirlenmesi için 0.01 ve 0.2 arasındaki alpha değeri için olası saldırılara karşı elde edilen ortalama sonuçlar incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 5'de gösterilmektedir. PSNR sonuçları NC ve SSIM metrikleri gibi 0 ve 1 değeri arasında olacak şekilde normalize (NPSNR) edilmiştir. Şekil incelendiğinde α değeri arttıkça SSIM metriğinde önemli bir değişiklik olmaz iken PSNR metriğinde azalma görülmektedir. Diğer yandan NC metriği ölçekleme faktörüyle doğru orantılıdır. Önerilen çalışmanın hem dayanıklılığı hem de algılanamazlığını sağlamak için her iki metriğin kesiştiği ölçekleme faktörü 0.014 olarak belirlenmiştir. Burada boyut indirgeme sırasındaki k değeri 32 olarak ele alınmıştır.

Kesik-TDA yönteminde görüntü matrisinin boyutunun indirgeneceği k değerinin belirlenmesi için ölçekleme değeri 0.014 olarak alınmış ve k değerine göre performans sonuçları incelenmiştir. PSNR ve SSIM değerleri k değerine göre çok değişmese de dayanıklılık yani NC değerine göre k değerinin belirlenmesi mümkün olmaktadır. Buna göre Şekil 6'de k değerinin 8 olduğu durumda en iyi performans değerlerinin elde edildiği gözlenmiştir.



Şekil 6. k değerine göre NC, PSNR VE SSIM metriklerinin değişimi

Çizelge 1. Çeşitli ataklara göre damgalamanın dayanıklılığına dair sonuçlar (Kapak Görüntüsü H1, Damga=D).

Saldırılar	Teknikler	NC		
		D(256X256)	D(128x128)	D(64x64)
Saldırısız	TDA	1.0000	1.0000	1.0000
	Kesik-TDA	1.0000	1.0000	1.0000
GG	TDA	0.9682	0.9553	0.9684
	Kesik-TDA	0.9886	0.9954	0.9915
TBG	TDA	0.9937	0.9910	0.9924
	Kesik-TDA	0.9995	0.9954	0.9968
BG	TDA	0.9925	0.9918	0.9940
	Kesik-TDA	0.9997	0.9988	0.9969
JPEG (QF=50)	TDA	0.9995	0.9977	0.9948
	Kesik-TDA	0.9998	0.9986	0.9965
JPEG2000 (CR=12)	TDA	0.9957	0.9947	0.9976
	Kesik-TDA	0.9996	0.9995	0.9990
GDGF	TDA	0.9339	0.8421	0.7942
	Kesik-TDA	0.9571	0.9199	0.8587
MF	TDA	0.9707	0.9194	0.8969
	Kesik-TDA	0.9939	0.9776	0.9467
AF	TDA	0.9330	0.8405	0.7923
	Kesik-TDA	0.9564	0.9175	0.8567
GÖ	TDA	0.9028	0.7748	0.7206
	Kesik-TDA	0.9275	0.8717	0.8132
GK	TDA	0.8493	0.7824	0.6770
	Kesik-TDA	0.8504	0.7939	0.7171
HE	TDA	0.9603	0.9623	0.9642
	Kesik-TDA	0.9585	0.9591	0.9550

Önerilen Kesik-TDA tabanlı damgalama tekniğinin dayanıklılığına dair bulgular Çizelge 1'de listelenmektedir. Burada 256x256, 128x128 ve 64x64 olarak 3 farklı boyuttaki damgaların 512x512 boyutundaki kapak görüntüsüne damgalanması ve geri çıkarılması sonrasındaki dayanıklılığı incelenmiştir. Buna göre önerilen yöntemin

neredeyse saldırıların tamamına yakınında daha dayanıklı olduğu gözlenmiştir.

Önerilen damgalama tekniği ile damgalanan görüntüdeki damganın algılanamazlığına dair inceleme sonuçları Çizelge 2'de sunulmaktadır. Lena (H1) ve Man (H2) isimli standart görüntü işleme görüntülerinin damgalama sonrasındaki PSNR ve SSIM metriklerine ait sonuçlar listelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre önerilen yöntemin algılanamazlığının klasik TDA tabanlı yöntemle göre daha iyi olduğu gözlenmiştir.

Çizelge 2. Önerilen yöntemde damganın algılanamazlığına dair sonuçlar

H	D	Teknikler	PSNR	SSIM
H1	D(256X256)	TDA	41.7030	0.9995
		Kesik-TDA	41.7236	0.9997
	D(128x128)	TDA	46.7489	0.9998
		Kesik-TDA	47.6609	0.9999
D(64x64)	TDA	51.9138	0.9999	
	Kesik-TDA	52.7548	0.9999	
H2	D(256X256)	TDA	41.7178	0.9996
		Kesik-TDA	41.7802	0.9996
	D(128x128)	TDA	47.8049	0.9998
		Kesik-TDA	48.3665	0.9998
	D(64x64)	TDA	51.6808	0.9999
		Kesik-TDA	52.0426	0.9999

5. Sonuçlar

Bu çalışmada literatürde sıklıkla karşılaşılan TDA ve ADD temelli algoritmalara alternatif olarak boyut indirgeme tabanlı bir damgalama şeması önerilmiştir. Tekil değer ayrışımı sonrası yapılan boyut indirgeme sayesinde damgaya ait daha az veri kapak görüntüsüne gizlenmiştir. Böylece kapak görüntüsü üzerindeki algılanamazlıkta artış elde edilmiştir. Bunun yanı sıra boyut indirgeme yaklaşımının kazandırdığı en önemli avantajlardan birisi de sinyal üzerindeki gürültülerin etkisini azaltmasıdır. Böylece daha olası sinyal işleme ve görüntü işleme saldırılarına karşı daha dayanıklı şema elde edilmiştir. Bu çalışmanın gelecekteki farklı matris ayrışımı ve sinyal dönüşümlerinin kombine bir şekilde kullanıldığı birçok damgalama çalışmalarında araştırmacılara yön vermesi beklenmektedir.

5. Kaynaklar

- Alshoura W. H., Zainol Z., The, J. S, Alawida M., and Alabdulatif, A., 2021. Hybrid SVD-Based Image Watermarking Schemes: A Review. *IEEE Access*, **9**, 32931-32968.
- Ansari, I. A., Pant, M., and Ahn, C. W., 2016. Robust and false positive free watermarking in IWT domain using SVD and ABC. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, **49**, 114-125.
- Byun, S. C., Lee, S. K., Tewfik, A. H., and Ahn, B. H., 2003. A SVD-Based Fragile Watermarking Scheme for Image Authentication. *IWDW 2002. Lecture Notes in Computer Science*, **2613**, 170-178.
- Chai, D., Wang, L., Chen, K., & Yang, Q., 2020. Secure federated matrix factorization. *IEEE Intelligent Systems*, **36(5)**, 11-20.
- Chen, J., and Saad, Y., 2008. Lanczos vectors versus singular vectors for effective dimension reduction. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, **21(8)**, 1091-1103.
- Ernawan, F., and Kabir, M. N., 2019. An improved watermarking technique for copyright protection based on tchebichef moments. *IEEE Access*, **7**, 151985-152003.
- Evsutin, O., and Dzhanashia, K., 2022. Watermarking schemes for digital images: Robustness overview. *Signal Processing: Image Communication*, **100**, 116523.
- Evsutin, O., Melman, A., and Meshcheryakov, R. 2020. Digital steganography and watermarking for digital images: A review of current research directions. *IEEE Access*, **8**, 166589-166611.
- Fierro, R. D., and Hansen, P. C., 1997. Low-rank revealing UTV decompositions. *Numerical Algorithms*, **15(1)**, 37-55.
- Ganic, E., and Eskicioglu, A. M., 2004. Robust DWT-SVD domain image watermarking: embedding data in all frequencies. *In Proceedings of the 2004 Workshop on Multimedia and Security*, 166-174.
- Hernández-Lobato, J. M., Houlsby, N., and Ghahramani, Z., 2014. Probabilistic matrix factorization with non-random missing data. *In International Conference on Machine Learning*, 1512-1520.
- Horasan, F., 2022. A novel image watermarking scheme using ULV decomposition. *Optik*, **259**, 168958.
- Jessup, E. R., and Martin, J. H., 2001. Taking a new look at the latent semantic analysis approach to information retrieval. *Computational information retrieval*, 121-144.
- Kadian, P; Arora, S. M. and Arora, N., 2021. Robust digital watermarking techniques for copyright protection of digital data: A survey. *Wireless Personal Communications*, **118(4)**, 3225-3249.
- Kumar, S., Gupta, A., and Walia, G. S., 2021. Reversible data hiding: A contemporary survey of state-of-the-art, opportunities and challenges. *Applied Intelligence*, **52**, 7373-7406.
- Kumar, S., Singh, B. K., 2021. A Review on Digital Watermarking-Based Image Forensic Technique. *Machine Vision and Augmented Intelligence—Theory and Applications, Lecture Notes in Electrical Engineering*, **796**, 91-100.
- Li, H., Liu, T., Wu, X., and Chen, Q., 2019. Research on bearing fault feature extraction based on singular value decomposition and optimized frequency band entropy. *Mechanical Systems and Signal Processing*, **118**, 477-502.
- Litman, J., 2017. Digital Copyright. Digital Copyright, Maize Books University of Michigan Press
- Liu, J., Huang, J., Luo, Y., Cao, L., Yang, S., Wei, D., and Zhou, R., 2019. An optimized image watermarking method based on HD and SVD in DWT domain. *IEEE Access*, **7**, 80849-80860.
- Liu, R., and Tan, T., 2002. An SVD-based watermarking scheme for protecting rightful ownership. *IEEE Transactions on Multimedia*, **4(1)**, 121-128.
- Liu, W., Yuan, K., and Ye, D., 2008. Reducing microarray data via nonnegative matrix factorization for visualization and clustering analysis. *Journal of biomedical informatics*, **41(4)**, 602-606.
- Luo, Y., Li, L., Liu, J., Tang, S., Cao, L., Zhang, S., Qiu, S., and Cao, Y., 2021. A multi-scale image watermarking based on integer wavelet transform and singular value decomposition. *Expert Systems with Applications*, **168**, 114272.
- Nikulin, V., Huang, T. H., Ng, S. K., Rathnayake, S. I., and McLachlan, G. J., 2011. A very fast algorithm for matrix factorization. *Statistics & probability letters*, **81(7)**, 773-782.
- Postigo, H., 2012. The digital rights movement: The role of technology in subverting digital copyright, MIT Press.

- Rajendran, S., Kulkarni, V., Chaudhari, S., and Gupta, P. K., 2020. An update on medical data steganography and encryption. *In Recent Trends in Image and Signal Processing in Computer Vision*, **1124**,181-199.
- Singh, L., Singh, A. K., and Singh, P. K. 2020. Secure data hiding techniques: a survey. *Multimedia Tools and Applications*, **79(23)**, 15901-15921.
- Vaidya P., and Pvssr C.M., 2017. A robust semi-blind watermarking for color images based on multiple decompositions. *Multimedia Tools and Applications*, **76(24)**, 25623-25656.
- Wang, F. H., Pan, J. S., and Jain, L. C., 2009. Digital watermarking techniques. *In Innovations in Digital Watermarking Techniques*,**232**,11-26.
- Xiang, Y., Huang, J., Pérez-González, F., Hua, G., and Malik, H., 2016. IEEE access special section editorial: latest advances and emerging applications of data hiding. *IEEE Access*, **4**, 9740-9742.
- Zainol, Z., Teh, J. S., and Alawida, M., 2020. A new chaotic image watermarking scheme based on SVD and IWT,*IEEE Access*,**8**, 43391-43406.
- Zhou, G., Cichocki, A., and Xie, S., 2012. Fast nonnegative matrix/tensor factorization based on low-rank approximation. *IEEE Transactions on Signal Processing*, **60(6)**, 2928-2940.

Gerçek Zamanlı İnsan Davranışı Anlamaya Doğru: Optimal-Altı Bir Şekil Tanımlayıcı

Güray SONUGÜR^{1*}, Elif Ebru ÇAKI², Simge Ayşe AKAN³, Celal Onur GÖKÇE⁴

¹Afyon Kocatepe Üniversitesi ANS Kampüsü Mekatronik Mühendisliği Bölümü

²Afyon Kocatepe Üniversitesi ANS Kampüsü Fen Bilimleri Enstitüsü Mekatronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı

³Mustafapaşa Mah. İbrahim Ağa Cd., No:9 K:3 Gebze/KOCAELİ

⁴Afyon Kocatepe Üniversitesi ANS Kampüsü Yazılım Mühendisliği Bölümü

Sorumlu yazar, e-posta: gsonugur@aku.edu.tr

elif_ebru1999@hotmail.com

simgeakan1@gmail.com

cogokce@aku.edu.tr

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-1521-7010>

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-2225-5675>

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-9319-1330>

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-3120-7808>

Geliş Tarihi: 07.04.2022

Kabul Tarihi: 07.08.2022

Öz

Anahtar kelimeler

İnsan davranışı
anlama;
Görüntü işleme;
Optimal-altı yöntem;
Weizmann

Bu çalışmada insan davranışı anlama (İDA) probleminin çözümünde kullanılmak üzere özgün optimal ve optimal-altı şekil tanımlayıcıları önerilmiştir. Bu şekilde en az veri kullanımıyla en fazla davranış bilgisini sınıflandırabilmek amaçlanmıştır. Optimal şekil tanımlayıcısı başarısı yüksek olmakla beraber algoritmik karmaşıklığı yüksek olduğu için oldukça yavaş çalışmaktadır. Bu sorunu gidermek için daha hızlı çalışan bir optimal-altı tanımlayıcı önerilmiştir. Optimal-altı tanımlayıcının başarısı optimal tanımlayıcıya çok yakın olmakla beraber çok daha düşük algoritmik karmaşıklığa sahip olup çok daha hızlıdır. Sonuçlar Weizmann veri setinde denenmiş ve şekiller ve video bağlantıları ile gösterilmiştir. Veri setinden elde edilen siluet görüntü akışlarından 12 adet istatistiksel öznitelik çıkarılıp sınıflandırmada kullanılmıştır. Sınıflandırmada kullanılan Öklid uzaklığı yöntemi sayesinde oldukça hızlı sonuçlar üretilerek %92 doğruluk oranına ulaşılmıştır.

Towards Real-Time Human Behavior Understanding: A Suboptimal Shape Descriptor

Keywords

Human behavior
understanding;
Image processing;
Suboptima method;
Weizmann

Abstract

In this study, two novel shape descriptors are proposed to be used in human behavior understanding problem. First is optimal shape descriptor, which has high performance but works very slow due to high algorithmic complexity. Second is suboptimal shape descriptor, performance of which is very close to optimal one, but works much more faster. Optimal means using minimum data to represent maximum knowledge. Algorithms are run on Weizmann dataset and results are shown both as figure and video link. Classification was performed using 12 statistical features extracted from the data sets' human silhouettes. An accuracy rating of 92 percent was obtained by using Euclidean distance in classification.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

Günümüzde bilgisayarlı görme çalışmalarının en önemlilerinden biri de insan davranışlarını anlamadır. Çok farklı kullanım alanları bulunan bu konuda çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Örneğin, spor müsabakalarının hareketli görüntülerinden sporcuların yaptığı eylemlerinin neler olduğunun tanınması, bale koreograflerinin algılanması, yaşlı bakımında düşme tespiti, dudak okuma, jest ve

mimikleri anlama gibi konular bu tip çalışmaların uygulama alanını oluşturmaktadır.

Gözlem videolarından insan davranışı tanıma işlevi, görüntü işleme ve bilgisayarla görmenin aktif kullanıldığı bir alandır. Otogar, tren garı, hava alanı, alışveriş merkezi, halka açık merkezler, meydanlar, konser alanları, bankalar, alışveriş merkezleri, hükümet binaları, askeri alanlar gibi alanlarda; bagaj bırakma, kavgalar, saldırılar, silah varlığı gibi şüpheli

durumları gözlemek ve önlemek amaçlı insan davranışları algılama faaliyetleri gerçekleştirilmektedir. Bu tip faaliyetleri belirleyebilmek için video karelerinin analiz edilmesi gerekir. Bunun yanında koşmak, yürümek, el sallamak gibi davranışlar ise olağan davranışlar olarak sınıflandırılır. İnsan davranışı anlama çalışmalarında görüntü ve sinyal işleme, öznitelik çıkarma, makine öğrenimi, 2-3 boyutlu geometri gibi pek çok disiplin bir arada kullanılmaktadır. İnsanları algılama ve otomatik tespit etme, davranış ve hareketlerini anlama yeteneği için öğrenme bazlı yöntemlere sıklıkla başvurulmaktadır.

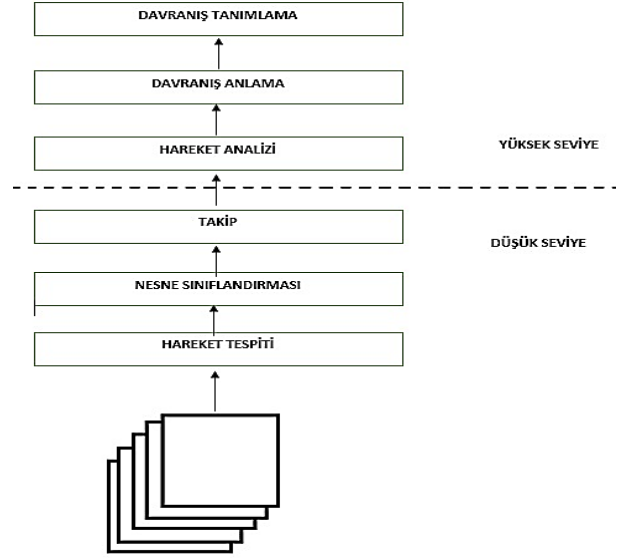
Bu çalışmada hareketli görüntülerdeki insan eylemlerinin algılanması ana hedeftir. Bu hedef doğrultusunda uygulama alanı olarak Weizmann veri setinde bulunan insan eylemlerinin analizi seçilmiştir. Veri kümesinde bulunan 10 farklı eylem ve 9 farklı şahsın hareketlerini inceleyerek medyan arka plan çıkarma (Median Background Subtracting) ve Canny kenar bulma yöntemleri kullanılarak insan silüetleri yüksek başarı oranı ile elde edilmiştir. İnsan davranışlarının en az miktarda veri kullanılarak temsil edilebilmesi için optimal ve optimal-altı yöntemler geliştirilerek davranışlar nokta bulutu kümeleri ile gösterilmiş ve klasik vektörel uzaklık yöntemi ile davranış sınıflandırması gerçekleştirilmiştir.

İkinci bölümde çalışmada kullanılan yöntemler detaylı bir şekilde anlatılmış, üçüncü bölümde hareket bilgilerini kullanarak eylem tanıyan sistemin detayları ve deneysel sonuçları verilmiştir. Beşinci bölümde elde edilen sonuçların diğer çalışma sonuçları ile karşılaştırılmasına ve elde edilen sonuçların değerlendirilmesine yer verilmiştir. Son olarak altıncı bölümde elde edilen sonuçlara yer verilmiş olup çalışmanın devamı ele alınmıştır.

İnsan davranışı anlama ile ilgili literatürde yapılan çalışmalar video gözetim süreçlerinin bir parçası olarak tanımlanmaktadır. Bu konuda pek çok başlık altında çalışmalar yapılmıştır. Bunlardan başlıklar: İnsan etkinliği tespiti ve etiketlenmesi (Dhulekar, Chitte ve Pardeshi, 2017), Anormal insan davranışı tanıma (Oluwatoyin and Kejun 2012), Mimik/jest tanıma sistemleri (Siddharth and Anupam 2015),

Kalabalık içinde hareket tanıma (de Campos 2014) olarak gösterilebilir.

Antonakaki (2011) tarafından video gözetim süreçleri Şekil-1'de gösterildiği gibi düşük seviye ve yüksek seviye olarak iki sınıfta tanımlanmıştır.



Şekil 1. Video gözetim süreçleri (Antonakaki et al. 2011)

İnsan davranışlarının anlaşılması, basitçe, zamanla değişen öznitelik verilerinin sınıflandırılması, yani bilinmeyen bir test dizisinin tipik davranışları temsil eden bir grup etiketli referans dizisiyle eşleştirilmesi olarak düşünülebilir. İnsan davranışı anlama süreçleri (insan etkinliği tanıma ve etkinlik örüntülerinin bulunması), bilgisayarlı görme ve makine öğrenimi disiplinlerini bir arada kullanmayı gerektirmektedir (Popoola ve Wang, 2012). Bu nedenle, bir derin öğrenme süreci ve öğrenmenin iyileştirilmesi için doğru ve etkili özniteliklere ihtiyaç duyar. İnsan davranışlarını görüntü dizilerinden anlamadaki temel zorluklar: (a) eğitim için toplanan örnek görüntülerden referans davranış dizilerini öğrenmek, (b) her bir hareket modelindeki öznitelik verilerinin küçük varyasyonlarını da anlayabilmek için hem eğitim hem de eşleştirme yöntemleri geliştirmek, (c) görüntü arka planındaki ve nesne görünümündeki değişikliklerden etkilenmeyecek öznitelikleri bulmaktır (Wang ve Maybank, 2004; Mabrouk ve Zagrouba, 2018). Literatürde davranış anlama süreçlerinde pek çok öznitelik kullanılmıştır. Örnek olarak; optik akış temelli öznitelikler (Tao et

al. 2017), Uzak-zaman temelli hacimsel, küboid ve blob öznelikleri (Yogameena and Priya 2015), HOG ve silüet gibi şekilsel öznelimler (Aslan vd. 2015) ve MoSIFT (Xu et al. 2014) gibi ölçekten bağımsız öznelimler örnek olarak verilebilir.

İnsan davranışı anlama süreçleri belirli bir zaman aralığındaki etkinliklerin tanınmasını gerektirir ve genellikle güvenlik amaçlı olarak anormal davranışların tespit edilmesine dayanır. Anormal davranışları tespit etmek için araştırmacılar tarafından genel olarak üç modelde çalışmalar yapılmıştır. İlk yöntemde yarı-eğitici bir model kullanılmaktadır. Bu yöntemde öğrenme sistemleri öncelikle normal davranışlar için eğitilmekte ve normal davranışların dışında kalan etkinlikler anormal olarak tespit edilmektedir (Chianese et al. 2008). İkinci modelde eğitici öğrenme sistemi kullanılmaktadır. Bu yöntemde öğrenme sistemi hem normal hem de anormal davranışlar için etiketli veriler ile kural tabanlı olarak eğitilmektedir (Park et al. 2010). Üçüncü model olan eğitici öğrenme modelinde normal ve anormal davranışlar etiketsiz veriler üzerinden öğrenilmektedir (Weiya et al. 2015).

Eğitim modelleri ile birlikte sınıflandırma yöntemleri de sonuçlar üzerinde etkilidir. En çok kullanılan yöntemlerin başında Gauss Karışımı ve derin öğrenme destekli Gauss Karışımı temelli yöntemler gelmektedir. (Zhao and Li 2014, Feng et al. 2017), Kullanılan diğer yöntemler arasında; eğitici öğrenme modellerinden bulanık mantık temelli (Acampora et al. 2015) ve Öz Örgütlenmeli Sinir Ağları (Johnson and Hogg 1996), Evrimsel Sinir Ağı (ESA) modelleri (Shifu et al. 2016), Yapay Sinir Ağları modelleri (Gökçe and Sonugür 2022), Zaman Gecikmeli Sinir Ağları (Yang and Ahuja 1998) ve Gizli Markov Model tabanlı yöntemler (Acharya and Gantayat 2015) sayılabilir.

İnsan hareketini algılama konusunda, Akdağ (2015) 2 boyutlu hareket algılama tekniğini kullanmıştır. 3-B derinlik haritası veri dizileri için silüet akı olarak adlandırdığımız yeni bir insan davranışı tanıma yöntemini önermektedir. Gökçe (2016), insan davranışı anlama çalışmalarına hiyerarşik bir yapı önermiştir. Futbol video oyunu (FVO) veri seti isimli yeni bir veri seti üretip, diğerlerinden farklı olarak daha karmaşık davranışları içermektedir. Futbol

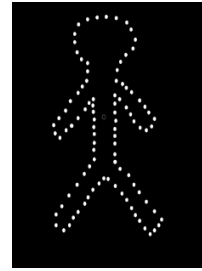
topu bayır inişi (gradient descent) metoduyla eğitilmiş ve sorgularla öğrenme tekniğiyle geliştirilmiş çok katmanlı yapay sinir ağı ile tespit edilmektedir. Topun etrafındaki ilgili alan bu yöntemle çıkarıldıktan sonra atomik aksiyon iki yöntemden birisiyle tanınmaktadır.

Bu çalışmada kullanılan optimal ve optimal-altı yöntem, şekillerin tanımlanmasında farklı bir algoritma sunmaktadır. Kenar çıktılarından elde edilen veriler üzerinden hesaplamalar ile belirlenen noktalar şekil tanımlamasında kullanılmaktadır. Bu yaklaşım ile hızlı ve etkin sonuç çıktılarını ulaşım hedeflenmektedir.

2. Materyal ve Metot

2.1 Uyarlanan Yöntemler

Önerilen yöntemlerde öncelikle video karelerinin arka planları ile ön planları ayrılmaktadır. Ön planların her biri ayrı ayrı eşikleme işlemine tabii tutulmaktadır. Elde edilen görüntülerin Canny kenar tespit algoritması ile kenar görüntüleri oluşturulmaktadır. Kenarların baz alınması ile nesne silüetlerinin kenarları 100 adet eşit aralıklı nokta koordinatları ile temsil edilecektir. Oluşturulan her bir nokta için x ve y koordinatları belirlenmektedir. Silüetler üzerindeki nokta dağılımları Şekil 2'de verilmiştir.

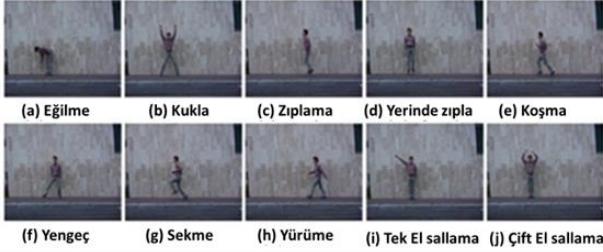


Şekil 2. Eşit Aralıklı Kenar Çıktı Görseli

2.1.1 Weizmann Veri Kümesi

Weizmann Veri Seti literatürde sıkça kullanılan bir veri setidir. Hareketli görüntülerde insan eylemlerinin tanınması alanında, önerilen farklı algoritmaların karşılaştırılmasında kullanılan Weizmann veri kümesinde 90 tane 180x144 çözünürlükte hareketli görüntü bulunmaktadır. Bu hareketli görüntülerde dokuz farklı şahıs (Daria, Denis, Eli, Moshe, Odo, Irai Lena, Lyova ve Shahar), on farklı eylemi gerçekleştirmektedir. 10 farklı eylem: koşma, yürüme, tek ayak sekerek ilerleme,

eğilme, tek elini sallama, iki elini sallama, bir uçtan bir uca yengeç yürüyüşü, zıplayarak ilerlemek, yerinde sabit kalarak zıplamak, kolları ve bacaklarını açıp kapayarak yerinde zıplama şeklinde sıralanmıştır. Arka plan sabit olduğu için başlangıç çalışmalarına uygundur. Şekil 3'de bu veri kümesinden alınan birkaç örnek görüntü verilmiştir.



Şekil 3. Weizmann Veri Kümesinden Alınan Örnek Çerçeveler

2.1.2 Arka Plan Çıkarma

Arka plan çıkarma, görüntüdeki arka planı ortadan kaldırmanın bir yoludur. Birçok görüntü tabanlı uygulamada kullanılan ön işleme adıdır. Bu işlem için çeşitli yöntemlerle bir arka plan modeli hazırlanmakta ve ardışık olarak video karelerinden çıkarılmaktadır.

Arka Plan Çıkarmasının günlük hayatta çeşitli kullanım durumları vardır. Örnek olarak, trafik kameralarının araçlar hakkında bilgi toplaması veya girilmesi yasak alanlara girenleri tespit etmesi verilebilir. Arka plan hareketsiz ise işlemler kısmen kolaylaşmaktadır. Ancak çoğu durumda arka planda bir kısım hareketler oluşmaktadır ve bu nedenle elimizdeki görüntüler ile bir arka plan modeli oluşturmamız gerekmektedir. Gölge, ışık ve titreşim gibi çevresel faktörler olduğunda bu durum daha karmaşık hale gelmektedir.

Arka plan çıkarma işlemi için çoğunlukla Gauss Karışım tabanlı (Zhao and Su 2017) ve Çerçeve Çıkarımı tabanlı (Akilan *et al.* 2018) yöntemler kullanılmaktadır. Bu çalışmada Medyan arka plan çıkarımı (Sakpal and Sabnis 2018) yaklaşımı kullanılmıştır.

2.1.3 Canny Kenar Tespit Edici

Canny kenar algılama (Canny 1986), görüntülerdeki çok çeşitli kenarları algılamak için kullanılan çok adımlı bir algoritmadır. Gradyanların yoğunluğunu hesaplamak için Gauss'un türevini temel alan bir filtre kullanır. Gauss filtresi, görüntü gürültüsünün etkisini azaltır. Ardından, gradyan büyüklüğünün

maksimum olmayan pikselleri silinerek, olası kenarlar 1 piksellik eğrilere indirgenir. Son olarak, gradyan büyüklüğüne histerezis eşiklemesi uygulayarak, kenar pikselleri korunur veya elenir. Avlash and Kaur (2013)'e göre Canny optimal bir kenar bulucudur yani kenar olabilecek tüm piksel gruplarını işaretler. Yapılan çalışmada çok sayıda kenar noktasına ihtiyaç duyulduğu için Canny yöntemi seçilmiştir. Ayrıca literatürdeki kenar bulucuların karşılaştırıldığı çalışmalar incelendiğinde en yüksek doğrulukta sonuçlara Canny yöntemi ile ulaşıldığı gözlenmiştir (Jain *et al.* 2014, Acharya *et al.* 2012).

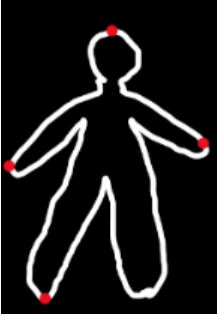
2.1.4 Eşikleme

Seçilen eşik değerlere göre piksel değerlerinin değiştirilmesi için kullanılan bir tekniktir. Bu teknikte her piksel değeri eşik değeri ile karşılaştırılmaktadır. Piksel değeri eşikten küçükse 0, aksi takdirde maksimum değere (genel olarak 255) ayarlanmaktadır. Eşikleme, ön plan olarak kabul edilen bir nesneyi arka planından ayırmak için kullanılan çok popüler bir bölütleme tekniğidir. Eşik değerinin adaptif olarak seçilmesi görüntüdeki gürültülerin azaltılması açısından gerekli bir yaklaşımdır. Bu çalışmada her görüntü çerçevesinde ışık oranları farklı olduğu için ayrı ayrı eşik değerler Otsu yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Bu şekilde video sinyali içinde bir uyarlanma sağlanmıştır.

2.2 Önerilen Özgün Algoritmalar

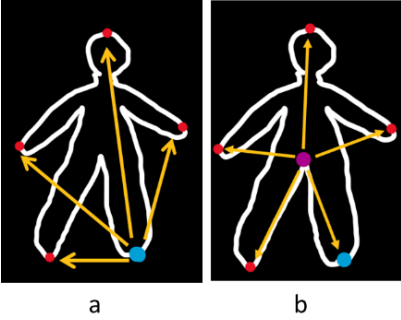
2.2.1 Optimal Algoritma

Çalışmamızda öncelikle tarafımızca geliştirilen Optimal algoritma uygulanmıştır. Optimal algortmada Canny yöntemi ile elde edilen nesne silüetlerinin 100 adet sınır koordinatı kullanılmaktadır. Bu koordinatlarının (x,y) eksenlerindeki en düşük ve en yüksek değerlerini kullanarak doğu, batı, kuzey ve güney olmak üzere 4 adet nokta belirlenmiştir. Geriye kalan sınır koordinatları içerisinden belirlenen 4 noktaya en uzak olan 20 sınır noktası hesaplanarak insan davranışını temsil edecek olan öznitelik vektörü oluşturulmaktadır. Söz konusu dört noktanın şekilsel gösterimi Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 4. Optimal-altı algoritmada seçilen sınır koordinatlarının temsili gösterimi

Örnek olarak 5. nokta koordinatları hesaplanırken başta belirlenen 4 sabit koordinata en uzak olan koordinat belirlenmiştir. Sonrasında 6. koordinat ilk beş koordinata en uzak olan koordinat olarak belirlenmiştir. Sınır koordinatlarının yerlerinin seçilmesi Şekil 5’de gösterilmiştir.



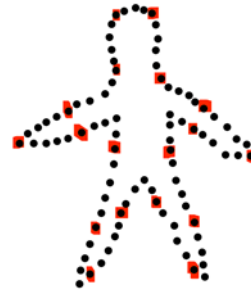
Şekil 5. Beşinci (a) ve Altıncı (b) Koordinatların Temsili Gösterimi

Bu işlem parametrik olarak belirlenen toplam sınır noktası sayısına ulaşıncaya kadar devam etmektedir. Tüm uzaklık hesaplamalarında Öklid uzaklığı kullanılmıştır. Optimal algoritmanın hesapsal yükünün oldukça yüksek miktarda bilgisayar kaynağı ve zaman gerektirmesi nedeniyle davranışı belirleyen özneliklerin oluşturulması oldukça uzun sürmektedir. Bu nedenle Optimal-altı algoritma geliştirilmiştir.

2.2.2 Optimal-altı Algoritma

Optimal-altı algoritmada Canny yöntemi ile elde edilen 100 adet nesne sınır koordinatı önce x koordinatına göre sıralanmaktadır. Ardından nesne silüetinin temsilinde kullanılacak nokta sayısı kadar (x,y) koordinatı eşit aralıklı olacak şekilde seçilmektedir. Örneğin, bir nesne silüeti 20 nokta ile temsil edilecekse her beş koordinattan birisi, 5

nokta ile temsil edilecek ise her 20 koordinattan birisi seçilmektedir. Aynı işlem adımları y koordinatları için yapılarak bulunan tüm koordinatlar kaydedilir. Toplamda elde edilen tüm koordinatlar için Optimal algoritma prensipleri uygulanır. Optimal-altı algoritma, toplam sınır koordinatı sayısından çok daha az koordinat sayısında uygulandığı için daha hızlı çalışmakta ve Optimal algoritmaya oldukça yakın doğrulukta sonuçlar vermektedir. Optimal-altı algoritmada eşit aralıklarla gerçekleştirilen koordinat seçimleri Şekil 6’da gösterilmiştir.



Şekil 6. Optimal-Altı Algoritmada Seçilen Sınır Koordinatlarının Temsili Gösterimi

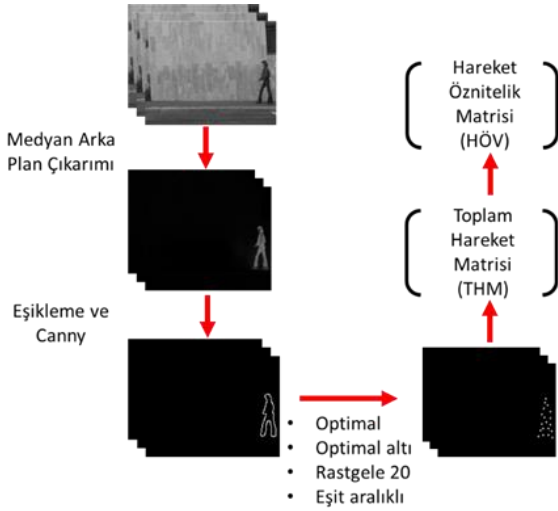
3. Bulgular

Geliştirilen yöntemlerdeki amaç; en küçük boyutlu öznelik vektörü kullanılarak insan davranışlarını en yüksek oranda temsil edebilmektir.

Yapılan deneysel çalışmalarda Weizmann veri setinde bulunan ve her biri dokuz farklı kişi tarafından gerçekleştirilen yürüme (walk), koşma (run), zıplayarak ilerleme (jump), yanal yürüme (side walk) ve el sallama (wave) hareketi videoları kullanılmıştır. Her bir videonun süresi farklı olduğu için toplam çerçeve sayısı da farklıdır.

Önerilen Optimal ve optimal-altı yöntemde videolardaki insan silüetleri 20’şer sınır noktası ile temsil edilmiştir. Bu temsildeki başarıyı karşılaştırmak üzere rastgele 20 ve eşit aralıklı 20 sınır noktası ile temsil edilen silüetler kullanılmıştır. Öncelikle başarılı temsil ölçütleri oluşturulmuştur. Bunun için seçilen silüet sınır noktaları hareketin toplam süresi boyunca çerçeve çerçeve kaydedilmiş ve bir toplam hareket matrisi (THM) oluşturulmuştur. Her bir hareket videosu için bu matris farklı boyutlarda oluşacağı için bire bir karşılaştırma yapılamayacaktır. Bu durumu

düzeltebilmek amacıyla her THM normalize edilmiş ve istatistiksel öznitelikleri çıkarılmıştır. Bu öznitelikler: Aritmetik ortalama, Geometrik ortalama, Standart sapma, Medyan, Değişim katsayısı, Değişim aralığı, Çarpıklık, Basıklık, Pearson çarpıklık katsayısı, Bowley çarpıklık katsayısı, 3.moment ve 4.moment olarak seçilmiştir. Bu şekilde her bir hareketin tamamını temsil eden ve silueti temsil eden nokta sayısından bağımsız [1x12] boyutlarında bir hareket öznitelik vektörü (HÖV) oluşturulmuştur. Gerçekleştirilen işlem adımları Şekil 7’de gösterilmiştir.



Şekil 7. Uygulamada Gerçekleştirilen İşlem Adımları

Böylece tüm hareketlerin karşılaştırılabileceği bir eşit boyutta bir ölçüt meydana getirilmiştir. Öncelikle her bir hareket videosu için kesin referans (ground truth) bir HÖV oluşturulmuştur. Burada hareket eden insan silüetleri 100’er adet sınır noktası kullanılarak THM oluşturulmuş ve bu matristen de HÖV çıkarılmıştır. Yapılan işlemin doğru olarak kabul edilebilmesi için birden fazla kişi tarafından gerçekleştirilen örneğin koşma hareketlerine ait HÖV’ler arası Öklid uzaklığı düşük iken farklı hareketler için (koşma ve yürüme) çıkarılan HÖV’ler arası Öklid uzaklığının daha fazla olması gerekir. Bu durumu ortaya koyan deneysel veriler Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Kesin Referans HÖV Değerleri Arasındaki Öklid Uzaklıkları

	Daria Walk	Daria Run	Denis Walk	Denis Run
Daria Walk	0	40.3	19	44.1
Daria Run	40.3	0	40.9	18.2

Denis Walk	19	40.9	0	39.8
Denis Run	44.1	18.2	39.8	0

Çizelge 1’den anlaşılacağı üzere aynı tip hareketler arası uzaklıklar, farklı tipteki hareketler arasındaki uzaklıklardan çok daha düşük kalmaktadır. Bu nedenle HÖV’ler arası Öklid uzaklıklarının geçerli bir ölçüt olarak kabul edilmiştir.

Optimal ve optimal-altı yöntemlerin gerçek insan hareketlerini hangi doğrulukta temsil edebildiklerini görebilmek için bir karşılaştırma deneyi gerçekleştirilmiştir. Bu deneyde herhangi bir hareket videosunun kesin referans HÖV’ü ile optimal yöntem, optimal-altı yöntem, rastgele 20 sınır noktası ve eşit aralıklı 20 sınır noktası ile temsil edilen hareketlerin HÖV’leri arasındaki Öklid uzaklıkları hesaplanmıştır. Kesin referansa vektörel olarak en yakın olan hareket, en doğru temsil edilmiş hareket olarak kabul edilecektir. Yapılan deneylerin sonuçları Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. Kesin Referans HÖV’leri ile Hesaplanan HÖV’ler Arasındaki Öklid Uzaklıkları

Kesin Referans Seçilen Hareketler	Optimal	Optimal-altı	Rastgele 20	Eşit Aralıklı 20
Daria Walk	23.3	27.1	42.1	29.8
Denis Run	24.1	25.6	44.8	25.5
Moshe Jump	21.8	26.6	45	31.6
Eli Wave	20.9	24.8	45.2	30.1
Lena Side	22.7	23.1	52	30.1
Daria Run	27.1	30.8	44.1	33
Denis Jump	21	27.2	44.2	32.2
Moshe Wave	20.1	25.1	39.7	29.3
Eli Side	23.3	31.1	43.3	38.1
Lena Walk	24.2	32.6	45.9	40.7

Çizelge 2’den anlaşılacağı üzere kesin referanslara en yakın olan yöntemler optimal ve optimal-altı yöntemlerdir. Rastgele seçilen sınır noktaları oldukça kötü bir performans sergilemiştir. Eşit aralıklı noktalar ise performans olarak optimal-altı yöntemden daha düşük performans göstermiştir. Bu durumda; çalışmada baz alınan hareketlerden birisini sınıflandırabilmek için optimal veya optimal-altı yöntem ile oluşturulan HÖV ile kesin referans HÖV’leri arasındaki uzaklıkları hesaplayıp en düşük değeri seçmek yeterli olacaktır. Yukarıda deneyleri gerçekleştirilen ölçüt haricinde işlem süreleri de önemli bir ölçüttür. İşlem süreleri ölçülürken

hareketin başlangıcından sınıflandırılmasına kadar geçen süre sn olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 3’de verilmiştir.

Çizelge 3. Seçilen Bazı Hareket Tipleri için Gerçekleşen İşlem Süreleri (sn)

Kesin Referans Seçilen Hareketler	Optimal	Optimal-altı	Rastgele 20	Eşit Aralıklı
Daria Walk	5.2	3.9	3.5	3.8
Denis Run	4.5	2.5	2	2.2
Moshe Jump	3.4	2.5	1.9	2.4
Eli Wave	9.1	7.9	5.8	6.9
Lena Side	4.3	3.3	2.6	3
Daria Run	3.3	2.4	1.9	2.1
Denis Jump	3.9	2.8	2.1	2.6
Moshe Wave	4.3	3	2.5	2.8
Eli Side	3.8	2.6	1.9	2.2
Lena Walk	4.9	3.7	3	3

En düşük işlem süreleri rastgele 20 yöntemi ile seçilen sınır noktalarında hesaplanmıştır. Ancak Çizelge 2’deki verilere göre en başarısız sınıflandırma performansı yine rastgele 20’dir.

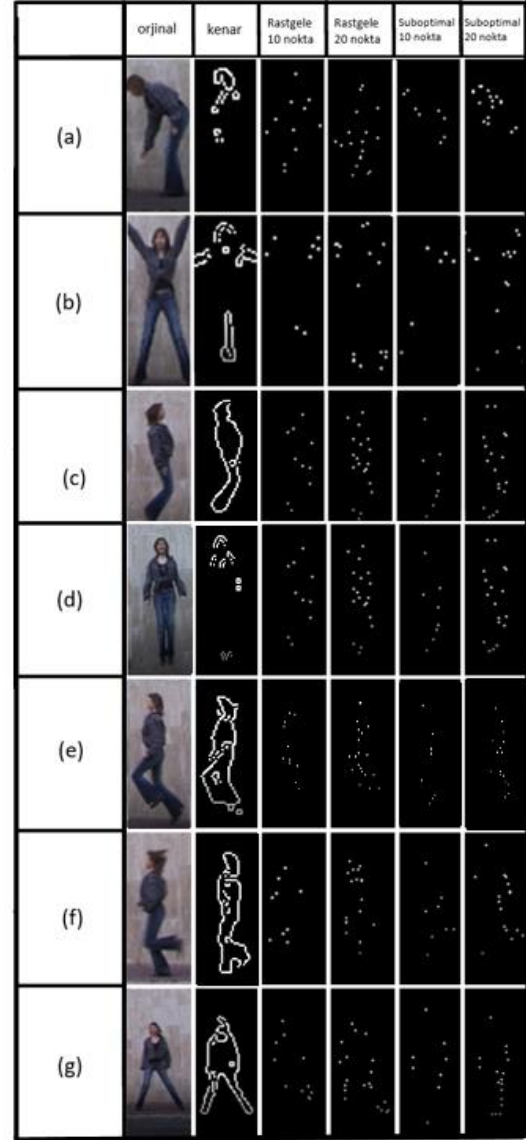
Davranış yani hareket tanımadaki toplam performansı ölçmek amacıyla eşik değer “Öklid uzaklığı=25” seçilerek deneysel çalışmalarda kullanılan tüm videolar test edilmiştir. Bu işlem sonucunda elde edilen doğru sınıflandırma oranları Çizelge 4’de verilmiştir.

Çizelge 4. Doğru Sınıflandırma Oranları (%)

Seçilen Hareketler	Optimal	Optimal-altı
Walk (Yürüme)	92	90
Run (Koşma)	90	90
Jump (Zıplama)	91	89
Wave (El sallama)	89	85
Side (Yanal yürüyüş)	90	90

El sallama hareketinde vücut hareketi yapılmayıp sadece el sallama hareketi yapıldığı için arka plan çıkarımı düşük başarıyla gerçekleştirildiği için doğruluk oranları da düşük çıkmıştır. Optimal yöntemde işlem sürelerinin uzunluğu dikkat çekmektedir. Optimal-altı yöntemde ise işlem süreleri ve sınıflandırma performansı bakımından diğer seçeneklere göre daha iyi bir seçenek olduğu gözlenmiştir. Kullanılan yöntemler neticesinde elde edilen tüm hareketlerden örnek sahneler Şekil 8’de verilmiştir. Ayrıca, temsil videolarının linkleri aşağıda verilmiştir.

- (a) Daria Bend - <https://youtu.be/546D60sjS3Y>,
 (b) Daria Jack - <https://youtu.be/7Dts1UFzt7w>,
 (c) Daria Jump - <https://youtu.be/0apS35dGupl>,
 (d) Daria P-Jump - <https://youtu.be/tevPMZaFc4U>,
 (e) Daria Run - <https://youtu.be/H1osp7ct1Ao>,
 (f) Daria Side - <https://youtu.be/y6AQ0UDNqko>,
 (g) Daria Skip - <https://youtu.be/TPUIXIfBdKg>



Şekil 8. Örnek Hareket Çıktıları

4. Tartışma ve Sonuç

Optimal-altı şekil tanımlayıcı yönteminin videolar üzerinde yapılan işlemler sonucunda performans ve süre ilişkisi açısından en verimli sonucu ürettiği gözlenmiştir. Çalışmadaki amaç; en az nokta ile en başarılı hareket temsili gerçekleştirilmesidir. Optimal yöntem ile en başarılı sınıflandırma

performansı elde edilmiştir. Ancak bu yöntemde noktaların belirlenmesi işlemi oldukça zaman almaktadır. Sınır noktalarının optimal-altı olarak belirlenmesi en ideal ve hızlı çıktıyı oluşturmaktadır.

Çalışmamız kapsamında, günümüzde ileri teknoloji kullanımı ile yasa dışı faaliyet ve olaylar, kaza, kavga, hırsızlık, terör gibi durumlarda algılayabilen sistem tasarımının belirli bir kısmı gerçekleştirilmiştir. Kullanılan veri kümesi Optimal-altı yöntem ile işlenmiştir. Optimal-altı yöntem optimal yöntemle göre daha düşük işlem sürelerinde sonuç ürettiği gözlenmiştir. Doğruluk performans sonuçlarının da yakın değerlerde olması ve hızlı işlemi sonucu nedeniyle tercih edilmiştir.

Çalışma kapsamında uzaysal düzende bulunacak noktalar belirlenmiş, kayıt altına alınmıştır. Klasik bir yaklaşım olan vektörel uzaklıklar kullanılarak insan hareket ve davranışlarını içeren videolar hareket tipilerine göre sınıflandırılmıştır. Yapılan gözlemler sonucunda insan davranışların çok daha düşük boyutlu veri kümeleri kullanılarak tanınabileceği gözlenmiştir. Herhangi bir makine öğrenmesi yöntemi kullanılmadığı için verilerin eğitime ve etiketlenmesine ihtiyaç duyulmamıştır. Projenin bir sonraki aşamasında verilerin Temel Bileşen Analizi (Principal Component Analysis-PCA) kullanılarak boyutunun daha da azaltılması sağlanacaktır. Ayrıca Weizmann veri kümesi harici bir veri kümesinde deneysel çalışmalar gerçekleştirilecektir. Makine öğrenmesi yöntemleri, özellikle Evrimsel Sinir Ağları ve Yapay Sinir Ağları kullanılarak sınıflandırma başarısının yükseltilmesi hedeflenmektedir. YSA ağ yapısının basitliği göz önüne alındığında işlem süresi olarak oldukça düşük sürelerle ulaşılabileceği öngörülmektedir. Çalışmanın anlık kayıt alabilen ve anlık analiz sağlayabilen bir sisteme dönüştürülmesi hedeflenmektedir. Hedefler doğrultusunda projenin başarı ile sonuçlanması sistemin birçok alanda faaliyete geçmesine olanak tanıyacaktır. Sistemin kullanımı ile birçok alanda üst düzey güvenlik sağlanabilecektir.

5. Kaynaklar

Acampora, G., Foggia, P., Saggese, A., Vento, M. 2015. A hierarchical neuro-fuzzy architecture for human behavior analysis, *Information Sciences*, **310**, 130-148.

- Acharya, B. R. ve Gantayat, P. K. 2015. Recognition of human unusual activity in surveillance videos. *International Journal of Research and Scientific Innovation (IJRSI)*, **2(5)**, 18-23.
- Acharjya, P. P., Das, R., & Ghoshal, D. 2012. Study and comparison of different edge detectors for image segmentation. *Global Journal of Computer Science and Technology*.
- Akdağ E. 2015. Human Behavior Understanding Through 3D Data, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, ODTÜ, Ankara, 87.
- Akılan, T., Wu, Q. J., Yang, Y. 2018. Fusion-based foreground enhancement for background subtraction using multivariate multi-model Gaussian distribution. *Information Sciences*, **430**, 414-431.
- Antonakaki, P., Kosmopoulos, D., & Perantonis, S. J. 2011. Detecting abnormal human behaviour using multiple cameras. *Signal Processing*, **89(9)**, 1723-1738.
- Aslan, M., Sengur, A., Xiao, Y., Wang, H., Ince, M.C., Ma, X. 2015. Shape feature encoding via fisher vector for efficient fall detection in depth-videos, *Applied Soft Computing*.
- Avlash, M., & Kaur, L. 2013. Performances analysis of different edge detection methods on road images. *International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication*, **2(6)**, 27-38.
- Blank M., Gorelick L., Shechtman E., Irani M. ve Basri R. 2005. Actions as Space-Time Shapes, The Tenth IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV), Beijing, China, 1395-1402.
- Chianese, A., Moscato, V., ve Picariello, A. 2008. Detecting abnormal activities in video sequences. In Proceedings of the 2008 Ambi-Sys workshop on Ambient media delivery and interactive television, 1-8.
- De Campos, T. 2014. A survey on computer vision tools for action recognition, crowd surveillance and suspect retrieval, XXXIV congresso da sociedade brasileira de computacao (CSBC) 1123-1132.
- Dhulekar, P., Gandhe, S. T., Chitte, H., ve Pardeshi, K. 2017. Human action recognition: An overview. In Proceedings of the international conference on data engineering and communication technology, Springer, Singapore, 481-488.
- Feng, Y., Yuan, Y. ve Lu, X. 2017. Learning deep event models for crowd anomaly detection. *Neurocomputing*, **219**, 548-556.

- Gökçe C.O., 2016. Human Behavior Understanding Using Video Analysis, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, ODTÜ, Ankara, 106.
- Gökçe, B., ve Sonugür, G. 2022. Recognition of dynamic objects from UGVs using Interconnected Neural network-based Computer Vision System. *Automatika*, **63(2)**, 244-258.
- Jain, A., Gupta, M., & Tazi, S. N. 2014. Comparison of edge detectors. In 2014 International Conference on Medical Imaging, m-Health and Emerging Communication Systems (MedCom), 289-294. IEEE.
- Johnson, N., ve Hogg, D. 1996. Learning the distribution of object trajectories for event recognition. *Image and Vision computing*, **14(8)**, 609-615.
- Mabrouk, A. B., ve Zagrouba, E. 2018. Abnormal behavior recognition for intelligent video surveillance systems: A review. *Expert Systems with Applications*, **91**, 480-491.
- Oluwatoyin, P.P. ve Kejun, W. 2012. Video-based abnormal human behavior recognition – a review, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C*, **42 (6)**. 865-878.
- Park, K., Lin, Y., Metsis, V., Le, Z., ve Makedon, F. 2010, June. Abnormal human behavioral pattern detection in assisted living environments. In Proceedings of the 3rd International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments, 1-8.
- Siddharth, R. ve Anupam, A., 2015. Vision based hand gesture recognition for human computer interaction: A survey, *Artificial Intelligence Review*, **43(1)**.
- Sakpal, N. S. ve Sabnis, M., 2018. Adaptive background subtraction in images. In 2018 International Conference on Advances in Communication and Computing Technology (ICACCT), 439-444. IEEE.
- Wang, L. ve Maybank, S., 2004. A survey on visual surveillance of object motion and behaviors. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, **34(3)**, 334-352.
- Weiya, R. L. Guohui, S., Boliang ve Kuihua, H. 2015. Unsupervised kernel learning for abnormal events detection, *The Visual Computer*, **31**, 245-255, 10.1007/s00371-013-0915-0.
- Xu, L., Gong, C., Yang, J., Wu, Q., & Yao, L., 2014. Violent video detection based on MoSIFT feature and sparse coding. In 2014 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), 3538-3542. IEEE.
- Yang, M. H. ve Ahuja, N. 1998. Extraction and classification of visual motion patterns for hand gesture recognition. In *Proceedings. 1998 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (Cat. No. 98CB36231)* 892-897. IEEE.
- Yogameena, B., ve Priya, K. S., 2015. Synoptic video based human crowd behavior analysis for forensic video surveillance. In 2015 Eighth International Conference on Advances in Pattern Recognition (ICAPR), 1-6. IEEE.
- Zhang, T., Jia, W., Yang, B., Yang, J., He, X., ve Zheng, Z. 2017. MoWLD: a robust motion image descriptor for violence detection. *Multimedia Tools and Applications*, **76(1)**, 1419-1438.
- Zhao, F. ve Li, J., 2014. Pedestrian motion tracking and crowd abnormal behavior detection based on intelligent video surveillance. *Journal of Networks*, **9(10)**, 2598.
- Zhao, Y. ve Su, Y. 2017. Vehicles detection in complex urban scenes using Gaussian mixture model with FMCW radar. *IEEE Sensors Journal*, **17(18)**, 5948-5953.
- Zhou, S., Shen, W., Zeng, D., Fang, M., Wei, Y. ve Zhang, Z., 2016. Spatial-temporal convolutional neural networks for anomaly detection and localization in crowded scenes. *Signal Processing: Image Communication*, **47**, 358-368.

Discovering Link Prediction Methods' Performances by Network Topology Relation

Günce Keziban ORMAN^{1,*}

¹Galatasaray University, Faculty of Engineering and Technology, Department of Computer Engineering, İstanbul.

e-posta: : *Corresponding Author: korman@gsu.edu.tr ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-0402-8417>

Geliş Tarihi: 07.06.2022

Kabul Tarihi: 23.08.2022

Abstract

One of the prominent topics in complex network analysis is link prediction, which is a key component of network-based recommendation systems or finding missing connections. There are several different link prediction methods in the literature based on measuring the likelihood of the existence of a link between two nodes. These methods use different topological properties of the network. Although there are methods using different strategies, previous studies have focused only on method success but have not adequately examined the relationship between the performance of these methods and the topology of the network. The main motivation for this study is to reveal the role of different network topologies in link prediction. Thus, the choice of link prediction method can be customized according to the topological characteristics of the network. The two main contributions of the study are, firstly, comparing different link prediction methods with well-known performance measures in social, biological, and information networks with different topological properties in a large experimental setup; and second, examining the possible relationship between the performance of link prediction methods and the network topology. Based on the experimental results, the global methods are more successful than others, regardless of the network topology. In addition, it was concluded that the high eigenvector centralization in the network may affect the missing link prediction performance.

Keywords

Link prediction;
Performance
evaluation; Network
topology; Graph
embedding

Ağ Topolojisi İlişkisi ile Bağlantı Tahmin Yöntemlerinin Performanslarının Keşfi

Öz

Karmaşık ağ analizinde öne çıkan konulardan biri, ağ tabanlı öneri sistemlerinin veya eksik bağlantıların bulunmasının önemli bir bileşeni olan bağlantı tahminidir. Literatürde iki düğüm arasında bağlantı bulunma şansını ölçümlemeye dayanan birçok farklı bağlantı tahmini yöntemi vardır. Bu yöntemler ağın farklı topolojik özelliklerini kullanır. Çok farklı stratejiler kullanan yöntemler bulunmasına rağmen, önceki çalışmalar yalnızca yöntem başarısına odaklanmış ama bu yöntemlerin performansının ağın topolojisi ile ilişkisini yeteri kadar incelememiştir. Bu çalışmanın ana motivasyonu farklı ağ topolojilerininin bağlantı tahminindeki rolünü bir ortaya koymaktır. Böylece ağın topolojik özelliklerine göre bağlantı tahmin yöntemi seçimi özelleştirilebilir. Çalışmanın iki temel katkısı, ilk olarak, büyük bir deney düzeneğinde farklı topolojik özelliklere sahip sosyal, biyolojik ve bilgi ağlarında iyi bilinen performans ölçümleriyle farklı bağlantı tahmin yöntemlerini karşılaştırmak ve ikincisi, bağlantı tahmin yöntemlerinin performansı ile ağ topolojisi arasındaki olası ilişkinin incelenmesi olarak sıralanabilir. Sonuçlara göre, ağ topolojisine bakılmaksızın küresel yöntemlerin diğerlerinden daha başarılı olduğunu gördük. Ayrıca, ağda özvektör merkezleşmesinin yüksek olmasının eksik bağlantı tahmin performansını etkileyebileceği sonucuna ulaşıldı.

Anahtar kelimeler

Bağlantı tahmini;
Performans
değerlendirmesi; Ağ
topolojisi; Graf gömme

1. Introduction

Link prediction is one of the most studied topics in complex network analysis. Finding missing links in a network allows one to solve many problems in various applications. For example, predicted links in a network of item connections can be used for making product recommendations (Kaya 2020, Li *et al.* 2014). Or, on a social network, link prediction allows for the formation of new friendships (Zareie and Sakellariou 2020, Liben-Nowell and Kleinberg 2007). Due to this popularity, numerous studies have been conducted on it.

We can categorize the methods into three parts. First, traditional methods calculate a score for all possible links, i.e. pairs of nodes, that are not seen in the network, based on a strategy (Martínez *et al.* 2016, Lü and Zhou 2011). Afterwards, these scores are ranked from largest to smallest, and the desired number of links is selected in order to be predicted. Methods that find scores, adamic adar, resource allocation, etc., are calculated with mathematical formulas using network topology. The score depends on the likelihood of a studied link. Those methods differ from each other according to the strategies they use. Second, as in the traditional methods, the scores of all missing links are calculated by using different methods. However, this time, instead of making a simple ranking, all of these scores are solved together with a machine-learning model (De Sá and Prudêncio 2011, Malhotra and Goyal 2021). In other words, the link prediction problem is tackled by constructing a machine-learning model of different features of possible links. These methods differ in terms of both the supervised learning technique and the artificial learning algorithms they use. Finally, in recent works, graph embedding techniques are held (Wang *et al.* 2021, Rossi *et al.* 2021). In many studies, researchers develop new metrics or methods according to the needs of their application. Those methods use different topological elements in the network. Nevertheless, the comparison of the performance of link prediction methods has not been extensively studied in the literature. However, real-world networks have different topological

structures. The link prediction method, which gives successful results in some types of networks, may not be successful in other types. Thus, there is a need for an exhaustive study to reveal the possible relation between link prediction methods with network structure.

In this study, we test sixteen well-known link prediction methods on eleven real-world networks having different topologies and evaluate their performances. We separate the link prediction methods into three categories: local, global, and embedding. We did not focus on developing fine-tuned algorithms but rather applied the methods roughly as their traditional ranking strategy. Our main goal is to reveal which type of method can be successful in networks with which topological properties. As a matter of fact, we do not only compare the success of the methods but also focus on finding the possible relationship between these successes and the topological properties of the networks.

Our main contributions are first, comparing different link prediction methods with well-known performance metrics on both social, biological, and information networks having different characteristics in a large experimental setup; and second, examining the possible relationship between the performance of link prediction methods with the network topology. In the following, we first explain the details of link prediction methods, and then we explain the experimental setup and the results in detail. In this part, we also discuss the relationship between network topology and link prediction performance. Finally, we summarize the work by giving some future perspectives.

2. Material and Method

The link prediction experiments in this work are done with traditional semi-supervised learning techniques (Lü and Zhou 2011). First, a training network is assigned by removing an amount of randomly selected links from the original network. Then the link prediction metrics are calculated for all

missing links in the training network, including the removed links and already unseen links from the original network. For each metric, the first links that receive the highest scores are assigned as predicted links. The predicted links are evaluated as true or false predictions by determining whether they are included in the original network. Finally, the performance of the link prediction methods is measured by their precision, or AUC scores (Lü and Zhou 2011). In the next part, we explain the similarity/distance metrics that assess the likelihood of having a link between any pair of nodes u, v . We categorized those metrics according to their essential techniques, which are used for link prediction tasks.

2.1 Link Prediction with Local Information

The common strategy behind the link prediction methods we describe here is triadic closure principle (TCP) (Kovács *et al.* 2019). This principle favors the tendency of having links between two nodes if they have more common connections. TCP looks for completely local information related to the first-level neighborhood of the compared nodes. Let us denote that neighborhood $N(u)$, or (N_u) , of a node u is the set of nodes directly connected to u , $N(u) = \{v \in V | (u, v) \in L\}$ with L is the set of links.

Definition 1. (Newman 2001) Common Neighbors (CN) is the size of the set of common neighbors between any two nodes.

$$s(u, v) = |N_u \cap N_v| \quad (1)$$

More generally, the higher the number of degrees, the more possible to have higher CN for the nodes. Thus, CN has a tendency of being high for any two hub nodes.

Definition 2. (Adamic and Adar 2003) Adamic Adar (AA) counts the total number of neighbors of all common neighbors. However, it depresses the score by logarithmic function for demoting the scores of higher degree nodes. Shortly, it penalizes the scores for hub neighbors.

$$s(u, v) = \sum_{i \in N_u \cap N_v} \frac{1}{\log_2(|N_i|)} \quad (2)$$

Definition 3. (Zhou and Zhang 2009) Resource Allocation (RA) is almost the same with AA. It also counts the total number of neighbors of all common neighbors. However, differently from AA, it considers the degrees not their logarithms.

$$s(u, v) = \sum_{i \in N_u \cap N_v} \frac{1}{|N_i|} \quad (3)$$

Definition 4. (Jaccard 1912) Jaccard Coefficient (JC) originally developed for comparing two sets. It is the ratio of the number of common neighbors to the number of all neighbors of two nodes.

$$s(u, v) = \frac{|N_u \cap N_v|}{|N_u \cup N_v|} \quad (4)$$

Definition 5. (Dice 1945, Sørensen 1948) Sørensen/Dice Index (Dice) measures the common parts of the neighborhoods and normalizes it with the size of the neighborhoods of two studied nodes. If the neighborhoods have many nodes in common but also the common neighbors have many other links to the outside of the common neighborhood, Dice becomes lower than JC. It penalizes being a hub as well.

$$s(u, v) = \frac{2 \cdot |N_u \cap N_v|}{|N_u| + |N_v|} \quad (5)$$

Definition 6. (Cannistraci *et al.* 2015) Cannistraci-Alanis-Ravasi index (CAR) is the sum of the number of common neighbors of two nodes each having neighbors in common with those nodes.

$$s(u, v) = \sum_{i \in N_u \cap N_v} 1 + \frac{|N_u \cap N_v \cap N_i|}{2} \quad (6)$$

Definition 7. (Cannistraci *et al.* 2015) CAR-based Adamic and Adar (CAA), is a hybrid metric of the AA with CAR strategy. It merges two strategies of favoring clique-like neighborhoods with the penalization of being hub.

$$s(u, v) = \sum_{i \in N_u \cap N_v} \frac{|N_u \cap N_v \cap N_i|}{\log_2(|N_i|)} \quad (7)$$

Definition 8. (Cannistraci *et al.* 2015) Another hybrid metric is CAR-based Resource Allocation (CRA). It merges the two strategies of CAR with RA, which are explained previously.

$$s(u, v) = \sum_{i \in N_u \cap N_v} \frac{|N_u \cap N_v \cap N_i|}{|N_i|} \quad (8)$$

2.2 Link Prediction with Global Information

This category is dedicated to the link prediction methods, which do not use TCP, but they still use network-related topological properties. In local methods, the metrics completely focus on the common neighborhood, which was based on the TCP idea for link prediction. Here, we explain the metrics using other strategies related to network topology.

Definition 9. (Newman 2001) Preferential Attachment (PA), is the multiplication of degrees of two nodes. PA promotes the nodes having higher degree. It assumes that the famous nodes should have more probability of connecting with each other.

$$s(u, v) = |N_u| \cdot |N_v| \quad (9)$$

Definition 10. (Cannistraci *et al.* 2015) CAR-based Preferential Attachment (CPA) merges the strategies of CAR and preferential attachment.

$$s(u, v) = e_u \cdot e_v + e_u \cdot CAR(u, v) + e_v \cdot CAR(u, v) + CAR(u, v)^2 \quad (10)$$

With $e_u = |N_u \setminus (N_u \cap N_v)|$ and $e_v = |N_v \setminus (N_u \cap N_v)|$ is the number of the neighbors of u that are not common neighbors of u and v , and $CAR(u, v)$ is the CAR score between nodes u and v .

Definition 11. (Kovács *et al.* 2019) L3 link predictor (L3), considers network paths of length three.

$$s(u, v) = \sum_{i,j} \frac{a_{ui} \cdot a_{ij} \cdot a_{jv}}{\sqrt{k_i \cdot k_j}} \quad (11)$$

Here, a_{ui} is 1 if there is a link between the nodes u and i . And k_i is the degree of node i . Since the third level neighbors numbers are exponentially larger than the second level ones, the metric applies a degree normalization strategy. It also avoids the biased high scores coming from the hub nodes, which are naturally building shortcuts, and increases the number of third level neighbors for entire nodes.

Definition 12. (Clauset *et al.* 2008) Hierarchical Random Graph model (HRG), is originally a method of producing general hierarchical structure of a given network. Differently from producing an overfitted one single dendrogram, which only explains the hierarchical structure of the studied state of the network, HRG uses MCMC sampling of hierarchical models around the optimum one and produces the likelihoods for each member from the sample. In fact, those members are the dendrogram with associated probabilities. The model decomposition is then used for link prediction. For any node pairs, their prediction score is the average probability of connection within these dendrograms.

Definition 13. (Lü *et al.* 2008) Structural perturbation method (SPM) focuses on perturbing the adjacency matrix and observing the change of eigenvalues provided the fixed eigenvectors. This technique is similar to the first-order perturbation in quantum mechanics. It produces the scores, which are similar to previously explained similarities, for all links based on the perturbation of removal links from the adjacency matrix of the original network.

2.3. Link Prediction with Embedding

Beyond the usage of TCP principle or network structural information, there are other techniques of link prediction, which transform the network into the lower dimensional Euclidean space. Such a transformation is called graph embedding. There are several different techniques of graph embedding. Here we focus on the ones, which are used for link predictions.

Definition 14. (Tenenbaum *et al.* 2000, Kuchaiev *et al.* 2009) Isometric mapping (ISOMAP) uses one of the traditional graph embedding techniques. The studied network, $G = (V, L)$, is first transformed to a distance matrix D of its nodes in which each member d_{uv} of D is the shortest distance between the nodes u and v from V . Then D is transformed to a lower dimensional matrix $L \in \mathbb{R}^l$ with Multidimensional scaling based on non-lineaire embedding method, MDS. Here l is the new dimension that G is transformed to. MDS tries to

keep original distance d_{uv} between the node pairs and generates new vectors x_1, x_2, \dots, x_n for each node whose lengths are l . x_1, x_2, \dots, x_n is found as a minimizer of some cost function $\min_{x_1, x_2, \dots, x_n} \sum_{u,v} (d_{uv} - \|x_u - x_v\|)^2$. Once MDS generates new lower dimensional vectors for each node, then ISOMAP calculates basic euclidean distance between the nodes as their dissimilarities.

Definition 15. (Belkin and Niyogi 2001) Laplacian Eigenmaps (LEIG) uses a minimization function that can be solved by the generalized eigenvalue problem. Hence, it first generates the laplacian matrix of the original network, and then spectral decomposition of the corresponding laplacian matrix is computed. LEIG finds l eigenvalues and eigenvector with l is the number of new dimensions. After embedding, the link prediction is again done by regarding euclidean distance of the node pairs.

Definition 16. (Cannistraci *et al.* 2013) Centered and non-centered Minimum Curvilinear Embedding (MCE) and (ncMCE) respectively, are two network embedding techniques using the distances in the minimum spanning tree of studied networks. Both methods first generate the minimum spanning tree, MST of corresponding G , and then computes the distances of every pair of nodes in the MST. These distances under the form of distance matrix are called the kernel. In the algorithm if centering is not chosen, the ncMCE performs an economy size singular value decomposition of the distance matrix. Otherwise, an algebraic operation is performed for kernel centering at first and then the decomposition is done. Finally the new lower dimensional space of G is produced by the transpose of the product of computed singular values with right singular vectors with the algebraic corrections.

3. Experiments and Results

3.1. Datasets and their Topological Properties

We used eleven famous networks in our experiments, which are taken from (Rossi and Ahmed 2015; Kunegis 2013). Some of them are directly social or anthropological networks

representing the relation between a group of humans while some others are biological or transport. Table 1 shows their names and topological properties. Details of these topological properties can be obtained from (Watts and Strogatz 1998, Albert and Barabási 2002, Newman 2003). We evaluate the node number, a.k.a. network size (n), the link number (m), the average path length (l), the transitivity (T), the average ($\langle k \rangle$), minimum ($\min(k)$) and maximum ($\max(k)$) degrees, the diameter (diam), the radius (rad), the density (δ), the degree of centralization (DC), the betweenness centralization (BC), the closeness centralization (CC) and the eigenvector centralization (EC) metrics. Some have high link density, while others have high transitivity. Some of them have nodes with high EC, that is, they are popular in the network. . None of the topological properties listed in this table individually describe the network, but a few do give us an idea of its structure. For example, the Tribes network has a structure of local clusters with low EC and high T . It probably has no central or hierarchical formation. However, gene-fusion or C-Elegans networks, on the contrary, have more recursive and centralized dynamics, with high ECs and relatively low T s. We will examine the effects of these possible topological differences on connection estimation in the next sections. Briefly, Table 1 shows us that our experiments are performed on a large set with a wide variety of properties since the networks show different characteristics.

3.2. Link Prediction Results

First, we examine the results of link prediction metrics in our preliminary experiments. In these experiments, 20% of the links in each network were randomly selected and removed by using the cross-validation method. The score of each link prediction metric is then calculated for every possible node pair, as a missing link. The missing links that receive the highest scores are output as estimated links. Afterwards, estimated links were compared with the previously extracted links. The number of links to be predicted is too small when compared to the total number of possible links in the network. It is to find out about rarely occurring events. One of the

most suitable performance metrics for these cases is the precision score and AUC (Lü and Zhou 2011). The precision and AUC scores are shown in Table 2 and Table 3.

In general, precision scores are low. This is an expected result in rank-based link prediction. Many nodes in the network may have a similar topological position. Their link prediction scores may be the same, or too close. As a result, many correct links can be ignored because the ranking is done and only a certain number of links can be selected. Therefore, precision results are good to compare the metrics without focusing on the values. Accordingly, not a single metric or a family of metrics stands out. Metrics with different strategies such as RA, CAA, PA, HRG, and SPM yield different results in different networks.

The AUC, on the other hand, does not take true positives or false Negatives into account. Instead, it measures the performance based on the scores the candidate links get. AUC results can have high values, as can be seen in Table 3. Accordingly, RA and HRG stand out compared to other metrics. In many networks, these two metrics allow for more successful link prediction. In contrast, embedding methods using the spectral properties of the

networks, especially LEIG and MCE, give the lowest scores in most of the studied networks.

Evaluating both precision and AUC scores together, we find that first, different methods perform differently in the same network, and second, the same method performs differently in different networks. The first finding may be due to the fact that the methods have different link prediction strategies. However, the fact that the same method gives different results in different networks may be due to the possible topological difference between the networks. If these networks were composed of regular lattice graphs, there would be no structural difference between them. There would only be a difference in the number of nodes and links. In lattice, since all nodes will be equivalent in terms of their positions in the network, it was expected that the link prediction performances made in different networks would be equal. However, the networks we work with have different centrality measures, different mean degrees, different transitivity, etc., which means the nodes have different structural positions. It seems the performance of a method is affected by such a difference. We examine this fact in detail in the next sections.

Table 1. The topological properties of the networks

Network name	<i>n</i>	<i>m</i>	<i>l</i>	<i>T</i>	$\langle k \rangle$	<i>min(k)</i>	<i>max(k)</i>	<i>diam</i>	<i>rad</i>	δ	<i>DC</i>	<i>BC</i>	<i>CC</i>	<i>EC</i>
Adjnoun	112	425	2.54	0.16	7.59	1	49	5	3	0.068	0.37	0.23	0.43	0.84
C Elegans	453	2025	2.66	0.12	8.94	1	237	7	4	0.020	0.50	0.48	0.54	0.92
Contact	274	2124	2.42	0.57	15.50	1	101	4	2	0.057	0.31	0.14	0.38	0.78
Dolphins	62	159	3.36	0.31	5.13	1	12	8	5	0.084	0.11	0.21	0.23	0.74
Gene fusion	292	279	3.90	0.00	1.91	1	34	9	3	0.007	0.11	0.08	0.46	0.97
Jazz	198	2742	2.24	0.52	27.70	1	100	6	4	0.141	0.37	0.15	0.38	0.74
Karate	34	78	2.41	0.26	4.59	1	17	5	3	0.139	0.38	0.41	0.30	0.65
Les Miserable	77	254	2.64	0.50	6.60	1	36	5	3	0.087	0.39	0.56	0.52	0.77
Moreno	242	923	2.47	0.25	7.63	2	28	5	3	0.032	0.08	0.02	0.22	0.95
Tribes	16	58	1.54	0.53	7.25	3	10	3	2	0.483	0.18	0.04	0.21	0.31
US-Air	332	2126	2.74	0.40	12.81	1	139	6	3	0.039	0.38	0.20	0.46	0.86

Table 2. The link prediction methods' precision results

Network name	Local Information							Global Information					Graph Embedding			
	CN	AA	RA	JC	DICE	CAR	CAA	CRA	PA	CPA	L3	HRG	SPM	ISOMAP	LEIG	MCE
Adjnoun	0.05	0.03	0.05	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.06	0.04	0.05	0.02	0.06	0.01	0.02	0.01
C Elegans	0.05	0.04	0.10	0.03	0.06	0.03	0.04	0.06	0.02	0.02	0.00	0.01	0.04	0.00	0.00	0.00
Contact	0.22	0.23	0.71	0.06	0.07	0.63	0.67	0.64	0.30	0.64	0.35	0.31	0.17	0.01	0.01	0.01
Dolphins	0.11	0.11	0.03	0.06	0.07	0.08	0.04	0.02	0.01	0.05	0.03	0.24	0.20	0.02	0.04	0.01
Gene fusion	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
Jazz	0.41	0.43	0.45	0.39	0.37	0.36	0.50	0.48	0.06	0.35	0.01	0.17	0.59	0.02	0.01	0.03

Karate	0.10	0.02	0.12	0.01	0.02	0.08	0.01	0.37	0.06	0.25	0.06	0.06	0.13	0.02	0.08	0.01
Les Miserable	0.52	0.48	0.64	0.16	0.15	0.58	0.52	0.66	0.07	0.43	0.55	0.34	0.62	0.04	0.15	0.03
Moreno	0.08	0.09	0.09	0.07	0.07	0.09	0.07	0.07	0.01	0.02	0.01	0.07	0.08	0.02	0.01	0.04
Tribes	0.06	0.06	0.08	0.20	0.60	0.08	0.04	0.09	0.04	0.11	0.09	0.06	0.08	0.37	0.06	0.04
US-Air	0.08	0.08	0.15	0.03	0.04	0.13	0.16	0.09	0.05	0.32	0.14	0.38	0.12	0.03	0.03	0.02

Table 3. The link prediction methods' AUC results

Network name	Local Information								Global Information				Graph Embedding			
	CN	AA	RA	JC	DICE	CAR	CAA	CRA	PA	CPA	L3	HRG	SPM	ISOMAP	LEIG	MCE
Adjnoun	0.71	0.65	0.69	0.66	0.67	0.70	0.68	0.60	0.73	0.73	0.75	0.72	0.63	0.56	0.67	0.51
C Elegans	0.91	0.93	0.96	0.80	0.78	0.88	0.88	0.88	0.77	0.75	0.51	0.85	0.84	0.66	0.50	0.65
Contact	0.95	0.95	0.97	0.92	0.92	0.96	0.96	0.96	0.97	0.96	0.95	0.95	0.83	0.66	0.53	0.63
Dolphins	0.87	0.89	0.73	0.75	0.82	0.84	0.75	0.73	0.75	0.75	0.86	0.90	0.78	0.83	0.88	0.70
Gene fusion	0.53	0.69	0.65	0.62	0.80	0.76	0.83	0.81	0.96	0.92	0.72	0.97	0.75	0.91	0.53	0.88
Jazz	0.96	0.97	0.98	0.96	0.97	0.96	0.96	0.97	0.80	0.94	0.50	0.88	0.98	0.78	0.51	0.76
Karate	0.86	0.60	0.92	0.57	0.73	0.49	0.48	0.77	0.51	0.29	0.91	0.74	0.85	0.72	0.43	0.58
Les Miserable	0.95	0.97	0.98	0.95	0.94	0.96	0.95	0.96	0.85	0.77	0.94	0.95	0.96	0.82	0.91	0.71
Moreno	0.89	0.89	0.90	0.91	0.90	0.81	0.77	0.77	0.61	0.54	0.63	0.92	0.84	0.87	0.54	0.91
Tribes	0.51	0.56	0.62	0.75	0.87	0.63	0.21	0.60	0.34	0.54	0.68	0.41	0.63	0.84	0.49	0.32
US-Air	0.65	0.73	0.71	0.69	0.69	0.45	0.45	0.37	0.75	0.85	0.84	0.93	0.88	0.71	0.52	0.50

3.3. Link Prediction Methods' Sensitivity

In our second experiment, for the train set, we removed from 10% to 90% of the links in the network, respectively, with 10% increments. We run all the methods in each link extraction and observe the performances. Related plots can be seen in Figure 1 and Figure 2. In these figures, the x-axis shows the link ratio extracted from the trained network, and the y-axis shows the value of the performance metric. According to precision results, all metrics, without exception, yield more successful results as the link ratio in the test set increases. This is due to the precision metric itself. The true positives increase as the number of links that need to be estimated increases. When more links need to be predicted, multiple links showing the same score can now be included in the true positive set. Therefore, an increase in precision results is an expected result. Here, in order to evaluate the true success of the methods, it is necessary to focus on the curve of the increase. A simple linear increment is due to the precision properties. A good method is expected to give a result that is as stable or as close to no slope as possible. When the plots are examined, no method produces such a result. A less-linear increase is obtained by CN, HRG, and L3 for Dolphin, Karate, and US-Air networks, respectively.

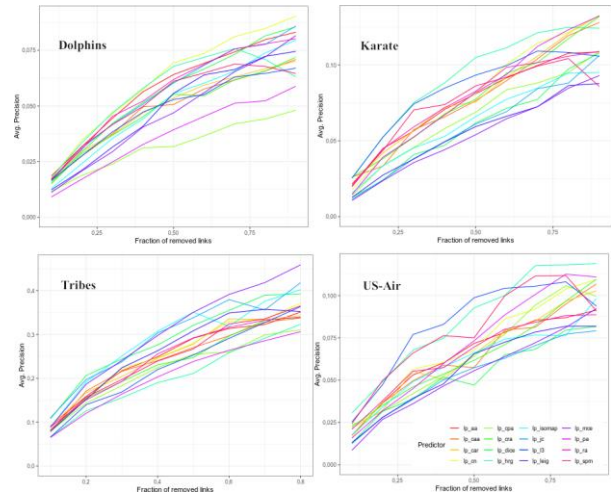


Figure 1. The average precision results over four networks based on different sized test data. The X-axis is the rate of links reserved for testing; the y-axis is the average precision value.

AUC scores are more stable (see Figure 2). Here, all the methods for Dolphin and Tribe networks show a more stable performance, while the success of the methods differs as the predicted link number increases for the other two networks. In these plots, the more stable and higher the performance curve of a method, the better it is. Accordingly, we observe that HRG is the most successful method in all networks except Tribe. It seems that the L3 method performs more unsuccessfully as the link ratio increases in almost all networks. It seems to be strongly affected by missing links in the network

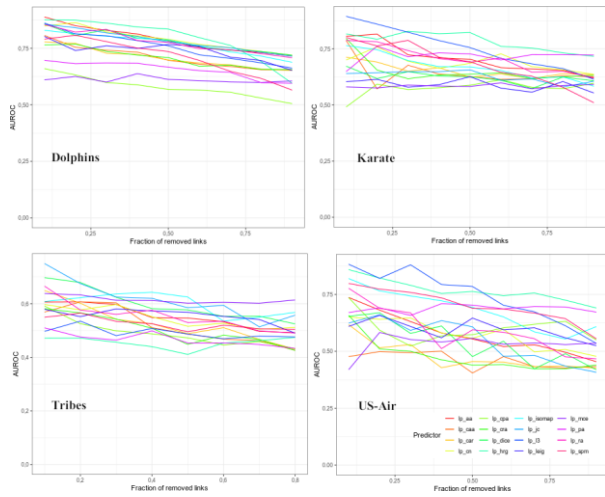


Figure 2. The AUC results over four networks based on different sized test data. The X-axis is the rate of links reserved for testing; the y-axis is the AUC value.

In the experiments conducted in this section, we observed that the precision of all methods increases as the removed link ratio is increased, while the AUC declines smoothly. As we mentioned in the previous section, since the studied networks are not regular lattice graphs and each has its own topological structure, removing links from these networks causes changes in their topology. In our experiments, we both used two different performance metrics and different networks. In this way, changing input and performance metrics can cause a cross-effect when evaluating the success of methods. However, in this setup, we see that the success of all sixteen link prediction methods without exception changes when the removed link amount changes, that is, when the topology of the network is gradually degraded/affected. Accordingly, we can claim that all methods are clearly affected by the topographical change, even if there might be a crossover effect coming from input or metric change. We do not measure this possible crossover effect for now because it is out of the scope of this work.

3.4. Link Prediction Methods' Correlation with Network Topology

We analyze whether different topological properties of networks have an effect on link prediction methods by examining their correlations.

The correlation results between the performance score of each method as AUC or Precision in different networks and the different topological properties, and the related heat maps are shown in Figure 3, left and right plots, respectively. According to AUC results, HRG and EC are highly positively correlated. PA and MCE are also correlated with EC. A high EC shows us that some nodes are quite popular in the network while many others are not, so there may be a tree-like structure. HRG uses a strategy relying on a hierarchical structure in the network. PA increases the score according to the number of neighbors. It is thus reasonable for these methods to be highly correlated with EC. On the other hand, we can say that the success of HRG and PA decreases as the network density increases.

Correlation results with precision show the relationship between the ability of link prediction methods to detect missing links and topological properties. Accordingly, the success of PA and CAA increases as the density and the minimum degree increase, and the success of these two methods decreases as EC increases. The most interesting result here is that AUC scores of PA are positively correlated with EC, while Precision scores are negatively correlated. PA favors putting links between popular nodes. It is therefore reasonable that the score result increases with EC increase. However, the negative correlation on precision means that there is a decrease in the true positive link prediction rate with the increase of EC. Most of the links predicted by PA are tied to higher degree nodes. This can result in popular nodes being linked to unpopular ones if there are fewer popular node pairs than the number of missing links in the network. As a result, this may cause a negative correlation with EC.

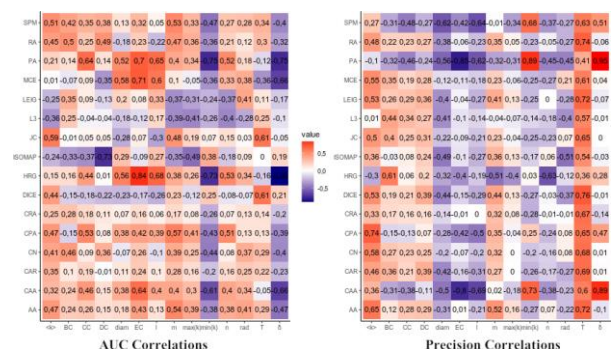


Figure 3. Heat maps of the Pearson correlation coefficient. Precision (right) and AUC (left) correlations between all link prediction methods and all topological properties. Experiments are carried out with the 20% test data of the links.

We showed which topological properties each method might be related to with correlation heat maps. As explained, some methods were found to be related one-to-one with some topological properties. But many methods do not seem to be correlated to any topological properties. In particular, the correlations between local methods and topological properties always seem low. Local methods use TCP, which takes into account only the first-level neighborhood of two nodes. Therefore, it may be possible that there is no relation between the centralizations, which gives information about the global structure of the network. However, the fact that they are not particularly related to transitivity should be investigated because transitivity is a property related to triangular connections in the first-level neighborhood of the node. Here, in order to measure correlation, we consider the global values such as the average of the local properties such as transitivity or degree. This may obscure the possible relationship between transitivity and link prediction. In addition, while the topological properties individually can provide information about the network structure, a few of them together can create cross-effects, allowing us to explain the structure of the network (for example, high EC and low T together can mean a hierarchical structure). The correlations we measured here only reflect the possible relations between singular properties and singular methods. This may also cause us not to see this result in correlation, even if some methods are affected by the combination of some topological properties.

3.5. Discussion

When all the experiments are evaluated together, it has been observed that there may be a relationship between the topological properties of the studied network and the performance of the link prediction method. When the details of this relationship are examined, it is concluded that some methods, such

as HRG, may be affected by single topological properties such as EC. In the study, possible relationships were examined between each method and each topological property, on the networks in the experimental setup. In networks, it is possible that more than one topological property together creates new dynamics. However, it is not easy to measure this fact. Probably for this reason, the relationship between the performance of methods using local information and the topology of the network could not be resolved. A detailed analysis of this possible relation can be done with a regression. More specifically, the precision or AUC score of each method can be described by a regression line that takes input from the topological properties studied here. However, the fact that several topological properties together create a non-linear dynamic may still not be measurable even with regression. This difficulty arising from the nature of complex networks can be solved by examining each system in detail and temporally, with new topological properties (and/or hybrid topological properties) that will explain the structural features of that system. This study is the basis for revealing the topology-link prediction relationships. Later on, these relationships can be detailed in many respects. Some experiments conducted in this study can form the basis for studies in many different disciplines, each of which can be a separate subject in physics, mathematics, social or computer sciences.

4. Conclusion

We carried out a series of experiments to evaluate the performance of sixteen different link prediction methods used in traditional score ranking-based prediction. Experiments were performed with eleven networks having different characteristics. Performances were measured by AUC and Precision. Ultimately, we found that HRG and RA yielded the most successful results. Of these, HRG is less dependent on the number of missing links in the network. In addition, the possible relationship between these methods and the network topology was also examined in the experiments. Again, HRG was found to be correlated with the eigenvector centralization of the network. This method can be

advantageous if prediction is to be done on a network dominated by popular nodes.

The results demonstrate that Precision and AUC scores can exhibit different behaviors. These experiments showed us that an objective evaluation of prediction results is a complex problem with various parameters. In the following stages, new and more different networks can be added to the experimental dataset. The relationship between topological properties and prediction methods can be examined in more depth by using other metrics such as recall or AUPR. Thus, partial hybrid solutions or ensemble solutions resulting in higher success can be developed according to the topology of the network.

5. References

- Adamic, L. A., & Adar, E., 2003. Friends and neighbors on the web. *Social networks*, **25**, 211-230.
- Albert, R., & Barabási, A. L., 2002. Statistical mechanics of complex networks. *Reviews of modern physics*, **74**, 47-97.
- Belkin, M., & Niyogi, P., 2001. Laplacian eigenmaps and spectral techniques for embedding and clustering. In Proceedings of the 14th International Conference on Neural Information Processing Systems: Natural and Synthetic (NIPS'01). MIT Press, Cambridge, MA, USA, 585-591.
- Cannistraci, C. V., Alanis-Lobato, G., & Ravasi, T., 2013. Minimum curvilinearity to enhance topological prediction of protein interactions by network embedding. *Bioinformatics*, **29**, 199-209.
- Cannistraci, C. V., Alanis-Lobato, G., & Ravasi, T., 2015. From link-prediction in brain connectomes and protein interactomes to the local-community-paradigm in complex networks. *Scientific reports*, **3**, 1-14.
- Clauset, A., Moore, C., & Newman, M. E., 2008. Hierarchical structure and the prediction of missing links in networks. *Nature*, **453**, 98-101.
- De Sá, H. R., & Prudêncio, R. B., 2011. Supervised link prediction in weighted networks. The 2011 International Joint Conference on Neural Networks, IEEE, 2281-2288.
- Dice, L. R., 1945. Measures of the amount of ecologic association between species. *Ecology*, **26**, 297-302.
- Gleiser, P. M., & Danon, L., 2003. Community structure in jazz. *Advances in complex systems*, **6**, 565-573.
- Jaccard, P., 1912. The distribution of the flora in the alpine zone. 1. *New phytologist*, **11**, 37-50.
- Kaya, B., 2020. Hotel recommendation system by bipartite networks and link prediction. *Journal of Information Science*, **46**, 53-63.
- Kovács, I. A., Luck, K., Spirohn, K., Wang, Y., Pollis, C., Schlabach, S., ... & Barabási, A. L., 2019. Network-based prediction of protein interactions. *Nature communications*, **10**, 1-8.
- Kuchaiev, O., Rašajski, M., Higham, D. J., & Pržulj, N., 2009. Geometric de-noising of protein-protein interaction networks. *PLoS computational biology*, **5**, 1-10.
- Kunegis, J., 2013. Konect: the koblenz network collection. In Proceedings of the 22nd international conference on world wide web, 1343-1350.
- Liben-Nowell, D., & Kleinberg, J., 2007. The link-prediction problem for social networks. *Journal of the American society for information science and technology*, **58**, 1019-1031.
- Li, J., Zhang, L., Meng, F., & Li, F., 2014. Recommendation algorithm based on link prediction and domain knowledge in retail transactions. *Procedia Computer Science*, **31**, 875-881.
- Lü, L., & Zhou, T., 2011. Link prediction in complex networks: A survey. *Physica A: statistical mechanics and its applications*, **390**, 1150-1170.
- Lü, L., Pan, L., Zhou, T., Zhang, Y. C., & Stanley, H. E., 2015. Toward link predictability of complex networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **112**, 2325-2330.
- Malhotra, D., & Goyal, R., 2021. Supervised-learning link prediction in single layer and multiplex networks. *Machine Learning with Applications*, **6**, 1-9.
- Martínez, V., Berzal, F., & Cubero, J. C., 2016. A survey of link prediction in complex networks. *ACM computing surveys*, **49**, 1-33.
- Newman, M. E., 2001. Clustering and preferential attachment in growing networks. *Physical review E*, **64**, 1-13.
- Newman, M. E., 2003. The structure and function of complex networks. *SIAM review*, **45**, 167-256.

- Rossi, R., & Ahmed, N., 2015. The network data repository with interactive graph analytics and visualization. In Twenty-ninth AAAI conference on artificial intelligence, AAAI Press, 4262-4293
- Rossi, A., Barbosa, D., Firmani, D., Matinata, A., & Merialdo, P., 2021. Knowledge graph embedding for link prediction: A comparative analysis. *ACM Transactions on Knowledge Discovery from Data*, **15**, 1-49.
- Sørensen, T. J., 1948. A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species content and its application to analyses of the vegetation on Danish commons. *Kongelige Danske Videnskabernes Selskab Biologiske Skrifter*, **5**, 1-34.
- Tenenbaum, J. B., Silva, V. D., & Langford, J. C., 2000. A global geometric framework for nonlinear dimensionality reduction. *Science*, **290**, 2319-2323.
- Wang, M., Qiu, L., & Wang, X., 2021. A survey on knowledge graph embeddings for link prediction. *Symmetry*, **13**, 1-29.
- Watts, D. J., & Strogatz, S. H., 1998. Collective dynamics of 'small-world' networks. *Nature*, **393**, 440-442.
- Zareie, A., & Sakellariou, R., 2020. Similarity-based link prediction in social networks using latent relationships between the users. *Scientific Reports*, **10**, 1-11.
- Zhou, T., Lü, L., & Zhang, Y. C., 2009. Predicting missing links via local information. *The European Physical Journal B*, **71**, 623-630.

AKÜ FEMÜBİD 22 (2022) 045201 (789-797)

AKU J. Sci. Eng. 22 (2022) 045201 (789-797)

DOI: 10.35414/akufemubid.1106065

Araştırma Makalesi / Research Article

Lityum-iyon Bataryaların Katot Malzemelerindeki Kristal Yapının Kestirimi için Makine Öğrenimi Yöntemlerinin Uygulanması

Meltem SÜPÜRTÜLÜ^{1,3}, Çiğdem DİNDAR^{2,3}, Recep AKYÜZ³¹ Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Bursa.² Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bursa.³ TOFAŞ Türk Otomobil Fabrikası A.Ş., AR-GE Merkezi, Bursa.Sorumlu yazar e-posta: ¹meltem.supurtulu@tofas.com.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0473-7731>²cigdem.dindar@tofas.com.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4597-906X>³recep.akyuz@tofas.com.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3310-6437>

Geliş Tarihi: 20.04.2022

Kabul Tarihi: 07.08.2022

Öz

Lityum-iyon silikat katotların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin kristal yapı sisteminden önemli ölçüde etkilendiği yaygın olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle, kristal yapılarının kestirimi, batarya uygulamalarında katotların diğer birçok özelliğini tahmin etmek için hayati öneme sahiptir. Li-Si-(Mn,Fe,Co)-O bileşik yapılarına sahip silikat bazlı katotların üç ana kristal sistemi (monoklinik, ortorombik ve triklinik) makine öğrenimi yöntemlerinden çeşitli sınıflandırma teknikleri kullanılarak tahmin edilmiştir. Hesaplamalar, Malzeme Projesi'nden elde edilen yoğunluk fonksiyonel teorisi hesaplamalarının sonuçlarına dayanmaktadır. Kristal sistemi ile katotların diğer fiziksel özellikleri arasındaki güçlü korelasyon, istatistiksel modellerdeki özellik değerlendirmesine dayalı olarak doğrulanmıştır. Ayrıca, en iyi tahmin doğruluğunu elde etmek için çeşitli sınıflandırma yöntemlerinin parametreleri optimize edilmiştir. XGBoost ve Destek Vektör Sınıflandırıcı algoritmalarının çapraz doğrulama testlerinde çalışmada kullanılan diğer sınıflandırma yöntemleri arasında en yüksek tahmin doğruluğunu sağlamıştır.

Anahtar kelimeler

Lityum-iyon bataryalar;
Makine öğrenimi;
Optimizasyon;
Kristal yapı;
Sınıflandırma teknikleri

Implementation of Machine Learning Approaches for Crystal Structure Estimation in Lithium-ion Battery Cathode Materials

Abstract

It has commonly been assumed that the physical and chemical characteristics of lithium-ion silicate cathodes are influenced significantly by the crystal structure system. Because of this, crystal structure estimation has played a vital role in bringing about forecasting many other features of cathodes in battery applications. Using a variety of classification techniques in machine learning which three primary crystal structure (monoclinic, orthorhombic, and triclinic) of silicate-based cathode materials with compound systems of Li-Si-(Mn,Fe,Co)-O has been estimated. The computations are based on the Materials Project's density functional theory computations. In this study, it has been explained that based on property evaluation in statistical models, the considerable correlation between the crystal system and other physical characteristics of the cathodes was validated. Furthermore, the parameters of several categorization techniques have been tuned in order to achieve maximum prediction accuracy. This case has shown that the XGBoost and Support Vector Classifier algorithms carried out in this study the highest forecasting accuracy in this study along with many other classification methods in cross-validation tests.

Keywords

Lithium-ion batteries;
Machine learning;
Optimization;
Crystal structure;
Classification techniques

1. Giriş

Çok çeşitli, yeni ve karmaşık malzemelerin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin hesaplanması, malzemelerin elektronik yapısını sayısal yöntemlerdeki gelişmelerin yanı sıra hesaplama gücündeki hızlı gelişmeler sayesinde mümkün olmuştur. Bu sayede, araştırmacılar malzemelerin tahmin edilen niteliklerine ilişkin büyük miktarda veriye erişebilmektedir. Örnek olarak Malzeme Projesi (Jain *et al.* 2013), elektronik yapı yoğunluğu fonksiyonel teorisinde (DFT, Density Functional Theory) malzemelerin belirlenen fiziksel ve kimyasal özellikleri halka açık veri seti arşivlerine sunulmuştur. DFT hesaplamaları, malzemelerdeki elektron yoğunluğunu ve bant yapısını kestirmek için etkili araçlardır. Li-iyon bataryalar da dahil olmak üzere birçok farklı malzeme türü için fiziksel özelliklerin kesin hesaplamaları, değişim-korelasyon potansiyelinin geliştirilmesindeki ilerlemeden kaynaklanmıştır (Yan *et al.* 2014).

Malzemelerin özellikleri hakkında daha fazla bilgi sahibi olabilmek için malzemelerle ilgili büyük miktardaki verinin analiz edilmesi gerekmektedir. Genel olarak, geleneksel istatistiksel modeller ile çeşitli fiziksel özellikler arasındaki karmaşık ilişkileri ortaya çıkarmak zor olmaktadır. Gelişmiş makine öğrenimi (ML, Machine Learning) algoritmaları ise kristal yapı ile diğer fiziksel ve kimyasal özellikler arasındaki karmaşık ilişkiyi ortaya çıkarma yeteneğine sahiptir. ML, birçok karmaşık sınıflandırma ve regresyon problemini çözmek için kullanılmıştır. Bu alanlardan biri de Li-iyon bataryalardır.

Li-Si-(Mn,Fe,Co)-O bileşimlerine sahip katot malzemeleri, Li-iyon bataryalardaki uygulamaları nedeniyle araştırmalar tarafından büyük ilgi görmektedir (Askanazi *et al.* 2021; Pan *et al.* 2021; Bartel *et al.* 2020; Park and Wolverton 2020; Cubuk *et al.* 2019). Shandiz ve Gauvin (2016), Malzeme Projesi veri setini ile ML yöntemleri olan lineer, kuadratik ve daralan diskriminant analizi, sinir ağları, destek vektör makineleri, k-en yakın komşular, rastgele ormanlar ve aşırı derecede rastgele ağaçları modelleri oluşturmada kullanmışlardır. Rastgele

ormanlar ve aşırı derecede rastgele ağaçlar, kristal sistemin sınıflandırılması için topluluk yöntemlerinin gücünü ve esnekliğini kanıtlayan diğer sınıflandırıcılar arasında en yüksek genel ortalama doğruluğu verdiği belirtilmiştir. Aşırı derece rastgele ağaçlarda özellik önem değerlendirmesine dayalı olarak, kristal hacmi ve site sayısı, veri setindeki kristal sistem tipini belirlemek için en yüksek etkileri göstermiştir. Ancak, silikat katotların oluşum enerjisi, gövde üzerindeki enerji ve bant aralığı gibi diğer özellikleri de kristal sisteminin belirlenmesi için önemli olduğu gösterilmiştir. Maphanga vd. (2020), Malzeme Projesi veri setini kullanarak girdi verisi DFT'den hesaplanan malzeme özellikleri ile batarya malzemesindeki gerilimleri tahmin etmede ML regresyon yöntemlerini araştırmışlardır. Önerilen model ile iyi bir doğruluk performansı elde edilmiştir. Jha vd. (2018), temel bileşiklerden malzeme özelliklerini kestirmeye yönelik derin sinir ağı modelinin tasarımını ve uygulamasını gerçekleştirmiştir. ElemNet, malzeme özelliklerini daha iyi doğruluk ve hızla tahmin etmesine olanak tanıyan yapay zekâ kullanarak farklı elementler arasındaki fiziksel ve kimyasal etkileşimleri ve benzerlikleri otomatik olarak yakalamaktadır. Katotların kristal yapısı, Lityum-iyon bataryaların özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Longo *et al.* 2014). Katodun fiziksel ve kimyasal özelliklerinin daha iyi belirlenmesi için, tanımlama doğru hesaplamaları ve deneysel metodolojilerin araştırılması ve geliştirilmesi kritik öneme sahiptir.

Gerçekleştirilen çalışmada; Li-Si-(Mn,Fe,Co)-O bileşikleri ile katot malzemelerinin üç ana kristal sistemi (CS, Crystal System) türünü tahmin etmede Malzeme Projeleri'nden (Jain *et al.* 2013) elde edilen veriler ile çeşitli sınıflandırma yöntemleri incelenmiştir. Tahmin edilen veya bilinen katotlar için DFT sonuçlarının çoğu üç (monoklinik, ortorombik ve triklinik) sınıf için mevcuttur. Modelleri oluşturmak için kullanılan sınıflandırma yöntemleri; Derin Sinir Ağları (DNN, Deep Neural Networks), Destek Vektör Sınıflandırıcı (SVC, Support Vector Classifier), XGBoost Sınıflandırıcı (XGBoost, eXtreme Gradient Boosting Classifier) ve Karar Ağaçları (DT, Decision Tree) algoritmalarıdır.

Çizelge 1. Veri setinden seçilen bazı silikat katotlar (Shandiz and Gauvin 2016).

Formül	Uzay Grubu	E_f (eV)	E_H (eV)	E_g (eV)	N_s	ρ (g/cm ³)	V (Å ³)	Kristal Sistemi
Li ₂ MnSiO ₄	Pc	-2.699	0.006	3.462	16	2.993	178.513	Monoklinik
Li ₂ Mn ₂ (SiO ₃) ₃	P21/c	-2.769	0.077	3.188	64	2.517	929.064	Monoklinik
Li ₂ Co ₂ (SiO ₃) ₃	P21/c	-2.598	0.069	2.727	64	2.739	872.856	Monoklinik
Li ₂ FeSi ₃ O ₈	P21	-2.84	0.069	3.081	28	2.665	351.384	Monoklinik
LiMn(SiO ₃) ₂	Pbca	-2.824	0.036	0.037	80	3.343	850.626	Ortorombik
LiFeSiO ₄	Pn21a	-2.604	0.018	2.961	28	2.89	355.979	Ortorombik
Li ₂ Co ₂ Si ₂ O ₇	C2cm	-2.453	0.072	2.84	26	3.579	278.304	Ortorombik
Li ₇ Mn ₁₁ (Si ₃ O ₁₆) ₂	P1	-2.439	0.092	0.3611	56	3.909	566.407	Triklinik
LiFeSi ₂ O ₈	P1	-2.896	0.032	3.342	26	2.76	330.953	Triklinik
LiCo ₃ (SiO ₄) ₂	P1	-2.25	0.076	0.005	42	3.318	552.402	Triklinik

2. Materyal ve Metot

Veri seti, Malzeme Projesi'nden (Jain *et al.* 2013) alınan verileri kullanarak Li-Si-(Mn, Fe, Co)-O bileşimlerine sahip 339 katot malzemesi için DFT hesaplamalarının sonuçlarını içermektedir. Malzeme Projesi, yüksek verimli bir sürece dayanmaktadır. Malzeme Projesi'nin DFT hesaplamalarında kullanılan kristal yapıların çoğu, atom konumlarını ve kristal kafes özelliklerini içeren inorganik kristal yapısal veri tabanından (ICSD, Inorganic Crystal Structural Database) elde edilmiştir. Atomik konumların optimizasyonu, mevcut veya oluşturulan yapılar üzerinde de gerçekleştirilir. Hesaplamaların detayları hakkında daha fazla bilgi Jain vd. (2013) makalesinde bulunabilir.

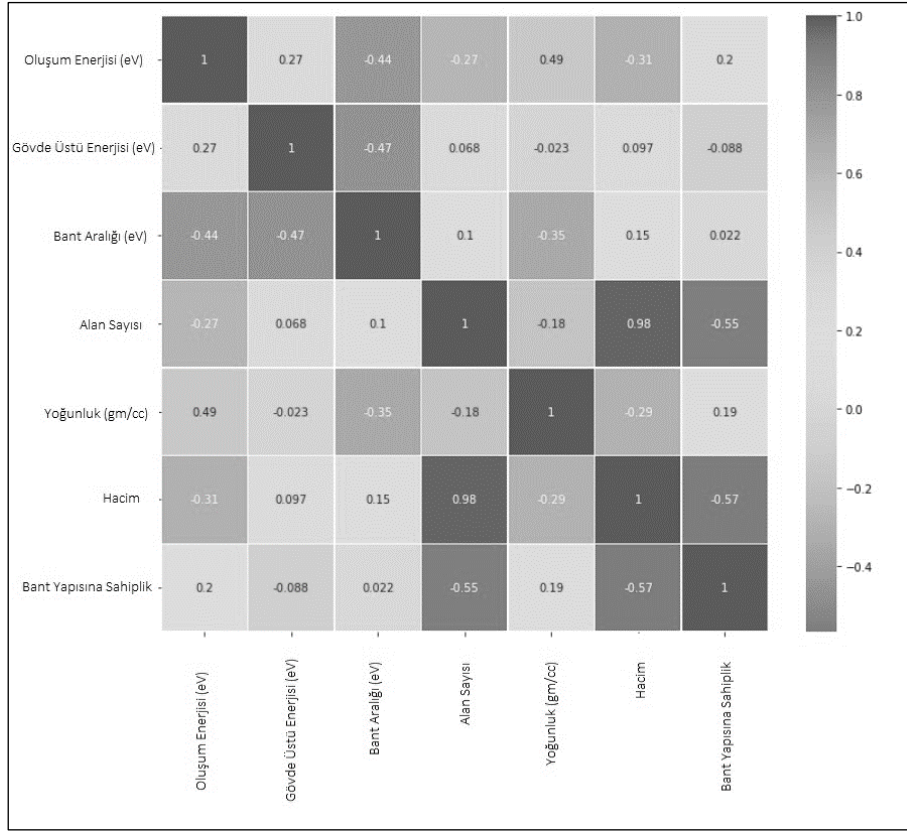
Veri seti, her katodun kristal sisteminde kimyasal formülü, uzay grubunu, oluşum enerjisini (E_f), gövde üzerindeki enerjiyi (E_H), bant aralığını (E_g), alan sayısını (N_s), yoğunluğunu (ρ) ve birim hücrenin hacmini (V) içermektedir. Veri setinde belirtilen özellikler Malzeme Projesi sözlüğüne göre N_s ve ρ sırasıyla kristalin birim hücresindeki atom sayıları ve toplu kristal malzemelerin yoğunluğudur. Makine öğrenimi ve derin öğrenme modellerini oluşturmak için, $V = M/\rho$ (M atomik kütedir) verildiğinde yalnızca V değişkeni kullanılmaktadır. Ayrıca E_H , malzemenin en kararlı olanlara ayrışma enerjisi olarak tanımlanır. Oluşum enerjisinin ve diğer özelliklerin hesaplanmasının OK sıcaklıkta ve ortam basıncındadır. Çizelge 1, veri setinden seçilen bazı silikat katotları için verileri göstermektedir.

Veri seti, çok çeşitli karmaşık yapılar ve çeşitli kimyasal bileşimler içermektedir. Şekil 1, veri kümesindeki silikat katotların özelliklerinin eş çizimlerini göstermektedir. Çapraz grafikler, katotların her bir özelliğinin dağılımı için histogram grafikleridir. Görülebileceği gibi, genellikle özellikler ile kristal sistemi arasında belirgin bir ilişki yoktur. Bu karmaşıklık, sınıflandırma probleminin geleneksel yöntemlerle çözülmesini zorlaştırmaktadır. Malzeme Projesi'ndeki hesaplama sonuçlarının, yeni optimizasyonlar yapılması veya yeni potansiyellerin kullanılması nedeniyle değişmeye eğilimli olduğu görülmektedir.

2.1 Makine Öğrenimi için Sınıflandırma Yöntemleri

Sınıflandırma, veri setini belirli sınıflara bölmek için makine öğrenmesinde kullanılan bir yöntemdir. Bu çalışmadaki sınıflandırma probleminde kristal sistemi (monoklinik, ortorombik ve triklinik) belirtildiği için denetimli öğrenme yöntemleri seçilmiştir. Ayrıca, sınıflandırmanın doğruluğu, sınıfların doğru tahmin edilen kısmı olarak tanımlanmaktadır.

Denetimli sınıflandırma için, $n \times m$ boyutlu özellik matrisi X ve farklı sınıflarda n ve K uzunluklarına sahip tek boyutlu bir matris olarak cevap matrisi Y kullanılmıştır. Burada n, gözlem (örnek) sayısı ve m, öznitelik sayısıdır. Bu çalışma için n, m ve K sırasıyla 339, 5 ve 3'tür.



Şekil 1. Malzeme Projesi'nden alınan verilere ait Li- (Mn, Fe,Co)-Si-O katotlarının farklı özelliklerinin korelasyon (sayısal) grafiği.

Kristal sistemi, diğer değişkenlere bağlı bir fonksiyon olarak tanımlanabilir: $CS = f(V, E_g, N_s, E_f, E_H)$. Buradaki, oluşum enerjisini (E_f), gövde üzerindeki enerjiyi (E_H), bant aralığını (E_g), alan sayısını (N_s), yoğunluğunu (ρ) ve birim hücrenin hacmi (V)

değişkenlerine dayanarak kristal sınıfı, makine öğrenimi yöntemleri ile tahmin edilebilmektedir. Bu bölümde, modelleri oluşturmak için veri kümesi üzerinde uygulanan sınıflandırma yöntemleri kısaca tanıtılmaktadır (Çizelge 2).

Çizelge 2. Kullanılan yöntemlere ait temel ifadeler.

Yöntem	İfade	Açıklama
Destek Vektör Sınıflandırıcı	$\min(w, b, \xi): \frac{1}{2} w^T w + C \sum_{i=0}^{N-1} \xi_i$ $\max: \sum_i \alpha_i - \frac{1}{2} \sum_{i,j} \alpha_i \alpha_j y_i y_j K(x_i, x_j)$ $f(x) = \text{sgn} \left(\sum_{i=0}^{N-1} y_i \alpha_i K(x_i, x) + b \right)$	$y_i (w^T \phi(x_i) + b) \geq (1 - \xi_i); \xi_i \geq 0$ $\sum_i \alpha_i y_i = 0; 0 \leq \alpha_i \leq C, i = 0, \dots, N - 1$ $K(x_i, x_j) = \exp(-\gamma \ x_i - x_j\ ^2)$
Karar Ağaçları	$\text{Gini İndeksi, } G = 1 - \sum_{i=1}^C (p_i)^2$	<p>p, başarı; q, başarısızlık</p> $(p^2 + q^2)$
XGBoost	$\sum_{i=1}^n \frac{1}{2} h_i (f_i(x_i) - \frac{g_i}{h_i})^2 + \Omega(f_i) + \text{sabit}$	<p>h_i, ağırlıklar;</p> <p>$\frac{g_i}{h_i}$, etiketlerle tam ağırlıklı kare kaybı</p>
Derin Sinir Ağları	$\hat{y}_i = f_2 \left\{ \sum_{j=1}^R w_{kj}^{(2)} \left[f_1 \left(\sum_{j=1}^R w_{kj}^{(1)} x_j + b_k^{(1)} \right) \right] + b_k^{(2)} \right\}$	<p>f_1, f_2: Aktivasyon fonksiyonu;</p> <p>w_{kj}: Ağırlıklar; x_j: Girdiler; b_k: Bias</p>

2.1.1 Destek Vektör Makineleri

Destek vektör makineleri (SVM, Support Vector Machine) yöntemi, genellikle sınıflandırma problemlerinde kullanılan denetimli öğrenme yöntemlerinden biridir. Bir doğru yardımı ile bir düzlem üzerine yerleştirilen noktaları ayırmaktadır. Bu doğrunun, iki sınıfın noktaları için de maksimum marjlı hiper düzlemleri bulmaya dayalı olarak eğitim verilerini bölme fikri üzerinde çalışmaktadır. Karmaşık ancak küçük ve orta ölçekteki veri setleri için uygundur. Hiper düzlem, $w^T \phi(x_i) + b$ şeklinde tanımlanmaktadır. w hiper düzlemin normal vektörüdür, x_i eğitim veri kümesidir ve $\phi(x_i)$ eğitim verilerini özellik uzayıyla eşleştirir. Maksimum marjın optimal çözümünü bulmak için optimizasyon problemi çözülmelidir (Chang 2011, Int Kyn. 1).

2.1.2 Karar Ağaçları Algoritmaları

Karar ağacı algoritmaları, sınıflandırma algoritmalarından biridir. Genellikle ölçeklendirme ve çok fazla ön işleme süreçlerine gerek duymamaktadır. Bir karar ağacı, çok sayıda kayıt içeren bir veri kümesini, bir dizi karar kuralları uygulayarak daha küçük kümelerle bölmek için kullanılan bir yapıdır. Önceden tanımlanmış bir hedef değişkene sahiptirler.

Çalışma prensibi, yapıları itibarıyla en tepeden aşağı inen bir strateji ile verileri ayrı sınıflara bölerek ile "En İyi" olup olmadığını belirlemek için herhangi bir düğümde test edilecek öznelikleri ayırmak için kullanılmaktadır. Her dalda elde edilen ayırım mümkün olduğu kadar saf olmalıdır, çünkü bölme kriterlerinin aynı olması gerekmektedir. Veriyi iyi bir şekilde açıklamayan aşırı karmaşık ağaçlar üretilebilir. Bu durumda ağaç dallanması takip edilememektedir. Ezbere öğrenme, aşırı uyum (overfitting) veya öğrenememe (underfitting) gibi sorunlarla karşılaşıldığında hiper parametre değerlerinin değiştirilmesi gerekmektedir (Jandav and Channe 2016, Int Kyn. 2).

Karar ağaçları, bir düğümü iki veya daha fazla alt düğüme bölünmesine karar vermesinde birden fazla algoritma kullanılmaktadır. Alt düğümlerin

oluşturulması, alt düğümlerin homojenliğini arttırmaktadır. Başka bir ifadeyle, düğümün saflığının hedef değişkenlere göre artmasıdır. Algoritma seçimi, hedef değişkenin tipine bağlıdır. Karar ağaçlarında en sık kullanılan algoritmalar; kategorik değişkenler için Entropi, Gini, Sınıflandırma Hatası; sürekli değişkenler için ise En Küçük Kareler yöntemi şeklindedir. Bu çalışmada Gini İndeksi kullanılmıştır. Entropi, verilerimizle ilgili belirsizliğin bir ölçüsüdür. Sezgisel olarak, bir veri kümesinin yalnızca bir etiketi varsa, daha düşük bir entropiye sahiptir. Dolayısıyla verilerdeki entropiyi en aza indirecek bir şekilde bölünmesi gerekmektedir (Int Kyn. 2).

2.1.3 XGBoost Algoritmaları

Ölçeklenebilir bir ağaç arttırma sistemi olan Aşırı Gradyan Arttırma (XGBoost, eXtreme Gradient Boosting) algoritmaları, "zayıf" tahminleyicileri olarak karar ağaçlarını kullanan bir gradyan arttırma algoritmasıdır. Ayrıca, yöntem en iyi performans ve hız için özel olarak tasarlanmıştır. XGBoost, kullanım kolaylığı ve tahmin gücü özellikleriyle regresyon ve sınıflandırma görevleri için kullanılan denetimli öğrenme algoritmasıdır. Seyrek verileri işlemek için seyrekliğe duyarlı yeni bir algoritma ve yaklaşık öğrenme için teorik olarak doğrulanmış ağırlıklı bir nicel çizim olan yöntem, önbellek erişim kalıplarının, veri sıkıştırmanın ve parçalamanın, karar ağaçlarının güçlendirilmesinde ölçeklenebilir bir uçtan uca sistem oluşturmak için temel unsurlar olduğunu göstermektedir. İç görüleri birleştirerek XGBoost, minimum miktarda kaynak kullanılarak gerçek dünya ölçeğindeki sorunları çözebilmektedir. (Chen and Guestrin 2016, Int Kyn. 3).

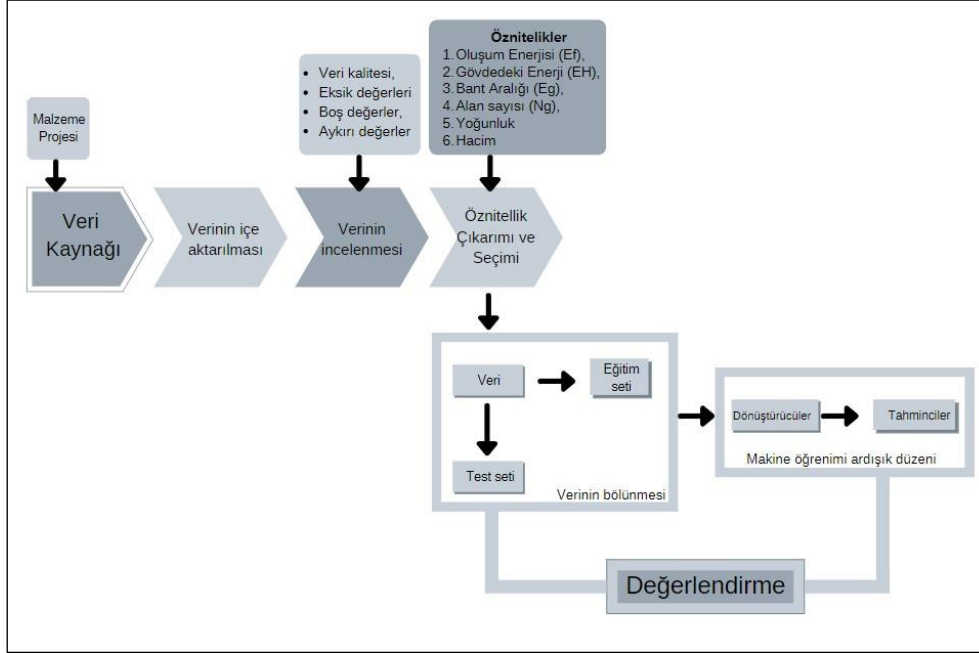
2.1.4 Derin Sinir Ağları

Yapay Sinir Ağları (ANN, Artificial Neural Network), sınıflandırma ve regresyon problemleri için makine öğrenimindeki çok yönlü ve etkili yöntemlerden biridir (Ripley, 1996). Ancak, yüksek derecede esneklik özelliği, parametrelerin optimal değerlerini bulma sürecini zorlaştırabilir.

Derin sinir ağları (DNN, Deep Neural Network) algoritmaları ise yapay sinir ağlarının çok katmanlı

biçimidir. Bu çalışmada çok katmanlı algılayıcılar (multi-layer perceptron) kullanılmıştır. DNN, girdi katmanı (input layer), gizli katman (hidden layer) ve çıktı katmanı (output layer) olmak üzere üç katmandan oluşmaktadır. Aktivasyon fonksiyonu,

doğrultulmuş doğrusal (RELU, Rectified Linear Unit) fonksiyonu ile uygunluk kriteri olarak maksimum koşullu olabilirlik kullanılmıştır (Venables and Ripley, 2002).



Şekil 2. Malzeme Projesi'nden alınan verilerin makine öğrenimi yöntemleri ile analiz edilmesine ilişkin ardışıl düzeni.

3. Bulgular

Çalışmada, veri setine makine öğrenimi sınıflandırma yöntemlerinden olan Destek Vektör Sınıflandırıcı (SVC, Support Vector Classifier), Karar Ağaçları (DC, Decision Tree), XGBoost ve Derin Sinir Ağları (DNN, Deep Neural Network) uygulanmıştır. Tüm bu yöntemler Kaggle (Int Kyn. 5) ve Google Colab (Int Kyn. 4) ortamında hazırlanmıştır.

Ayrıca, ham verilerin alınmasından makine öğrenimi yöntemlerinin uygulanıp değerlendirilmesine kadar gerçekleştirilen süreç, Şekil 2'de yer almaktadır.

Çalışmada kullanılan veri seti, sınırlı sayıda veri içerdiğinden makine öğrenimi ve derin öğrenme algoritmalarının performansının daha verimli olarak ölçülebilmesi için veri setinin %80'i eğitim ve %20'si test için kullanılmıştır. Doğrulama için k-katlı çapraz doğrulama (k-fold cross-validation) yöntemi uygulanmıştır. k=1 ve bölütleme değeri (fold) 10 olarak seçilmiştir.

Derin öğrenmede iki veya daha fazla sınıflandırma modellerinin performansının ölçümünde genellikle hata matrisi kullanılarak doğruluk (accuracy), kesinlik (precision), geri çağırma (recall) ve F1-puanı (F1 score) gibi parametreler hesaplanmaktadır. Hata matrisi, gerçek ve tahmin sınıfının dört farklı durumunu içeren bir tablodur. Doğru pozitif ve negatif, yanlış pozitif ve negatif gibi dört farklı hasta matrisi durumları Çizelge 4'te gösterilmiştir. Hata matrisi durumlarına göre doğruluk Eşitlik (1), kesinlik Eşitlik (2), geri çağırma Eşitlik (3) ve F1-puanı Eşitlik (4) ile hesaplanmaktadır (Demirezen, 2021).

$$\text{Doğruluk} = \frac{DP+DN}{DP+DN+YP+YN} \quad (1)$$

$$\text{Kesinlik} = \frac{DP}{DP+YP} \quad (2)$$

$$\text{Geri Çağırma} = \frac{DP}{DP+YN} \quad (3)$$

$$\text{F1-puanı} = \frac{2 \times (\text{Geri Çağırma} \times \text{Kesinlik})}{\text{Geri Çağırma} + \text{Kesinlik}} \quad (4)$$

Çizelge 3. Hata matrisi durumları

Tanım	Açıklama	Literatürdeki Karşılığı (ing)
<i>Doğru Pozitif (DP)</i>	Doğru olarak belirlenen pozitif tahmin sayısı	TP, True Positive
<i>Doğru Negatif (DN)</i>	Doğru olarak belirlenen negatif tahmin sayısı	TN, True Negative
<i>Yanlış Pozitif (YP)</i>	Yanlış olarak belirlenen pozitif tahmin sayısı	FP, False Positive
<i>Yanlış Negatif (YN)</i>	Yanlış olarak belirlenen negatif tahmin sayısı	FN, False Negative

3.1 Hiper Parametre Seçimi

Hiper parametre optimizasyonu için, her modelde optimal parametreleri seçmek üzere bir ızgara arama çapraz doğrulama gerçekleştirilmiştir. Her model, Python Scikit-Learn kitaplığı kullanılarak eğitilmiştir. Çizelge 4 ile listelenenler dışında çoğu hiper parametre varsayılan konfigürasyonda tutulmuştur.

Sınıflandırma yöntemlerinden ilk olarak Destek Vektör Sınıflandırıcısı algoritması seçilmiştir. Oluşturulan model üzerinde en büyük etkiye sahip olan parametreler ızgara araması ile bulunmuştur.

Doğrusal olmayan destek vektör makinesi algoritması kernel yöntemlerinden radyal tabanlı fonksiyon ve C=10000 parametre değerleri ile çalışılmış ve en yüksek başarı oranına ulaşılmıştır. Karar ağacı parametreleri; Gini Bilgi Kriteri, maksimum derinlik 3, ve karmaşıklık parametresi 0,0 olarak seçilmiştir. Aşırı Gradyan Arttırma algoritması; çoklu sınıf problemi olduğundan softmax, maksimum derinlik 5, öğrenme oranı (eta) 0,15 ile en yüksek başarı oranına ulaşılmıştır. Bu çalışmada önerilen derin öğrenme mimarisi Çizelge 4'te yer almaktadır.

Çizelge 4. Hiper-parametre seçimi

Yöntem	Hiper Parametreler	Açıklama
<i>Destek Vektör Sınıflandırıcı</i>	{'C': 10000, 'gamma': 0.0001, 'kernel': 'rbf'}	Izgara Arama
<i>Karar Ağaçları</i>	{max_depth=3, random_state=0}	Gini indeksi
<i>XGBoost</i>	{objective='multi:softmax', n_estimators=200, seed=123, max_depth=5, learning_rate=0.15, colsample_bytree=1, subsample=1}	Varsayılan ayarlar
<i>Derin Sinir Ağları</i>	1024, activation='relu', kernel_regularizer=regularizers.l2(0.001) 512, activation='relu', kernel_regularizer=regularizers.l2(0.001) 256, activation='relu', kernel_regularizer=regularizers.l2(0.001) 128, activation='softsign', kernel_regularizer=regularizers.l2(0.001)	Keras paketleri

4. Tartışma ve Sonuç

Gerçekleştirilen çalışmada; Li-Si- (Mn, Fe, Co)-O bileşikleri ile silikat katotların üç ana kristal yapı sistemini (monoklinik, ortorombik ve triklinik) belirlemek için çok çeşitli makine öğrenimi sınıflandırma yöntemleri başarıyla kullanılmıştır.

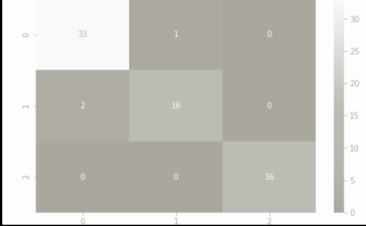
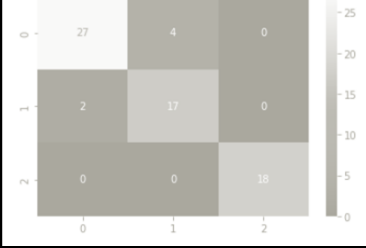
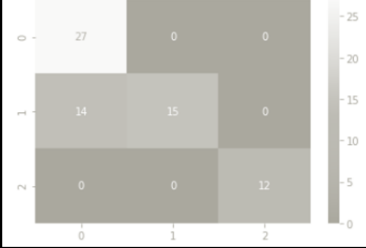

Shandiz ve Gauvin (2016), Materyal Projesi'nden alınan verileri sinir ağları, destek vektör makineleri, k-en yakın komşular, rastgele ormanlar ve aşırı derecede rastgele ağaçları yöntemlerinin optimizasyon parametrelerini değiştirerek etkilerini doğruluk ölçümü metriği kullanılarak gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada ölçüm sonuçları F-1 skoru kullanılarak hesaplanmıştır. Çalışmada

kullanılan yöntemlere ait sonuçlar karmaşıklık matrisi ile oluşturulmuştur (Çizelge 5).

Doğrulama aşamasında, k-katlı çapraz doğrulama (k-fold cross-validation) yöntemi uygulanmıştır. k=1 ve bölütleme değeri (fold) 10 olarak seçilmiştir. Her sınıflandırma yönteminin parametrelerinin optimizasyonunun, genel ortalama doğruluk üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu doğrulanmıştır.

Materyal Projesi'nde alınan veri seti 339 satırlık veri içerdiğinden makine öğrenimi modelleri oluşturmak için eğitim verilerinin yüzdesini artırmak, genel ortalama tahmin doğruluğunun sürekli olarak artışa neden olduğu gözlenmiştir.

Çizelge 5. Makine Öğrenimi Yöntemleri ile kristal sınıfının belirlenmesine dair kestirim sonuçları

Yöntem	XGBoost	Sınıf	Doğruluk	Kesinlik	Geri Çağırma	F-1 Puanı	F1 Puanı Sonucu (%)
	Monoklinik	0.955882	0.942857	0.970588	0.956522	95.6522	
	Ortorombik	0.955882	0.941176	0.888889	0.914286	91.4286	
	Triklinik	0.955882	0.941176	0.888889	0.914286	91.4286	
	Ortalama	0.955882	0.941737	0.916122	0.914286	92.8364	
Yöntem	Destek Vektör Sınıflandırıcı	Sınıf	Doğruluk	Kesinlik	Geri Çağırma	F-1 Puanı	F1 Puanı Sonucu (%)
	Monoklinik	0.911765	0.870968	0.931034	0.900000	90.0000	
	Ortorombik	0.911765	0.809524	0.894737	0.850000	85.0000	
	Triklinik	0.911765	0.818182	0.900000	0.857143	85.7143	
	Ortalama	0.911765	0.832891	0.908590	0.869048	86.9048	
Yöntem	Karar Ağacı	Sınıf	Doğruluk	Kesinlik	Geri Çağırma	F-1 Puanı	F1 Puanı Sonucu (%)
	Monoklinik	0.794118	1.000000	0.658537	0.794118	79.4118	
	Ortorombik	0.794118	1.000000	0.517241	0.681818	68.1818	
	Triklinik	0.794118	1.000000	0.461538	0.631579	63.1579	
	Ortalama	0.794118	1.000000	0.545772	0.702505	70.2505	
Yöntem	Derin Sinir Ağı	Sınıf	Doğruluk	Kesinlik	Geri Çağırma	F-1 Puanı	F1 Puanı Sonucu (%)
	Monoklinik	0.720588	0.758621	0.647059	0.698413	69.8413	
	Ortorombik	0.720588	0.708333	0.586207	0.641509	64.1509	
	Triklinik	0.720588	0.588235	0.454545	0.512821	51.2821	
	Ortalama	0.720588	0.685063	0.562604	0.617581	61.7581	

Aşırı Gradyan Arttırma ve Destek Vektör Sınıflandırıcı, kristal sistemlerin sınıflandırılması için diğer sınıflandırıcılar arasında en yüksek genel ortalama başarıma ulaşmıştır. Ayrıca, sınıfların bireysel olarak kestirilmesine dayanan değerlendirme de gerçekleştirilmiştir. Öznitelik önem değerlendirmesine bağlı olarak Aşırı Gradyan Arttırma yöntemi, kristal hacmi ve site sayısı, veri setindeki kristal sistem tipini belirlemek için en yüksek etkileri göstermiştir. Ancak, kristal sistemin belirlenmesi için silikat katotların oluşum enerjisi, gövde üzerindeki enerji ve bant aralığı gibi diğer özellikleri de dikkate alınarak hesaplanmaktadır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar, bilinen herhangi bir çıkar çatışması veya herhangi bir kurum/kuruluş ya da kişi ile ortak çıkar bulunmadığını onaylamaktadırlar.

5. Kaynaklar

- Askanazi, E.M., Yadav, S., Grinberg, I., 2021. Prediction of Curie temperatures of ferroelectric solid solutions using machine learning methods. *Computational Materials Science*, **2021 (199)**, 113-121.
- Bartel, C.J., Trewartha, A., Wang, Q., Dunn, A., Jain, A., Ceder, G., 2020. A critical examination of compound stability predictions from machine-learned formation

- energies, energies. *Npj Computational Materials*, **6(1)**,1067-1078.
- Chang, C.C., Lin, C.J., 2011. LIBSVM: A Library for Support Vector Machines, *Transactions on Intelligent Systems and Technology*, **2(3)**, 1-27.
- Chen, T., Guestrin, C., 2016. XGBoost: A Scalable Tree Boosting System. *Proceedings of the 22nd International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, **2016**, 785-794.
- Cubuk, E.D., Sendek, A.D., Reed, E.J., 2019. Screening billions of candidates for solid lithium-ion conductors: A transfer learning approach for small data. *The Journal of Chemical Physics*, **150(21)**, 214701-1 – 214701-7.
- Demirezen, M.U., Civrizoglu Buz, A., Yavanoglu, U, 2021. Time series- image transformation- based new approaches in detecting underwater objects with machine learning methods. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, **36(3)**, 1399-1415.
- Jadhav, S.D., Channe, H.P., 2016. Efficient recommendation system using decision tree classifier and collaborative filtering. *Int. Res. J. Eng. Technol.* 2016, **3(8)**, 2113-2118.
- Jain, A., Ong, S.P., et al., 2013. Commentary: The Materials Project: A materials genome approach to accelerating materials innovation. *APL Materials*, **1**, 011002-1-11.
- Jha, D., Ward, L., Paul, A., Liao, W., Choudhary, A., Wolverton, C., Agrawal, A., 2018. ElemNet: Deep Learning the Chemistry of Materials from Only Elemental Composition. *nature: scientificreports*, **8(1)**, 17593-1-13.
- Longo, R.C., Xiong, K., Santosh, K.C., 2013. Crystal structure and multicomponent effects in Tetrahedral Silicate Cathode Materials for Rechargeable Li-ion Batteries. *Electrochimica Acta*, **121(1)**, 434-442.
- Maphanga, R.R., Mokoena, T., Ratsoma, M., 2020. Estimating DFT calculated voltage using machine learning regression models. *Materials Today: Proceedings*, **38(2)**, 773- 778.
- Pan, S., Wang, Y., Yu, J., Yang, M., Zhang Y., Wei, H., Yuechao C., Wu, J., Han, J., Wang, C., Liu, X., 2021. Accelerated discovery of high performance Cu-Ni-Co-Si alloys through machine learning, *Materials & Design*, **209(2021)**, 109929-1-16.
- Park, C.W., Wolverton, C., 2020. Developing an improved crystal graph convolutional neural network framework for accelerated materials discovery. *American Physical Society-Physical Review Materials*, **4**, 063801-1-26.
- Ripley, B.D., 1996. Pattern Recognition and Neural Networks, Cambridge University Press, 143-181.
- Shandiz, M.A, Gauvin, R., 2016. Application of machine learning methods for the prediction of crystal system of cathode materials in lithium-ion batteries. *Computational Materials Science*, **117(2016)**: 270-278.
- Venables, W.N., Ripley, B.D., 2002. Modern Applied Statistics with S, fourth ed., Springer, 243-249.
- Yan, L.M, Su, J.M., Sun, C., Yue, B.H., 2014. Review of the first principles calculations and the design of cathode materials for Li-ion batteries. *Advances in Manufacturing*, **2**: 358-368.

İnternet kaynakları

- 1-[https://www.veribilimiokulu.com/xgboost-nasil-calisir/XGBoost\(eXtremeGradientBoosting\) \(18.04.2022\).](https://www.veribilimiokulu.com/xgboost-nasil-calisir/XGBoost(eXtremeGradientBoosting) (18.04.2022).)
- 2-[https://medium.com/@k.ulgen90/makine-ogrenimi-bolum-5-karar-agaclari \(18.04.2022\).](https://medium.com/@k.ulgen90/makine-ogrenimi-bolum-5-karar-agaclari (18.04.2022).)
- 3- [https://medium.com/deep-learning-turkiye/nedir-bu-destek-vektor-makineleri-makine-ogrenmesi-serisi-2 \(18.04.2022\).](https://medium.com/deep-learning-turkiye/nedir-bu-destek-vektor-makineleri-makine-ogrenmesi-serisi-2 (18.04.2022).)
- 4- [https://colab.research.google.com \(04.04.2022\).](https://colab.research.google.com (04.04.2022).)
- 5- [https://www.kaggle.com \(02.04.2022\).](https://www.kaggle.com (02.04.2022).)

Research and Analysis of Wireless Power Transfer Technology Based on Sustainable Energy

Mehmet Zahid EREL¹

¹ Ankara Yıldırım Beyazıt University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Energy Systems Engineering, Etlik, Ankara.

e-posta: mzerel@ybu.edu.tr. ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-1663-8394>

Geliş Tarihi: 31.05.2022

Kabul Tarihi: 24.07.2022

Abstract

Wireless power transfer (WPT) has been a topic of interest, especially in sustainable energy-based applications in recent years. The reason for this is the increase in the demand for energy originating from both social and political issues. Providing robust and flexible solutions without the need for wires, WPT technology in sustainable energy applications are thoroughly examined in this paper. The applications are categorized into two types as solar energy and wind energy. Herein, the inductive and microwave wireless charging technologies become prominent among other wireless charging technologies. The merits and demerits of WPT technology in sustainable energy applications are also evaluated in this paper. Besides, the design and analysis of inductive power transfer as promising technology are presented in solar energy applications. This paper is also expected to shed light on researchers who are interested in WPT technology based on sustainable energy.

Keywords

Wireless power transfer; Inductive power transfer; Solar energy; Wind energy

Sürdürülebilir Enerjiye Dayalı Kablosuz Güç Transferi Teknolojisinin Araştırma ve Analizi

Öz

Kablosuz güç aktarımı (WPT), özellikle son yıllarda sürdürülebilir enerji tabanlı uygulamalarda ilgi çeken bir konu olmuştur. Bunun nedeni hem sosyal hem de politik nedenlerden kaynaklanan enerji talebindeki artıştır. Kablolara ihtiyaç duymadan sağlam ve esnek çözümler sunan WPT teknolojisi, bu makale kapsamında sürdürülebilir enerji uygulamalarında kapsamlı bir şekilde incelenmektedir. Uygulamalar güneş enerjisi ve rüzgâr enerjisi olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Burada, diğer kablosuz şarj teknolojileri arasında endüktif ve mikrodalga kablosuz şarj teknolojileri öne çıkmaktadır. WPT teknolojisinin sürdürülebilir enerji uygulamalarında yararları ve zararları da bu makalede değerlendirilmektedir. Ayrıca, güneş enerjisi uygulamalarında gelecek vaat eden bir teknoloji olarak endüktif güç transferinin tasarımı ve analizi sunulmaktadır. Bu makalenin aynı zamanda sürdürülebilir enerjiye dayalı WPT teknolojisi ile ilgilenen araştırmacılara ışık tutması beklenmektedir.

Anahtar kelimeler

Kablosuz güç transferi; Endüktif güç transferi; Güneş enerjisi; Rüzgâr enerjisi

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Introduction

The utilization of sustainable energy sources has become more significant in the last decades. The reduced fossil fuel sources and climate changes are one of the most critical concerns needed to be addressed in modern times. Thus, many attempts are available to reduce greenhouse emissions and the usage of fossil fuels. Among them, wireless power transfer technology has drawn attention.

There are many critical issues resulting from the traditional wired power transfer technology, such as safety and feasibility (Abou *et al.* 2018). Considering safety issues, arcs or sparks can occur in bad weather conditions and moving environments. This results in a reduced life span and serious safety events.

Some limitations affect the performance of biomedical applications like potential infection, implant size, and amount of transferred power in conventional wired technologies. With all these

problems, WPT technology is put forward to transfer power wirelessly. Thus, WPT technology has more preferred in biomedical applications, underwater, electric vehicles, and high-voltage applications in replace of inconvenient, expensive, and hazardous counterparts.

WPT technology categorizes depending on the transfer distance, namely far-field and near-field technologies. While far-field technology utilizes radiative energy, near-field technology uses non-radiative energy. Far-field WPT is typically preferred in optical power transfer and microwave power transfer applications. Near-field WPT is generally used in inductive and capacitive power transfer applications.

In a nutshell, the investigation has been conducted for the WPT on sustainable energy. The paper is organized as follows. Section 2 presents the history of WPT. The working principle of WPT has been discussed in Section 3. Section 4 includes the sustainable energy-based WPT applications. Section 5 defines the merits and demerits of these applications. Section 6 introduces the proposed solar energy-based IPT system. Finally, a conclusion and discussion are drawn in Section 7.

2. History of Wireless Power Transfer Technology

The history of WPT dates back to experiments carried out by Nikola Tesla in the nineteenth century. However, J. C. Maxwell inspired Tesla by using electricity and magnetism to transport energy via electromagnetic waves. Tesla conducted a series of experimental studies on WPT technology. He first put forward wirelessly powered light bulbs in 1893. Then, Nikola Tesla built Tesla Tower in 1900 (Marincic 1982). One of his experiments based on the WPT is depicted in Figure 1 (Tesla and White 1999). Within the concept of Tesla's study, the primary and secondary resonant circuits are built to maximize the power transfer using an alternating magnetic field. H. V. Noble achieved the first wireless microwave power transfer experiment at a distance of 5 mm in the 1930s (Visser 2017). John Schuler conducted a series of experiments in biomedical applications using WPT technology (Schuler 1961). Brown et al. (1966) studied

unmanned aerial vehicles based on microwave WPT technology. Then Peter Glaser put forward the solar power satellite concept (Glaser 1968). Auckland University examined WPT in terms of IPT technology in the 1990s (Boys and Covic 2015). Kurs et al. (2007) from MIT published a study, which covers 60-W wireless power transfer with a transfer distance of 2 m using inductive technology. A myriad of studies since then have been put forward on WPT concept.

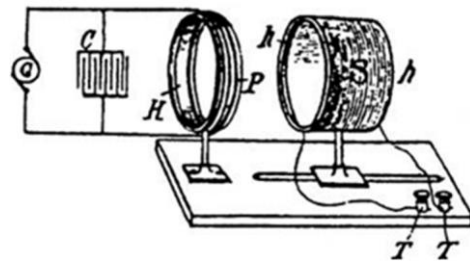


Figure 1. Tesla's WPT prototype.

3. Working Principle of WPT Technology

A general scheme of a WPT system is demonstrated in Figure 2. It consists of primary and secondary sides. While the primary side includes an inverter, primary compensation network, and a transmitter device such as a coil, metal plate, antenna, and light source, the secondary side comprises a receiver device like coil, metal plate, rectenna, and solar cell together with secondary compensation network, rectifier and a DC load (Rim and Mi 2017). Herein, the inverter and rectifier topologies are easily operated in high-frequency in WPT technologies through an air medium. The converter topologies are typically selected by the power level. The class E amplifier structure is usually preferred in both inverter and rectifier topologies whereas the full-bridge inverter and rectifier topologies are typically preferred in high power applications. The compensation networks play a key role in the performance of the WPT system. They are typically formed with LC circuits to provide a higher power factor, lower harmonic components, and lower electromagnetic interference (EMI). The transmitter and receiver devices are designed so that they can efficiently transfer power.

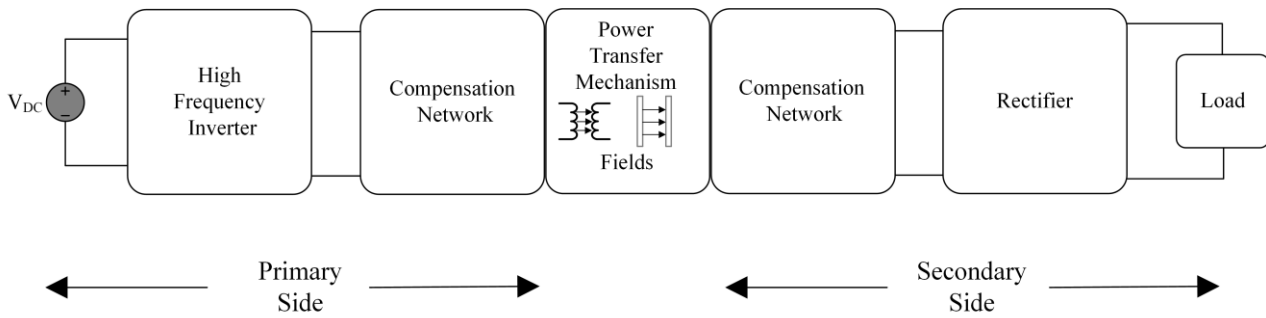


Figure 2. The typical configuration of a WPT system.

Considering the design of coil and metal plates, the mutual coupling term ought to be maximized for given dimensions.

Transfer medium also plays a critical role in the WPT system. Although air is the most utilized medium in many WPT-based applications, water is also used as a medium in underwater wireless charging applications. The dynamic nature of the seawater or ocean can result in variable coupling. For this reason, the misalignment issues are taken into account to provide higher efficiency.

4. Sustainable Energy-based WPT Applications

Wireless power transfer technology is evaluated in the sustainable energy concept under two main topics. The former is solar energy-based WPT applications. The latter is wind energy-based WPT applications.

4.1 Solar energy-based WPT applications

Solar energy-based WPT applications typically utilize microwave power transfer and inductive power transfer technologies. Wang et al. (2022) have drawn attention to laser charging for solar-based WPT applications. While far-field WPT applications use microwave power transfer technology, near-field WPT applications utilize inductive power transfer technology. A satellite solar power station (SSPS) collects solar power via satellites and transfers it to the ground wirelessly by using microwaves (Brown and Eves 1992).

Peter Glaser has been a pioneer of the SSPS concept, then many models were put forward mainly in the USA, Japan, and Europe. Different models are proposed in the SSPS concept. A 5-GW SSPS model

was suggested in 1979 by NASA (National Aeronautics and Space Administration) and DOE

(Department of Energy) (Chaudhary and Kumar 2018). In Japan, the JAXA (Japan Aerospace Exploration Agency) and Institute for Unmanned Space Experiment Free Flyer (USEF) are prominent in the SSPS concept (Shinohara 2013). For example, JAXA proposed a 1-GW SSPS model by utilizing microwave transmission at the frequency of 5.8-GHz in 2001.

Chhawchharia et al. (2018) examined solar energy-based WPT technologies, which use inductive power transfer technology. Fareq et al. (2014) proposed a small-scale WPT design using solar energy to transfer power up to 10 cm wirelessly. Zambari et al. (2013) studied solar energy harvesting using inductive power transfer technology to supply wireless power for home appliances. Ojha et al. (2017) evaluated solar-based inductive power transfer technology and highlight the components, such as solar panels, rechargeable batteries, boost circuit topology, and load.

4.2 Wind energy-based WPT applications

Wind energy-based WPT applications typically cover contactless slip rings in wind turbines. Ludois et al. (2012) proposed contactless slip rings instead of mechanical slip rings using wireless capacitive power transfer technology. Ludois has been a pioneer in this field using capacitive power transfer technology. Rezaei et al. (2012) suggested a contactless slip ring to control the pitch angle of the wind turbine using IPT technology. Lohote et al. (2021) discuss wind and solar energy-based hybrid system in IPT technology. Besides the onshore wind energy-based WPT applications, wireless charging solutions are suggested for offshore wind service vessels using IPT technology (Nilsen 2021).

5. Merits and Demerits of Sustainable Energy-based WPT Applications

The advantages and disadvantages of sustainable energy-based WPT applications are presented in this section.

5.1 Merits

- Wireless power transfer technology provides lower cost, higher reliability, and more secure solution along with renewable energy sources.
- Sustainable energy-based WPT technology may decrease the global energy crisis and also lessen the emissions of greenhouse gases.
- Glaser et al. (1998) mentioned that the SSPS concept can ensure 24-h energy among other renewable energy sources. Thus it can be regarded as a sustainable energy source.
- The SSPS provides unobstructed and intact solar irradiance due to its space concept (Chaudhary and Kumar 2018).
- Sustainable energy-based microwave power transfer applications are highly environmentally friendly. They do not include emissions of carbon gases (Maqsood and Nasir 2013)
- Thanks to the integration of sustainable energy-based WPT technology, the electricity bills could be cut to very low.

5.2 Demerits

- Due to the high-frequency microwave signals associated with wireless charging, biological problems can come about in this concept.
- The wireless communication system can be affected by the interference of microwaves.
- The SSPS concept has a high capital cost and high antenna size (Chaudhary and Kumar 2018).
- The SSPS has lower efficiency due to its high transfer distance.
- The solar energy-based WPT technology can only supply power in the daytime.
- The solar energy-based WPT technology needs regular maintenance with the solar panel. Moreover, pollution can cause lower efficiency and decreased power levels.

6. Design and Analysis of Solar Energy-based Inductive Power Transfer System

6.1 Design

Figure 3 represents the solar energy-based IPT system. Solar energy is converted to electrical energy to feed the inverter circuit. The primary compensation network is used to increase the voltage for the resonant circuits. The coils are utilized to form the WPT mechanism. The secondary compensation network is used to decrease the voltage. At last, the rectifier circuit is used to provide the regulated dc voltage for the load. A single PV cell is represented in Figure 4.

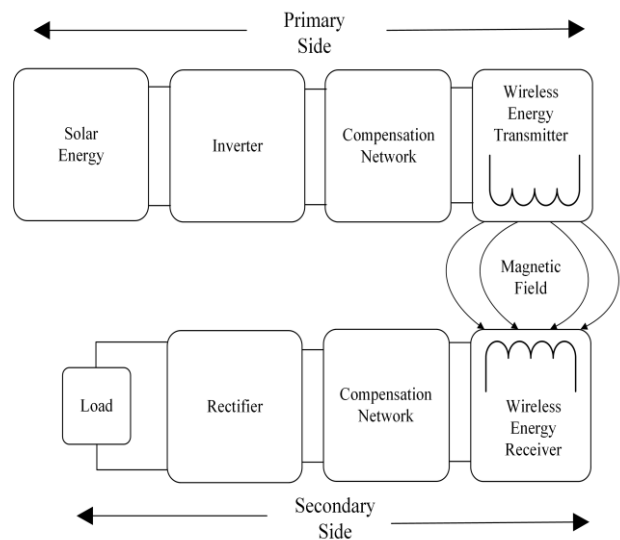


Figure 3. Solar energy-based IPT system.

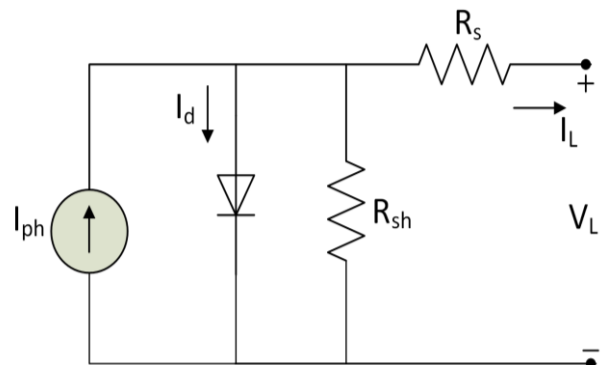


Figure 4. Circuit scheme of a PV cell.

According to the equivalent circuit of a PV cell, the shunt current is obtained by ohm's law:

$$I_{R_{sh}} = \frac{V + IR_s}{R_{sh}} \quad (1)$$

The diode current is represented by the shockley diode equation:

$$I_d = I_0 \left(e^{\frac{q(V + IR_s)}{akT}} - 1 \right) \quad (2)$$

The load current is obtained using Kirchoff current law (KCL):

$$I_L = I_{ph} - I_d - I_{R_{sh}} \quad (3)$$

$$I_L = I_{ph} - I_0 \left(e^{\frac{q(V + IR_s)}{akT}} - 1 \right) - \left(\frac{V + IR_s}{R_{sh}} \right) \quad (4)$$

The terms q and α represent elementary charge and diode ideality factor, respectively. The open-circuit voltage of the PV cell is represented as given below (Anand and Kannan 2014).

$$V_{oc} \cong \frac{akT}{q} \ln \left(\frac{I_L}{I_0} + 1 \right) \quad (5)$$

4 Trina solar modules (TSM-290 PA14) are used to obtain DC electricity for the IPT system (Amazon, 2022). Thus, a 500-W IPT system at 40 kHz with a quality factor of 4 is designed as given below (Aditya 2016).

$$R_L = \frac{V_{Srms}^2}{P_{out}} \quad (6)$$

$$L_S = \frac{Q_S R_L}{\omega_0} \quad (7)$$

$$I_{Srms} = \frac{V_{Srms}}{R_L} \quad (8)$$

$$I_{Prms} = \frac{P_{out}}{V_{Prms}} \quad (9)$$

$$M = \frac{I_{Srms} R_L}{I_{Prms} \omega_0} \quad (10)$$

$$k < \frac{1}{Q_S} \sqrt{1 - \frac{1}{4Q_S^2}} \quad (11)$$

$$L_P = \frac{M^2}{L_S k^2} \quad (12)$$

$$C_{P,S} = \frac{1}{\omega_0^2 L_{S,P}} \quad (13)$$

Table 1. Design parameters of a solar energy-based IPT system.

Parameter	Definition	Value
V_{oc}	Open circuit voltage	44.90 V
I_{sc}	Short circuit current	8.53 A
V_{mpp}	Maximum power voltage	36.10 V
V_{dc}	Input voltage with modules	120 V
V_{out}	Output voltage	48 V
R_L	Load resistance	4.61 ohm
L_S	Secondary inductance	73.33 uH
M	Mutual inductance	46 uH
k	Coupling coefficient	0.2
L_P	Primary inductance	721.39 uH
C_P	Primary capacitance	21.95 nF
C_S	Secondary capacitance	215.89 nF

6.2 Analysis

The solar energy-based IPT system is simulated using Plexim/Plecs software. Figure 5 depicts the I-V and P-V characteristics of the proposed module. Figure 6 to 8 also represent inverter characteristics.

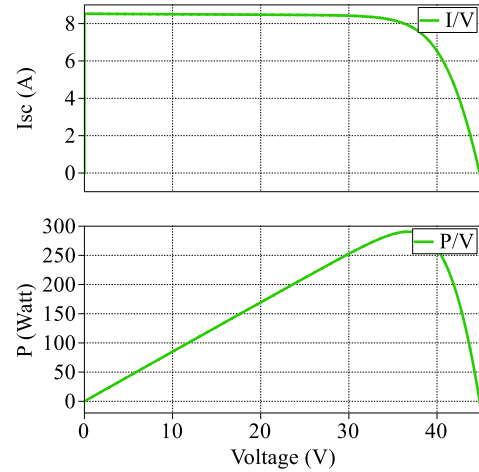


Figure 5. I-V and P-V characteristics of the TSM-290 PA14.

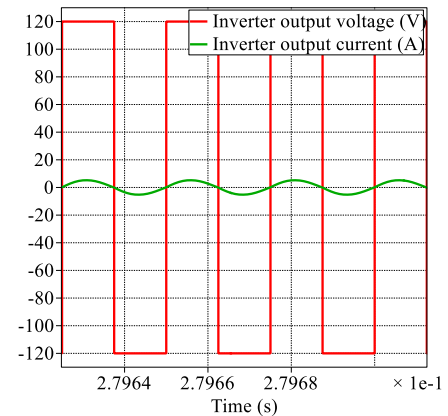


Figure 6. Inverter output voltage and current waveforms.

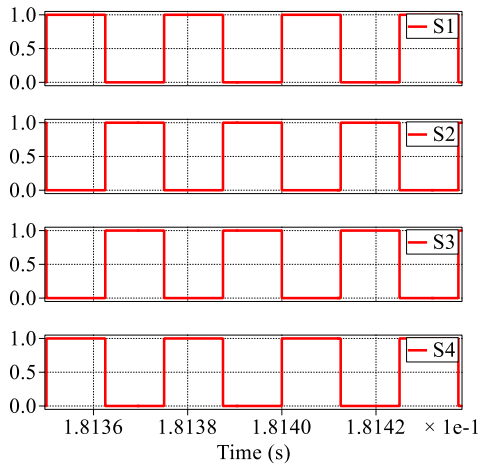


Figure 7. Switching signals of the inverter.

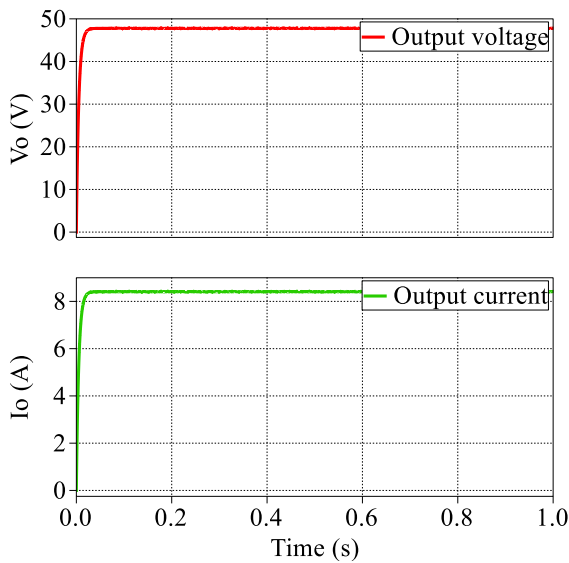


Figure 8. Output voltage and current waveforms.

Each TSM module gives a maximum of 36 V depending on its datasheet. The average value of each module is selected to be 30 V. Hence, four-module provide 120 V dc voltage for the proposed IPT system. The full-bridge topology is used for both inverter and passive rectifier circuits in this solar energy-based IPT system. The obtained results show that PV characteristics are demonstrated successfully. The resonance condition is achieved at the required frequency using a series-series compensation network. Besides, the filter capacitor is utilized to decrease the ripple voltage.

7. Conclusion and Discussion

Wireless power transfer (WPT) technology has drawn attention to sustainable energy-based applications. In this paper, the WPT technology is

evaluated in solar energy and wind energy-based applications. Along with the basic working principles of WPT technology, the main advantages and disadvantages of sustainable energy-based WPT applications are also presented. Furthermore, a 500-W solar energy-based inductive power transfer (IPT) system is designed and simulated in the paper. According to the results, a highly effective resonance condition is achieved in the proposed system. Besides, solar energy-based IPT applications stand out among others. While microwave power transfer technology is typically utilized in the satellite solar power station (SSPS) concept, IPT technology is generally used in consumer electronics applications. On the other hand, capacitive and inductive charging technologies are typically preferred in wind energy applications compared to other wireless charging technologies. The most notable advantages of sustainable energy based WPT applications are lower cost, reduced greenhouse gas emissions, and higher reliability. As a suggestion, capacitive power transfer technology can be adapted to solar energy-based WPT applications due to its specific advantages.

8. References

Abou Houran, M., Yang, X., and Chen, W., 2018. Magnetically coupled resonance WPT: Review of compensation topologies, resonator structures with misalignment, and EMI diagnostics. *Electronics*, **7**, 296.

Aditya, K., 2016. Design and implementation of an inductive power transfer system for wireless charging of future electric transportation. PhD. Thesis, University of Ontario Institute of Technology, Canada, 190.

Anand, M. and Kannan, Y. R., 2014. Wireless power transfer by incorporation of solar energy. *International Journal of Recent Development in Engineering and Technology*, **3**, 85-91.

Boys, J. T. and Covic, G. A., 2015. The inductive power transfer story at the University of Auckland. *IEEE Circuits and Systems Magazine*, **15**, 6-27.

Brown, W., Mims, J., and Heenan, N., 1966. An experimental microwave-powered helicopter. In 1958 IRE International Convention Record, **13**, 225-235.

- Brown, W. C. and Eves, E. E., 1992. Beamed microwave power transmission and its application to space. *IEEE transactions on Microwave Theory and Techniques*, **40**, 1239-1250.
- Chaudhary, K. and Kumar, D., 2018. Satellite solar wireless power transfer for baseload ground supply: clean energy for the future. *European Journal of Futures Research*, **6**, 1-9.
- Chhawchharia, S., Sahoo, S. K., Balamurugan, M., Sukchai, S., and Yanine, F., 2018. Investigation of wireless power transfer applications with a focus on renewable energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **91**, 888-902.
- Fareq, M., Fitra, M., Irwanto, M., Syafruddin, H. S., Gomesh, N., Rozailan, M., and Zarinatul, J., 2014. Wireless Power Transfer by Using Solar Energy. *Telkomnika*, **12**, 519.
- Glaser, P. E., Davidson, F. P., and Csigi, K. I., 1998. Solar power satellites: a space energy system for Earth; **2**.
- Glaser, P. E., 1968. Power from the sun: Its future. *Science*, **162**, 857-861.
- Kurs, A., Karalis, A., Moffatt, R., Joannopoulos, J. D., Fisher, P., and Soljacic, M., 2007. Wireless power transfer via strongly coupled magnetic resonances. *science*, **317**, 83-86.
- Lohote, G., Patil, P., Palwe, R., Pawar, S., Sathe, V., Jadhav, R., and Akkalwad, M., 2021. Systematic Design and Analysis of Wireless Power Transmission and Energy Distribution. Available at SSRN 3920218.
- Ludois, D. C., Reed, J. K., and Hanson, K., 2012. Capacitive power transfer for rotor field current in synchronous machines. *IEEE Transactions on Power Electronics*, **27**, 4638-4645.
- Maqsood, M., and Nasir, M. N., 2013. Wireless electricity (Power) transmission using solar based power satellite technology. In *Journal of Physics: Conference Series*, **439**, 012046
- Marincic, A. S., 1982. Nikola tesla and the wireless transmission of energy. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, **10**, 4064-4068.
- Nilsen, H. F., 2021. Wireless charging of offshore wind service vessels, Master's thesis, UiT Norges arktiske universitet, 37.
- Ojha, Shraddha, Tanuja Panda, Shweta Parab, and Jyoti Dange, 2017. Renewable Energy Based Wireless Power Transfer. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, **5**.
- Rezaei, F., Esmaeili, S., Rezaei Estakhrouieh, M., and Hu, A., 2012. Application of Wireless Power Transfer in Pitch Angle Control in Wind Turbines.
- Rim, C. T., & Mi, C., 2017. Wireless power transfer for electric vehicles and mobile devices. John Wiley & Sons, 19-43.
- Schuler, J. C., 1961. High-level electromagnetic energy transfer through a closed chest wall. IRE International Convention Record, **9**, 119-126.
- Shinohara, N., 2013. Beam control technologies with a high-efficiency phased array for microwave power transmission in Japan. *Proceedings of the IEEE*, **101**, 1448-1463.
- Tesla, N., & White, W. H., 1999. High frequency oscillators for electro-therapeutic and other purposes. *Proceedings of the IEEE*, **87**, 1282.
- Visser, H. J., 2017. A brief history of radiative wireless power transfer. In 2017 11th European Conference on Antennas and Propagation (EUCAP) IEEE. 327-330.
- Wang, C., Li, G., Ali, I., Zhang, H., Tian, H., and Lu, J., 2022. The Management of Energy Transformation through Laser Charging in WPT for 5G Application: Prediction Model of the In0. 3Ga0. 7As Solar Cell. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2022.
- Zambari, I. F., Hui, C. Y., and Mohamed, R., 2013. Development of wireless energy transfer module for solar energy harvesting. *Procedia Technology*, **11**, 882-894.

Web references

1-<https://www.amazon.ca/Trina-Solar-290W-Poly-Panel-TSM-290/dp/B01N7WMWHM> (February 2022)

Escherichia coli Disinfection with Ag⁺ in the Recycled Flow Ultrasonic Reactor

Fadime KARAER ÖZMEN¹

¹ Eskişehir Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Eskişehir.

e-posta: fadimek@eskisehir.edu.tr ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-4423-205X>

Geliş Tarihi: 02.06.2022

Kabul Tarihi: 07.08.2022

Abstract

After the recent pandemic process, disinfection/sterilization methods used for the control of infectious diseases have gained even more importance. The alternative disinfection studies like ultrasound (US) have been developing due to the various shortcomings of microbial inactivation processes such as chlorine application, ozone and ultraviolet radiation, which are widely applied for the prevention of epidemic diseases caused by pathogenic microorganisms. Within the scope of this study, disinfection treatments were carried out in recycled flow ultrasonic reactors operated at 22kHz, 36kHz and 833kHz ultrasonic frequencies using *Escherichia coli* bacteria indicated fecal contamination in the water sources. In this article, the combined usage of silver ions (0.1mM, 0.01 mM and 0.005 mM Ag⁺) and US (22 kHz, 36 kHz and 833 kHz ultrasonic frequencies) were mainly investigated using initial *Escherichia coli* bacteria concentration of 1x10⁴ CFU/mL. As a result of the study, *Escherichia coli* was inactivated obtaining 4-log reduction with 22 kHz ultrasonic frequency with the minimum Ag⁺ concentrations. To conclude, the disinfection was effectively achieved with US and Ag⁺ methods, and higher *Escherichia coli* inactivation rate were obtained in US-Ag⁺ dual processes with faster decontamination time and lower Ag⁺ concentration due to their synergistic effects.

Keywords

Disinfection;
Escherichia coli;
Ultrasound;
Silver ion;
Recycled flow

Geri Döngü Akışlı Ultrasonik Reaktörde Ag⁺ ile *Escherichia coli* Dezenfeksiyonu

Öz

Son zamanlarda yaşanan pandemi sürecinin ardından bulaşıcı hastalıkların kontrolü için kullanılan dezenfeksiyon/sterilizasyon yöntemleri daha da önem kazanmıştır. Patojenik mikroorganizmaların neden olduğu salgın hastalıkların önlenmesinde sıklıkla kullanılan klor uygulamaları, ozon ve ultraviyole gibi mikrobiyal inaktivasyon süreçlerinin sahip olduğu olumsuz etkiler nedeniyle ultrases (US) gibi yeni dezenfeksiyon yöntemleri geliştirilmektedir. Bu çalışma kapsamında 22kHz, 36kHz ve 833kHz ultrasonik frekanslarda çalıştırılan geri döngülü akışlı ultrasonik reaktörlerde su kaynaklarında fekal kontaminasyon varlığını işaret eden *Escherichia coli* bakterisi kullanılarak dezenfeksiyon işlemleri gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada esas olarak, gümüş iyonlarının (Ag⁺) (0.1 mM, 0.01 mM ve 0.005 mM Ag⁺) US ile (22 kHz, 36 kHz ve 833 kHz ultrasonik frekanslar) hibrit kullanımı 1x10⁴ CFU/mL başlangıç *Escherichia coli* bakteri konsantrasyonu kullanılarak araştırılmıştır. Çalışma sonucunda *Escherichia coli* minimum Ag⁺ konsantrasyonunda ve 22 kHz ultrasonik frekansta 4-log giderim verimi elde edilerek inaktive edilmiştir. Sonuç olarak, US ve Ag⁺ yöntemleriyle dezenfeksiyon etkili bir şekilde sağlanmış ve US-Ag⁺ ikili proseslerinde, sinerjik etkileri nedeniyle daha hızlı dekontaminasyon süresi ve daha düşük Ag⁺ konsantrasyonu ile daha fazla *Escherichia coli* inaktivasyon oranı elde edilmiştir.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

Anahtar kelimeler

Dezenfeksiyon;
Escherichia coli;
Ultrases;
Gümüş iyonu;
Geri döngülü akış

1. Introduction

Microorganisms can be defined with the simplest approach as microscopic organisms ranging in size from 1 to 100 µm. It is known that the presence of

disease-causing (pathogenic) bacteria and viruses in waters attitudes an important health risk. Microbial diseases such as typhoid, cholera and viral hepatitis cause thousands of people to get sick or die every

year. The disinfection studies applied to prevent infectious diseases have been increasing recently. For instance, the number of studies on inactivation such as chlorination, ozonation, and UV irradiation, which are widely applied to prevent epidemic diseases caused by pathogenic microorganisms, and alternative hybrid and sequential inactivation technologies have gained importance in water supply (Spellman 1999). The major parameters for the determination of disinfection alternatives; effectiveness, cost, feasibility, bench-scale treatment prerequisite and lateral effects. The effectiveness of the disinfection method is to ensure that the selected microorganisms are inhibited at the target and reliable level (Singer 1994). The sterilization chemicals used in the water are chlorine compounds like gas form (Cl₂) and salt forms ([Ca(OCl)₂] and (NaOCl), and dioxide forms (ClO₂). Another disinfectant used is ozone due to its strong disinfection effect even at low concentrations (Al-Hamzaha *et al.* 2019). Along with these, hydrogen peroxide and ammonium quaternary salts are also used for this purpose (Bláhová *et al.* 2021). The most important variable in the chemical sterilization process listed above is the contact time according to Chick Law, which is frequently used as the simplest model for microbial inactivation (Manoli *et al.* 2019). The effectiveness of disinfectants is also affected by the types of microorganisms. For example, growing bacteria can be easily killed, while the bacterial spores are very resistant to chemical disinfectants. Therefore, other disinfection methods are preferred for these types of resistant microorganisms. The emerging ultrasonic sterilization applications are promising for these resistant microbes (Li *et al.* 2019).

Ultrasound is formed as a result of vibrations created by molecules in an environment during their movements. The ultrasound waves are longitudinal waves with frequencies above the audible order (>16-18 kHz) obtained by applying an alternating electric field to a crystalline surfaces like quartz (Mason 1990). In this way, it is possible to obtain ultrasonic frequencies as high as 6×10^8 Hz equal to 600 MHz. Ultrasonic application can be divided into low- frequency and high-frequency ultrasound. High-frequency ultrasound waves in the 2- 10 MHz

range are used in the field of health due to their low energies. Low-frequency ultrasound, which is described in the 20-1000 kHz wave range, attracts wide attention and finds application in various fields such as chemical, physical and environmental applications (Leighton 2007). When ultrasound waves hit the surface of a liquid medium, the molecules in the liquid creates micro-sized bubbles via the vapor of the liquid or the air in the environment by making vibration, rotation and pushing movements. These bubbles are called as cavitations, and these cavitations can tend to fade as temporary cavitations or stable cavitations. The damping of temporary cavitations is called collapse and releases the energy trapped inside the cavitations. In ultrasonic disinfection systems; there is a need the formation of temporary cavitations instead of stable cavitations since the energy created as a result of collapses is used for microbial cell damage (Mason *et al.* 2003). If the external pressure is high, cavitations are difficult, but collapses occur easily and are more severe. These events are local and instantaneous, and the period of cavitations is 10^{-8} seconds. This creates high local temperature and pressure, which can rupture bacteria cells and destroy their enzymes. The rapidly immersing bubbles also produce high shear forces and liquid jets in the water, which similarly have adequate sonic-intensity to physically detriment their wall or membrane (Leighton 1998). Also, chemical disinfection occurs with the formation of radicals (H⁺ and OH⁻) during cavitation in water environments. These radicals disrupt the microbial cell and deteriorate the cell wall. The final hydrogen peroxide, which is a strong disinfectant, was produced sono-chemically (Ziembowicz *et al.* 2018). Sonication provides a powerful disinfection, but it is required high ultrasonic intensity to achieve 100% inactivation using ultrasound alone. This can make the technique costly to use in large-scale microbial decontamination (Khaire *et al.* 2022). Joyce *et al.* (2003) studied about the *Bacillus subtilis* inactivation with sonication and investigated the outcome of sonic frequency and practical power on the US microbial inactivation obtaining the the highest bacterial inactivation ratio with ultrasonic frequencies of 20 and 38 kHz. However, the use of

hybrid systems with ultrasound in decontamination in addition to other techniques such as chlorination, UV and metal ions, can also reduce the cost of ultrasound lowering disadvantages of listed conventional disinfection methods. Sonication including hybrid and consecutive applications were more preferred in the previous study (Gogate 2007). Phull *et al.* (1997) determined the effect of sonication on microorganism removal from water. They reported that sonication and chlorination had a more efficient bacterial inactivation, and using their hybrid application reduced the required amount of chlorate and achieved the same inactivation efficiency. The researches indicate that enhancing more microbial utilization need more intensity (Joyce *et al.* 2003) and so, the investigations on ultrasonic dual and trial processes reduce the cost of energy and chemical requirements (Chon *et al.* 2012). Recent researches focus on the sonication combined with other treatments methods such as chlorine compound, UV, O₃, H₂O₂, in order to use their synergistic features (Ibarluzea *et al.* 1998, Naddeo *et al.* 2009, Jyoti and Pandit 2004, . Giannakis *et al.* 2015). Metal ions can be used for microbial inactivation with high cidal effectiveness. As alternative disinfection technology to conventional water disinfection methods, Cu, Ag, Ti, and Co are the most preferred to disinfect the pathogens (Akhavan, and Ghaderi 2010). These metals are effective for the numerous pathogens even if they are applied with lower than 1-ppm concentration due to their oligodynamic characters (Basri *et al.* 2011). Silver ion (Ag⁺) inactivates numerous species varying from coliforms to Gram (+) and Gram (-) bacteria, human enteric viruses and yeasts (Van Aken, and L. S. Lin 2011, Agnihotri *et al.* 2013, Qu *et al.* 2013). Nawaz *et al.* (2012) carried out disinfection with 0.01-0.1 mg/L Ag⁺ concentrations for *Escherichia coli* and *P. aeruginosa*, which are frequently encountered in rainwater. They achieved a 95-99% reduction after 10-14 hours for *P. aeruginosa*, and a 95-99% reduction after 8-24 hours for *E. coli*. They observed re-growth at the end of 168 hours at silver concentrations lower than 0.04 mg/L for both bacterial strains. For this reason, they emphasized that Ag⁺ concentration should be applied above this

value for bactericidal effect. Furthermore, antimicrobial materials produced with Ag nanoparticles needing advance technology have attracted consideration of most researchers because they have minor Ag⁺ amount like 1-2%. Shihang *et al* (2013) conducted a study on the disinfection of drinking water with Ag nanoparticle alginate alloy beads, and they achieved 5 log removal by performing *Escherichia coli* disinfection in 1-minute hydraulic holding time by producing three different alginate beads at different silver concentrations. Brugnera *et al* (2014) conducted a study on the application of photocatalytic disinfection with electrodes formed from TiO₂ nanotubes doped with 0.05 M AgNO₃. In their article, they achieved a 99.6% reduction after 3 minutes for *M. smgntis*. Consequently, these goods preserve their long time- microbial reduction effects continually and economically with decreasing ecological risks (Gross *et al.* 2012). Ag⁺ which has strong bacterial inactivation efficiency at short disinfection period is trained with other disinfection methods, particularly TiO₂ or ZnO (Hoang *et al.* 2015) to decrease Ag⁺ refraining health risks of its usages.

When the studies on disinfection with US and Ag⁺ were examined in the literature, it was clearly seen that hybrid inactivation processes were preferred in order to eliminate the disadvantages listed above for both disinfection methods. However, there was unique article in which these two methods were used together (Ozmen and Koparal 2021). The necessity of determining the synergistic effect of these methods has occurred on different species as indicator microorganisms can be found in the environment. For these reasons, in this article, it was aimed to examine the disinfection of *Escherichia coli* bacteria with single and hybrid methods with US and Ag⁺ in the recycled flow ultrasonic reactor.

2. Material ve Methods

The experimental details were explained in this section.

2.1 Bacteriological Experiments

In this article, which the inactivation productivities of ultrasound (US), silver ion (Ag⁺) and synergistic usage (US+Ag⁺) of these techniques were investigated for water treatment, and Gram (-) *Escherichia coli* bacteria were used to perform disinfection experiments. The total volume of 100 mL was used as working solution with 1x10⁴ CFU/mL of *Escherichia coli* for obtaining disinfection efficiency. The microbial studies were completed in sterile cabinet (Thermo Hereous KSP-18 Class II) and all equipment have been decontaminated with in the autoclave (Nuve 40). The treatment setup was illustrated in the Figure 1.



Figure 1. Treatment setup

The aliquots were diluted, and then, they inoculated plate count agar media (PCA, Merck) to determine the amount of bacteria cell. After injection of the samples, the plates were incubated at 37 °C in incubator (Innova-42 Shaker Series) with 18-24 hour. After the cultivation, the bacterial colonies rising in the outward of plate were calculated as the average bacteria concentration of each three disinfection treatments.

2.2 Bacterial Disinfection Experiments

US inactivation experiments were achieved in reactors with 22 kHz, 36 kHz, and 833 sonic frequencies respectively. The RF power amplifier (Electronics -Innovation, 1140LA) was used with 95 W power applied with sole station random function generator (Tektronix AFG3021 B). Disinfection process was carried in the recycled flow ultrasonic reactor operated with 75 ml/min

flowrate. The temperatures of reactors were established at room temperature during the experiment with external cooler system to avoid heat effect of ultrasound. The treatment scheme was given in the Figure 2.

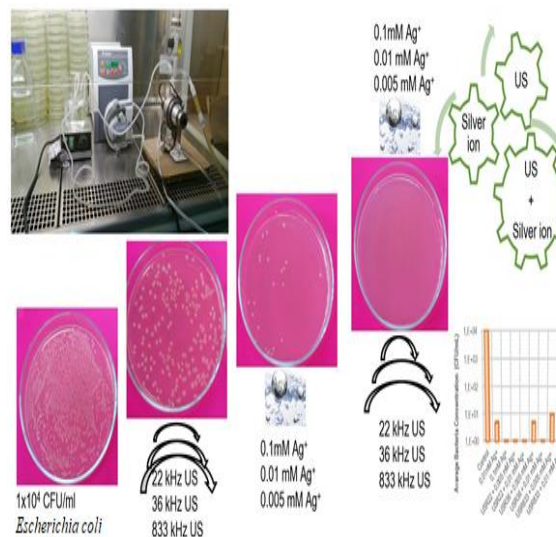


Figure 2. Figure 2 Treatment scheme for *Escherichia coli* disinfection with (US) and (Ag⁺) and (US+Ag⁺) hybrid application

The inactivation experiment achieved with Ag⁺ whose concentrations were restricted with respect to water and health guidelines of Ag⁺, the effect of Ag⁺ concentration on bacterial inactivation was examined with 0.1mM, 0.01 mM and 0.005 mM Ag⁺ concentration. Their primary standard solutions with 0.5 mM, 1 mM and 10 mM Ag⁺ concentration was newly set in polypropylene volumetric flasks. The desired concentrations of Ag⁺ were attuned transferring 1 mL volumes from primary standard solutions to the working solution. The synergistic experiments were carried out with three ultrasonic reactors with addition of 0.1mM, 0.01 mM and 0.005 mM Ag⁺. Throughout the experiments, the aliquots were collected from the system with desired time intervals.

3. Results and Discussions

The outcome of US inactivation in USR22, USR36 and USR833 in the recycled flow ultrasonic reactor was shown in Figure 3.

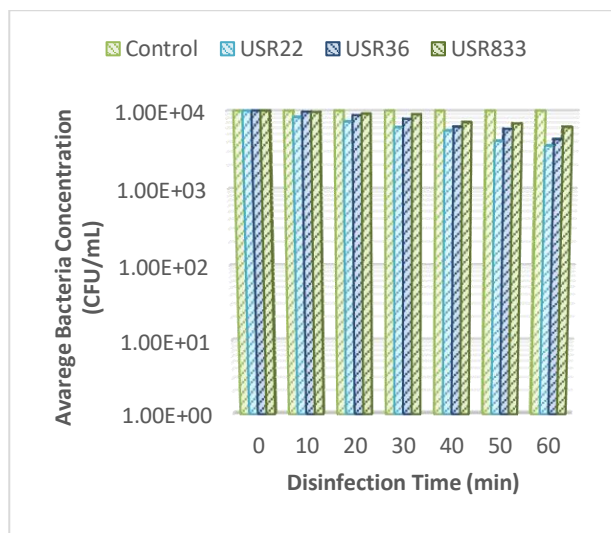


Figure 3. The result of US disinfection according to ultrasonic frequency

In this work, the maximum bacterial destruction of *Escherichia coli* was obtained with 22 kHz ultrasonic frequency. Many of the previous studies correlated these findings. Scherba *et al.* (1991) investigated the impacts of ultrasound at 24 kHz frequency and different ultrasonic intensity (W/cm^2) in an aqueous solution on *Escherichia coli* inactivation. They reported that as the exposure time increased, the decrease in the bacterial population increased, but increasing the power did not affect the bacterial utilization. Limaye and Coakley (1998) examined the disinfection of *Escherichia coli* and *Saccharomyces cerevisiae* at a rate of 95.5% in 4.5 and 11.5 minutes using 1 or 3 MHz ultrasonic frequency, respectively. In another work, Ince and Belen (2001) presented that *Escherichia coli* was inactivated with 20kHz ultrasonication, and inactivation ratio of *Escherichia coli* was increased with mixing ZnO particles. Furthermore, Antoniadis *et al.* (2007) stated that *Escherichia coli* bacteria applied 24 kHz ultrasonic frequency and 450 W power, resulting in a 3log reduction in 30 minutes of ultrasonic contact time for domestic wastewater. In this article, they stated that sonication was a powerful disinfection method, but high ultrasonic intensity is required to achieve 100% removal. They emphasized that this would be expensive for large-scale disinfection applications. However, they argued that low frequency ultrasound would be appropriate for bacteria resistant to disinfection methods including UV, ozone, electrolysis, thermal disinfection,

chlorination and biocides [36]. In similar article, Declerck *et al.* (2010) found that for *Legonella pneumophila* and *Acenthomobea castellani*, were inactivated with 1.3 -1.5 log reduction respectively at the end of 30 min disinfection at 36 kHz ultrasonic frequency and applying 0.064-0.191 kW power per liter. In parallel with previous studies, *Escherichia coli* was more successfully inactivated by low frequency ultrasound due to its mechanical inactivation mechanism rather than sonochemical disinfection occurred at high frequency ultrasound (>500 kHz). It was found that low frequency US (22 and 36 kHz) was more effective for *Escherichia coli* inactivation due to powerful mechanical both unique bacterial cell and bacterial cluster decomposition effect. It apparently examined that the disinfection effect of US was limited (approximately 1-log) even if the mechanical disinfection (22 kHz and 36 kHz) was more effective rather than sonochemical disinfection (833 kHz) in this article.

The disinfection experiments were carried with 0.1mM, 0.01 mM and 0.005 mM Ag⁺ concentration. The findings of these experiments were given in Figure 4.

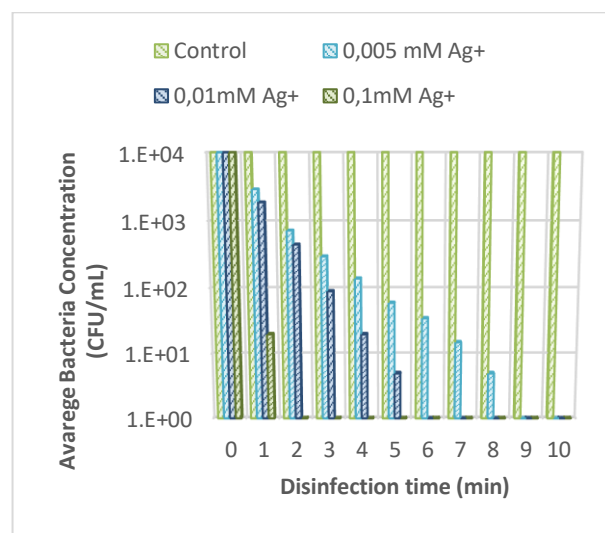


Figure 4. The effects of Ag⁺ concentration on *Escherichia coli*

Escherichia coli was inactivated with 4-log reduction efficiency with 0.1 mM Ag⁺ after 2 min. The results of Ag⁺ disinfection studies, changing Ag⁺ concentration raises the inactivation rate and reduce the inactivation time. Alonso *et al.* (2012)

examined the of Ag⁺ and cobalt (Co) nanoparticles against *Escherichia coli*, *Enterobacter aerogenes*, *Staphylococcus aureus* with an initial concentration 10⁵ CFU/mL. Barani *et al.* (2011) stated that the minimum inhibition concentration was 25 µL and minimum bactericidal concentration was 40 µL for nano-sized silver material. In similar article, Sarvar *et al.* (2021) investigated the susceptibility of *Escherichia coli* and *Bacillus subtilis* to nano-sized Ag and Cu particles. They indicated that *Bacillus subtilis* was more sensitive to both Ag and Cu nanoparticles than *Escherichia coli*. It was emphasized that the relationship between nanoparticle size and susceptibility constant should be investigated in further studies because the diameters of nanoparticles impacts their inactivation mechanisms. The reaction of *Bacillus subtilis* with 100 nm Cu nanoparticles showed the 0.0734 mL/µg sensitivity, while *Escherichia coli* showed the 0.0236 mL/µg sensitivity. The previous finding in the literature correlated these results. When decreasing metal ions concentration, the same bacterial inactivation ratio was attained with higher disinfection period. When Ag⁺ concentration reaches to killing density in water and bacteria adsorb Ag⁺ onto their cell membrane, the inactivation happens with disruption of the bacteria cell. To accomplish influential bacterial inactivation in short disinfection period, Ag⁺ amount should be enlarged according to water and health guideline for Ag⁺ concentration of water to circumvent its environmental health effect. The result of hybrid application US and Ag⁺ were stated in the Figure 5 to examine the effect of ultrasonic frequency (22 kHz) with Ag⁺ (addition of 0.1mM, 0.01 mM and 0.005 mM). According to Figure 5, the similar bacterial utilization was attained in the of Ag⁺ application with 0.1 mM concentration and dual US and Ag⁺ process after 3 min disinfection. Also, in the USR22 + 0.005 mM Ag⁺ dual inactivation created 4-log reduction with 0.1 mM Ag⁺ after 5 min sonication. The dual treatment was effectively reduced 10 to 20 times total metal ion amount dropped to the water during inactivation.

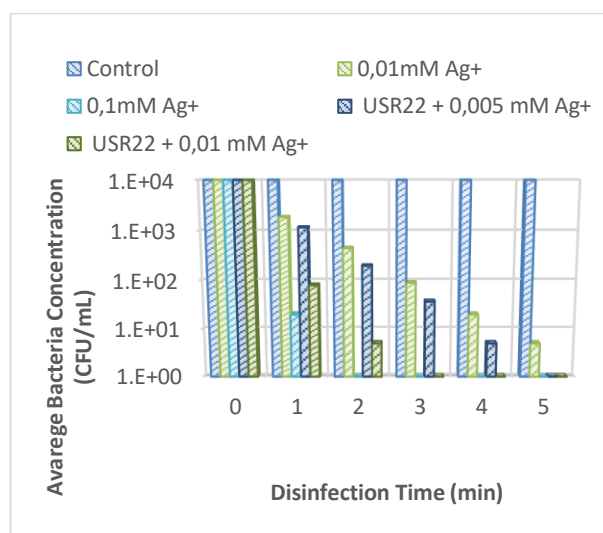


Figure 5. The result of synergistic US and Ag⁺ disinfection

In the work conducted by Dadjour *et al* (2006), *Legonella pneumophila* was removed in 30 minutes by applying 36 kHz and 300 W power in a 5.8 L ultrasonic bath with 1 g/mL TiO₂. With the similar aim, Agnihotri *et al.* (2013) immobilized the nano-sized material containing 35 % silver to improve the inactivation providing several reuses. The dual and trial application findings of other ultrasonic frequencies (36 kHz and 833 kHz) with same settings with 22 kHz after 5 min disinfection were illustrated in Figure 6.

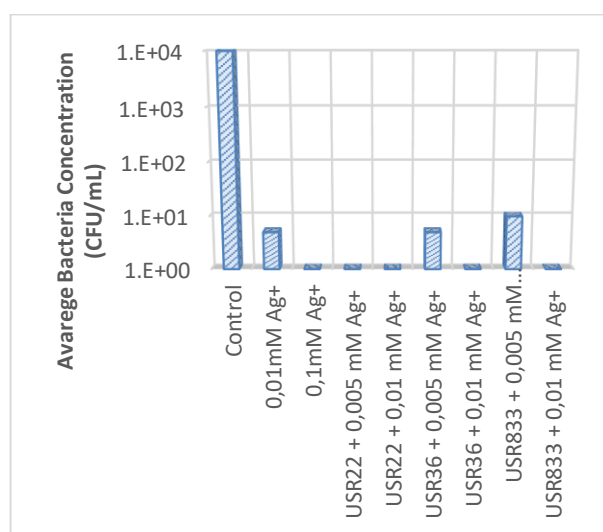


Figure 6. The effect of sonic frequencies on the hybrid application US and Ag⁺

4-log inactivation efficiency was obtained for USR22, USR36 and USR833 with 0.01 mM Ag⁺ concentration while USR36 and USR833 were not

completely remove the bacteria with 0.005 mM Ag⁺. The efficiency of dual USR22+Ag⁺ treatment was similar with USR36+Ag⁺ and higher than USR833+Ag⁺. In a supportive manner, Hoang *et al.* (2015) investigated the gel-derived Ag-TiO₂-SiO₂ nanomaterials disinfected the water treatment under both dark and UV-C treatments with dual impacts to obtain acceptable disinfection [31]. Consequently, high power sonication impact on inactivation ratio was attained in dual usage sonication and metal ions. These findings stated that using US like UV-C and Ag⁺ dual treatment was concentrated Ag⁺ concentration to achieve same bacterial inactivation efficiency in water because synergistic effects of US and UV-C accelerates to contact of Ag⁺ with bacteria and Ag⁺ mass transfer from cell membrane.

4. Conclusion

This presented work was concluded that *Escherichia coli* inactivation ratio was attained using dual treatment of sonication and Ag⁺. In the studies carried out in the ultrasonic reactor, the best results were obtained at 22 kHz frequency. The Ag⁺ ion addition provided higher *Escherichia coli* disinfection in a quicker disinfection period than studies performed with US alone. In addition, the essential quantity of Ag⁺ for *Escherichia coli* inactivation has been condensed by 50% by the combined use of US and Ag⁺.

Acknowledgments

The author has no received any financial support for the research, authorship or publication of this article. No conflict of interest or common interest has been declared by the authors. The author contributed 100 % to the article. This study does not require ethics committee permission or any special permission.

5. References

- Agnihotri S., Mukherji S. Mukherji S., 2013. Immobilized silver nanoparticles enhance contact killing and show highest efficacy: elucidation of the mechanism of bactericidal action of silver. *Nanoscale*, **5(16)**, 7328-7340.
- Akhavan O., Ghaderi E., 2010. Self-accumulated Ag nanoparticles on mesoporous TiO₂ thin film with high bactericidal activities. *Surface & Coatings Technology*, **204(21-22)**, 3676-3683.
- Al-Hamzaha A.A., Rahmana M.M., Kurupa P., Barnawia, B. Ghannam A., Musharraf I. Palmerd N., 2019. Use of chlorine dioxide as alternative to chlorination in reverse osmosis product water. *Desalination and Water Treatment*, **163**, 57-66.
- Alonso A., Munoz-Berbel X., Vignes N., Macanas J., Munoz M., Mas J., Muraviev D.N., 2012. Characterization of Fibrous Polymer Ag⁺ /Cobalt Nanocomposite with Enhanced Bactericide Activity. *Langmuir*, **28(1)**, 783-790.
- Antoniadis A., Poullos I., Nikolakaki E., Mantzavinos D., 2007. Sonochemical disinfection of municipal wastewater. *Journal of Hazardous Materials*, **146(3)**, 492-495.
- Basri H., Ismail A. F., Aziz M., 2011. Polyethersulfone (PES)-silver composite UF membrane: Effect of silver loading and PVP molecular weight on membrane morphology and antibacterial activity. *Desalination*, **273(1)**, 72-80.
- Barani, H., et al., 2011. Nano silver entrapped in phospholipids membrane: Synthesis, characteristics and antibacterial kinetics. *Molecular Membrane Biology*, **28(4)**, 206-215.
- Bláhová L., Kuta J., Doležalová L., Kozáková S., Krovová T. Bláha L. 2021. The efficiency of antineoplastic drug contamination removal by widely used disinfectants—laboratory and hospital studies. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, **1(1)**, 1-16.
- Brugnera M.F., Miyata M., Leite C.Q., Zanoni M.V.B., 2021. Silver ion release from electrodes of nanotubes of TiO₂ impregnated with Ag nanoparticles applied in photoelectrocatalytic disinfection. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, **278(1)**, 1-8.
- Chong M. N., Sharma A. K., Burn S., Saint C. P., 2012. Feasibility study on the application of advanced oxidation technologies for decentralised wastewater treatment. *Journal of Cleaner Production*, **35**, 230-238.
- Dadjour M.F., Ogino C., Matsumura S., Nakamura S., Shimizu N. Disinfection of *Legionella pneumophila* by ultrasonic treatment with TiO₂. *Water research*, **40(6)**, 1137-1142.
- Declerck P., Vanysacker L., Hulsmans A., Lambert N., Liers S., Ollevier F., 2010. Evaluation of power ultrasound for disinfection of both *Legionella pneumophila* and

- its environmental host *Acanthamoeba castellanii*. *Water research*, **44(3)**, 703-710.
- Giannakis S., Papoutsakis S., Darakas E., Escalas-Canellas A., Petrier C., Pulgarin C., 2015. Sonication enhancement of near-neutral photo-Fenton for effective E-coli inactivation in wastewater. *Ultrasonics Sonochemistry*, **22**, 515-526.
- Gogate P.R., 2007. Application of cavitation reactors for water disinfection: Current status and path forward. *Journal of Environmental Management*, **85(4)**, 801-815.
- Gross P.A., Pronkin S.N., Cottineau T., Keller N., Keller V., Savinova E.R., 2012. Effect of deposition of Ag nanoparticles on photoelectrocatalytic activity of vertically aligned TiO₂ nanotubes. *Catalysis today*, **189**, 93-100.
- Hoang N. T. T., Suc N. V., Nguyen T. V., 2015. Bactericidal activities and synergistic effects of Ag-TiO₂ and Ag-TiO₂-SiO₂ nanomaterials under UV-C and dark conditions. *International Journal of Nanotechnology*, **12(5-7)**, 367-379.
- Ibarluzea J., Moreno B., Zigorraga C., Castilla T., Martinez M., Santamaria J., 1998. Determinants of the microbiological water quality of indoor swimming-pools in relation to disinfection. *Water Research*, **32(3)**, 865-871.
- Ince N.H., Belen R., 2021. Aqueous phase disinfection with power ultrasound: process kinetics and effect of solid catalysts. *Environmental science & technology*, **35(9)**, 1885-1888, 2001.
- Jyoti K. K., Pandit A. B., 2004. Ozone and cavitation for water disinfection. *Biochemical Engineering Journal*, **18(1)**, 9-19.
- Joyce E., Mason T. J., Phull S. S., Lorimer J. P., 2003. The development and evaluation of electrolysis in conjunction with power sonication for the disinfection of bacterial suspensions. *Ultrasonics Sonochemistry*, **10 (4-5)**, 231-234.
- Joyce E., Phull S. S., Lorimer J. P., Mason T. J., 2003. The development and evaluation of sonication for the treatment of bacterial suspensions. A study of frequency, power and sonication time on cultured *Bacillus* species. *Ultrasonics Sonochemistry*, **10(6)**, 315-318.
- Karaer Ozmen F., Koparal A. S., 2021. Hybrid water disinfection system with silver ion in continuous flow ultrasonic reactor. *Desalination and Water Treatment*, **213**, 64– 74.
- Khaire R.A., Bhaskar N.T., Gogate P.R., 2022. Applications of ultrasound for food preservation and disinfection: A critical review. *Journal of Food Processing and Preservation*, **1**, e16091.
- Leighton T.G., 1998. The principle of cavitation., In: M.J.W. Povey and T.J. Mason, (Eds), *Ultrasound in food processing*, Blackie Academic and Professional, London, 151-178.
- Leighton T.G., 2007. What is ultrasound? *Prog Biophys Molecular Biology*, **93**, 3–83.
- Li R.A., McDonald J.A., Sathasivan A., Khan S.J., 2019. Disinfectant residual stability leading to disinfectant decay and by-product formation in drinking water distribution systems: a systematic review. *Water research*, **153**, 335-348.
- Limaye M.S., Coakley W.T., 1998. Clarification of small volume microbial suspensions in an ultrasonic standing wave. *Journal of applied microbiology*, **84(6)**, 1035-1042.
- Lin S., Huang R., Cheng Y., Liu J., Lau B.L., Wiesner M.R., 2013. Silver nanoparticle-alginate composite beads for point-of-use drinking water disinfection. *Water research*, **47(12)**, 3959-3965.
- Manoli K., Sarathy S., Maffettone R., Santoro D., 2019. Detailed modeling and advanced control for chemical disinfection of secondary effluent wastewater by peracetic acid. *Water research*, **153**, 251-262.
- Mason T.J., 1990. *Chemistry with Ultrasound*. Elsevier, England.
- Mason T.J., Joyce E., Phull S.S., Lorimer J.P., 2003. Potential uses of ultrasound in the biological decontamination of water. *Ultrasonics Sonochemistry*, **10**, 139 – 232.
- Naddeo V., Landi M., Belgiorno V., Napoli R. M. A., 2009. Wastewater disinfection by combination of sonication and ultraviolet irradiation. *Journal of Hazardous Materials*, **168(2-3)**, 925-929.
- Nawaz M., Han M.Y., Kim T.I., Manzoor U., Amin M.T., 2012. Silver disinfection of *Pseudomonas aeruginosa* and *E. coli* in rooftop harvested rainwater for potable purposes. *Science of the Total Environment*, **431**, 20-25.
- Phull S. S., Newman A. P., Lorimer A. P., Pollet B., Mason T. J., 2007. The development and evaluation of sonication in the biocidal treatment of water. *Ultrasonics Sonochemistry*, **4(2)**, 157-164.

- Qu X.L., Brame J., Li Q.L., Alvarez P. J. J., 2013. Nanotechnology for a Safe and Sustainable Water Supply: Enabling Integrated Water Treatment and Reuse. *Accounts of Chemical Research*, **46(3)**, 834-843.
- Sarwar N., Humayoun U.B., Kumar M., Zaidi S.F.A., Yoo J.H., Ali N., Yoon D.H., 2021. Citric acid mediated green synthesis of copper nanoparticles using cinnamon bark extract and its multifaceted applications. *Journal of Cleaner Production*, **292**, e125974.
- Singer P.C., 1994. Control of disinfection by-products in drinking water. *Journal of environmental engineering*, **120(4)**, 727-744.
- Spellman F. R., 1999. Choosing disinfection alternatives for water/wastewater treatment plants. CRC Press, London.
- Van Aken B., Lin L. S., 2011. Effect of the disinfection agents chlorine, UV irradiation, silver ions, and TiO₂ nanoparticles/near-UV on DNA molecules. *Water Science and Technology*, **64(6)**, 1226-1232.
- Ziembowicz S., Kida M., Koszelnik P., 2018. The impact of selected parameters on the formation of hydrogen peroxide by sonochemical process. *Separation and Purification Technology*, **204**, 149-153.

AKÜ FEMÜBİD 22 (2022) 045501 (814-823)

AKU J. Sci. Eng. 22 (2022) 045501 (814-823)

DOI: 10.35414/akufemubid.1105538

Araştırma Makalesi / Research Article

Hassas Nokta Konumlama Yönteminde GNSS Ölçü Süresi-Konum Doğruluğu İlişkisinin Araştırılması

Özgür ÖZBULAT¹, Şeyma ŞAFK YAŞAR^{2*}, İbrahim TIRYAKIOĞLU¹¹Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar.²Afyon Kocatepe Üniversitesi, Uzaktan Eğitim Meslek Yüksekokulu, Afyonkarahisar.e-posta: ozgurmercan01@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5470-7111>

Sorumlu yazar e-posta: ssafak@aku.edu.tr

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7616-5915>

e-posta: itiryakioglu@aku.edu.tr

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4954-7109>

Geliş Tarihi: 18.04.2022

Kabul Tarihi: 10.08.2022

Öz

Bu çalışmada, son yıllarda oldukça yaygın kullanıma sahip online nokta konumlama yöntemlerinden biri olan PPP yönteminin sabit GNSS istasyon noktalarının konum doğrulukları üzerine etkisi araştırılmıştır. Çalışmada 8 adet TUSAGA-Aktif istasyonu kullanılmıştır. Bu istasyonlara ait 24 saatlik veriler GAMIT/GLOBK bilimsel yazılımı ile değerlendirilmiştir. Her istasyona ait 24 saatlik veriler konum doğruluklarına olan etkiyi saptayabilmek amacıyla 2,4,6,8,12 saat aralıklarında TEQC yazılımı kullanılarak bölünmüş ve yeni veriler elde edilmiştir. Bu veriler online veri değerlendirme yazılımı olan CSRS-PPP ile değerlendirilmiştir. GAMIT-GLOBK ile değerlendirilen veriler doğru varsayılarak CSRS-PPP yazılımından elde edilen sonuçlar ile karesel ortalama hata hesabı yapılmıştır. Ek olarak çalışmada ölçü süresinin konum doğruluğu üzerine etkisi Eckl vd. 2001 çalışması ile karşılaştırılmış ve elde edilen sonuçların uyumlu olduğu görülmüştür.

Anahtar kelimeler

CSRS-PPP;
GAMIT/GLOBK; Ölçü
süresi; Konum
doğruluğu; GNSS

Investigation of the Relationship Between GNSS Observation Time and Position Accuracy in Precise Point Positioning Method

Abstract

In this research, the effect of Precise Point Positioning (PPP) method on the position accuracy of GNSS points has been investigated and 8 TUSAGA-Active points were used. In an effort to improve the GNSS position accuracy, 24-hour RINEX data was evaluated using the GAMIT/GLOBK that academic software. The 24-hour datas for each stations divided into subgroups of data with TEQC software. These subgroups of data are 2-4-6-8 and 12 hours. Then, all subgroups of data were evaluated with online-based CSRS-PPP software. By accepting the 24-hour data of GAMIT/GLOBK software as correct, the mean squared errors were calculated from the results of the data sets obtained from CSRS-PPP. Furthermore, the relationships between measurement time/positioning accuracy were determined. These results were compared with Eckl et al. 2001. The position accuracies obtained from the PPP solutions were found to be compatible with the position accuracy relations obtained in Eckl et al. (2001).

Keywords

CSRS-PPP;
GAMIT/GLOBK;
Observation time;
Accuracy of point
positing; GNSS

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

Geçmişten günümüze uydular ile küresel konum belirleme sistemleri tüm dünyada yaygın olarak kullanılmıştır. İlk kez Amerika tarafından 1970'li yıllarda tasarlanan GPS ile ortaya çıkan sistemde, bugün farklı ülkeler tarafından da tasarlanmış ve faal olarak çalışan farklı küresel konum belirleme

sistemleri mevcuttur. Son yıllarda bu sistemler kendine jeodezik ölçümler için oldukça önemli bir yer bulmuştur. Konum belirleme işlemi bu anlamda temelde iki farklı şekilde sağlanmaktadır; mutlak ve görel konum belirleme. Mutlak olarak yapılan yöntemde ölçümler tek noktadan GNSS ölçümleri ile sağlanırken, görel yöntemde ise iki farklı noktadan yapılan GNSS ölçümleri söz konusudur. Yıllardır

görelî konum belirleme yöntemi yüksek hassasiyet gerektiren konum bilgileri elde etmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Günümüzde ise küresel konum belirleme sistemleri sayesinde, farklı kuruluşlar tarafından sağlanan doğruluğu yüksek saat ve yörünge bilgileri mevcut olup bu bilgiler kullanıma sunulmuştur. Bu bilgilerin kullanıma sunulmasıyla birlikte tek alıcı kullanılarak iyi hassasiyet ve doğruluk sağlayan Hassas Nokta Konumlama (PPP - Precise Point Positioning) yöntemleri ile koordinatlar elde edilebilmektedir. Bu yöntem 1970'li yıllarda geliştirilmeye başlanmış olup, bu yönetime dair teorik bilgiler Zumberge vd. (1997) tarafından ifade edilmiştir. Özellikle son yıllarda gelişen teknoloji sayesinde tek bir alıcı ile yüksek doğrulukta konum bilgisine bu yöntem ile ulaşılabilenmektedir. PPP yöntemi zaman içinde görelî konum belirleme yönteminin de yerini almaya başlamıştır. Bu yönetime artan ilgi hızla devam ederken değerlendirme yapabilmek için çeşitli akademik ve ticari yazılımların kullanılmasının gerekliliği beraberinde yüksek maliyet ve kullanım gücünü gibi bazı zorlukları ortaya çıkarmıştır. Bu zorlukları en aza indirebilmek amacıyla internet üzerinden GNSS verilerini değerlendiren servisler geliştirilmeye başlanmıştır. Bu geliştirilen servislerin sistemin olumsuz yanlarını en aza indirerek ücretsiz şekilde kullanıma sunulması ve kolay bir kullanımının olması önemli avantajları arasında önde gelmektedir. Bu çalışmada son yıllarda yaygın bir şekilde kullanılmakta olan PPP yönteminin nokta konum doğruluklarına olan etkisi araştırılmıştır. 8 adet TUSAGA-Aktif istasyonu seçilerek bu istasyonların verilerinden yararlanılmıştır. İstasyonlar birbirlerine yakın konumda olacak şekilde seçilmiştir. 8 adet istasyonun 24 saatlik verileri GAMIT/GLOBK bilimsel yazılımı ile değerlendirilmiştir. Ayrıca 24 saatlik her istasyonun verisinden bölünerek elde edilen 2,4,6,8 ve 12 saatlik veriler internet tabanlı CSRS-PPP yazılımı ile altı aylık periyotlar şeklinde değerlendirilmiştir. İnternet tabanlı yazılımdan elde edilen sonuçlar, 24 saatlik verilerin GAMIT/GLOBK bilimsel yazılımı ile değerlendirilerek doğru kabul edilen koordinatları ile karşılaştırılması yapılmış ve farkları alınarak Karesel Ortalama Hata (KOH) verileri elde edilmiştir. Ayrıca çalışmada bölünmüş saatlik veriler ile 24

saatlik verilerin değerlendirmelerinden elde edilen konum doğrulukları Eckl vd. (2001) ile karşılaştırılmıştır.

Nokta konum doğruluğuna ilişkin çalışmalar 1970'li yıllarda başlamış olmasına karşın uydu teknolojisinin hızlı bir şekilde gelişmesi 2000'li yıllarda bu çalışmaların daha da popüler hale gelmesine neden olmuştur. Özellikle 2000'li yıllardan itibaren yapılan bir çok çalışmada statik ölçümler sonrasında yüksek konum doğruluğunun ulaşılabilir olduğunu göstermiştir (Eckl vd. 2001, Soler vd. 2006, Kurumahmut 2008, Tiryakioğlu vd. 2010, Akarsu 2012). Gerçek zamanlı kinematik ölçümler ile uzun bazlarda, statik ölçümlerde olduğu gibi yüksek doğrulukta konum bilgisi elde edilememekteyken, günümüzde ağ yapısında yapılan gerçek zamanlı kinematik ölçümler ile mesafe sorunu aşılmıştır. Fakat doğruluk düşük deformasyonların belirlenmesi, tektonik hareketlerin incelenmesi vb. gibi çalışmalar için yeterli düzeyde değildir (Baybura vd. 2020). Yüksek doğruluk beklenen çalışmalar için uzun süreli GNSS ölçümleri yapılması ve yapılan ölçümlerin ise post process değerlendirmeleri ile anlamlı sonuçları elde edilmelidir (Tiryakioğlu vd. 2005). Kızırlarlan (2014), GPS ve GPS/GLONASS ölçülerinin ölçü süresinin hassas nokta konumlaya olan etkisi üzerine bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada IGS noktaları kullanılarak, bu noktalar farklı 3 enlemde seçilmiştir. Çalışmada 30 gün boyunca toplanan 24 saatlik veriler işlenmiştir. 24 saatlik veriler farklı zaman dilimlerine bölünerek veri setlerinin doğrulukları PPP ile test edilmiştir. GPS-PPP ve GPS/GLONASS-PPP sonuçları doğruluk ve tekrarlılık yönünden ölçü sürelerine göre karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar göstermiştir ki, ölçü süresi arttıkça her iki çözümde de doğruluk artmaktadır. Öcalan (2015), PPP yönteminin doğruluk ve performans araştırması için farklı referans istasyonları kullanarak bir çalışma yapmıştır. Gözlem süresi, farklı donanım ve yazılımlar ile birlikte verilerin kullanılmasında doğruluğun nasıl etkilendiği araştırılmıştır. Çalışmada PPP yönteminin cm-dm boyutunda istenen doğrulukta çalışmaları için kullanılabilir olduğu sonucuna varılmıştır. Özdemir (2016), online veri çözümlemesi sağlayan servislerin doğruluklarına yönelik bir çalışma

yapmıştır. Çalışmada hem mutlak çözüm hem de görelî çözüm yapan servisler farklı ölçüm sürelerinde ve farklı günlerde çözümlenmiştir. Çalışmada her iki yöntem için değerlendirme yapan farklı servislerden elde edilen sonuçlara göre yüksek doğruluğa ulaşılabilindiği görülmüştür. Ayrıca çalışmada online tabanlı bu servisler ile çok daha hızlı, kolay ve doğru şekilde veri değerlendirebilmenin sağlanabildiği vurgulanmıştır. Duman (2016), 18 farklı IGS istasyon verilerinden yararlanarak farklı veri setleri oluşturmuş ve istasyonların yıllık yer değiştirmelerinin hesaplanarak bunların doğruluklarının araştırması yapılmıştır. 24 saatlik değerlendirilen verilerin sonuçları doğru olarak kabul edilmiş ve hazırlanan farklı sürelerdeki veri gruplarının doğru kabul edilen sonuçlar ile istatistiki bir karşılaştırılması yapılmıştır. Bu çalışmada uzun bazlar dikkate alınmış olup, alt veri gruplarının doğru kabul edilen sonuçlar ile benzerlik göstermediği tespit edilmiştir. Veri gruplarında yer alan ölçüm günleri ile ölçüm sürelerinin bu uygulamalar için çok daha iyi planlanması gerektiği öne sürülerek bu planlamaların konum doğruluğunu artıracakları vurgusu yapılmıştır. Eckl vd. (2001) ise istasyon noktalarında yapılan farklı ölçü sürelerinde ve farklı baz uzunluklarında konum doğruluk değerlerinin nasıl değiştiğine ilişkin bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada 4 saat ile 24 saat arasında farklı ölçü sürelerinde veri grupları oluşturularak PAGES yazılımı ile bir değerlendirme yapılmıştır. Konum doğruluğunu ifade eden standart sapma değerlerini (RMS) ölçü süresine bağlı ve bir aralık olarak hesaplanabilmesini sağlayan matematiksel bir model ifade edilmiştir. Bu çalışmada standart sapma değerleri zamana bağlı bir denklem olarak her bileşen için ifade edilmiştir. Sırasıyla; kuzey, doğu ve yükseklik bileşenleri için;

$$S_n = \frac{k_n}{t^{0.5}} \quad (1)$$

$$S_e = \frac{k_e}{t^{0.5}} \quad (2)$$

$$S_u = \frac{k_u}{t^{0.5}} \quad (3)$$

şeklinde dir. Her üç bileşen için denklem 1,2 ve 3'te ifade edilen k_n , k_e , k_u değerleri sırasıyla; 9.5 ± 2.1 mm, 9.9 ± 3.1 mm ve 36.5 ± 9.1 mm olarak ifade edilmiştir. t ise saat olarak ölçü süresini temsil etmektedir. Şafak vd. (2020) ise konum doğruluğuna ilişkin yapılan çalışmaların aksine ölçü sürelerinin nokta hız doğruluklarını nasıl etkilediğine dair bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada hız doğruluğu üç farklı parametre ile araştırılmıştır. Bu parametreler ise ölçü süresi, kaç kampanya ölçüm yapıldığı ve ilk kampanya ile son kampanya arasında kampanya sayısından bağımsız olarak geçen süre olarak ifade edilmiştir. Farklı ölçü sürelerinde olacak şekilde ölçü grupları oluşturularak GAMIT/GLOBK bilimsel yazılımı ile değerlendirme yapılmış ve farklı ölçü sürelerinde hız doğruluğu araştırılmıştır. Elde edilen hız doğrulukları Eckl vd. (2001) ile karşılaştırılmış ve uyumlu sonuçlar elde edilmiştir. Bu çalışmada dikkat çeken önemli sonuçlardan biri artan yıl aralığında hız doğruluğunda iyileşme sağlanırken; yıl aralığı sabit tutularak yapılan ölçümlerde kampanya sayısının hız doğruluğuna bir etkisinin olmadığıdır. Ayrıca çalışmada ifade edilen parametrelere dair matematiksel bir model de oluşturularak analiz yapılmıştır.

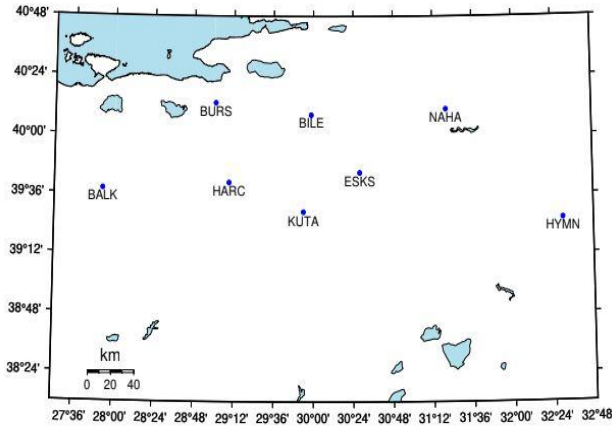
2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada online veri değerlendirme hizmeti sağlayan PPP yönteminin, ülkemizde birbirine yakın konumda seçilen 8 farklı TUSAGA-Aktif istasyon verisinden yararlanarak konum doğruluğu üzerine olan etkisi araştırılmıştır. İstasyonların 24 saatlik verileri doğru kabul edilerek alt gruplara ayrılan verilerden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırması yapılmıştır (Özbulat 2021).

2.1 İstasyon Noktalarının Seçilmesi

Çalışmada kullanılmak üzere 8 farklı TUSAGA-Aktif istasyon noktası seçilmiştir. Bu noktaların seçimi yapılırken bazı kriterler göz önüne alınmış ve stabil istasyonlar seçilmiştir. Çalışmada kullanılacak istasyonların seçimi Özdemir vd. (2016) tarafından yapılan çalışmadan yararlanarak belirlenmiştir. İlgili çalışmada TUSAGA-Aktif istasyonlarının performansları değerlendirilirken; multipath etkisine sahip istasyonlar, karesel ortalama hatası yüksek olan istasyonlar, deformasyona maruz kalan

istasyonlar ile koordinat çözümünde belirsizlik olan istasyon verileri sunulmuştur. Dolayısıyla bu istasyon noktalarının seçilmemesi sağlanmıştır. Ayrıca bu noktaların birbirine en yakın konumda olacak şekilde seçilmesine dikkat edilmiştir. Bu şekilde bir seçimin yapılmasının amacı istasyon noktalarını etkileyebilecek herhangi bir olumsuz durumda bütün noktaların aynı şartlar altında incelenmek istenmesinden kaynaklıdır. Şekil 1 ve 2'de çalışmada kullanılan istasyon noktaları ile bu noktalara ait bilgiler verilmiştir. Şekil 3'de ise çalışmada kullanılmak üzere seçilen lokal ağı global bir ağ ile desteklemek amaçlı çalışmaya dahil edilen IGS noktaları ifade edilmiştir.



Şekil 1. Çalışmada kullanılmak üzere seçilen 8 farklı TUSAGA-Aktif istasyonu.

Nokta Adı	Şehir	Ülke	Enlem (°,′,″)	Boylam (°,′,″)
BALK	Balıkesir	Türkiye	39 38 21	27 53 37
BILE	Bilecik	Türkiye	40 08 29	29 58 38
BURS	Bursa	Türkiye	40 12 51	29 00 54
ESKS	Eskişehir	Türkiye	39 44 44	30 27 49
HARC	Bursa	Türkiye	39 40 39	29 09 09
HYMN	Ankara	Türkiye	39 26 05	32 29 44
KUTA	Kütahya	Türkiye	39 28 51	29 53 55
NAHA	Ankara	Türkiye	40 10 23	31 19 55

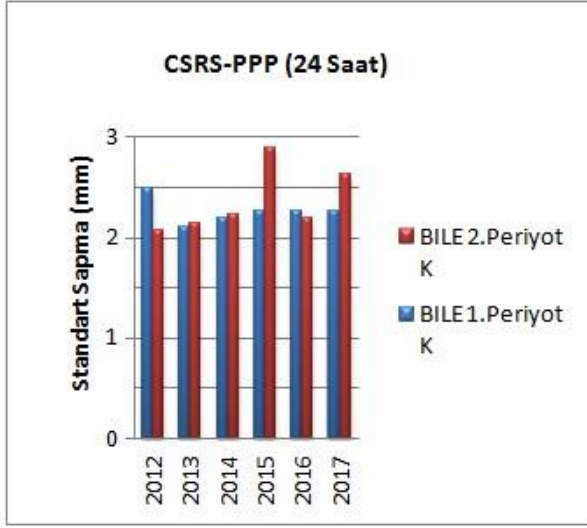
Şekil 2. Çalışmada kullanılmak üzere seçilen 8 istasyon noktasının enlem ve boylam değeri.

Nokta Adı	Ülke / Şehir	Nokta Adı	Ülke / Şehir
ADIS	Ethiopia/ Adis Ababa	BOR1	Polonya/Wielkoposka
LAUG	Lübnan/Lebanese	NOT1	İtalya/Sicilya
ANKR	Türkiye/Ankara	BUCU	Romanya/Bükreş
MATE	İtalya/Basilicata	ONSA	İsveç/Onsala
BAKU	Azərbaycan/Bakü	CRAO	Ukrayna/Simeiz
NICO	Kıbrıs/Lefkoşa	POLV	Ukrayna/Poltava
DRAG	İsrail/Metzoki	POTS	Almanya/Brandenburg
GLSF	Ukrayna/Kiev	GRAS	Fransa/Maritimes
RAMO	İsrail/Ramon	GRAZ	Suriye/Graz
SOFI	Bulgaristan/Sofya	TEHN	İran/Tahran
ISTA	Türkiye/İstanbul	KOSG	Hollanda/Kootwijk
TELA	İsrail/Telaviv	VILL	İspanya/Madrid
ZECK	Rusya/Zalenchukskaya	NSSP	Ermenistan/Yerevan

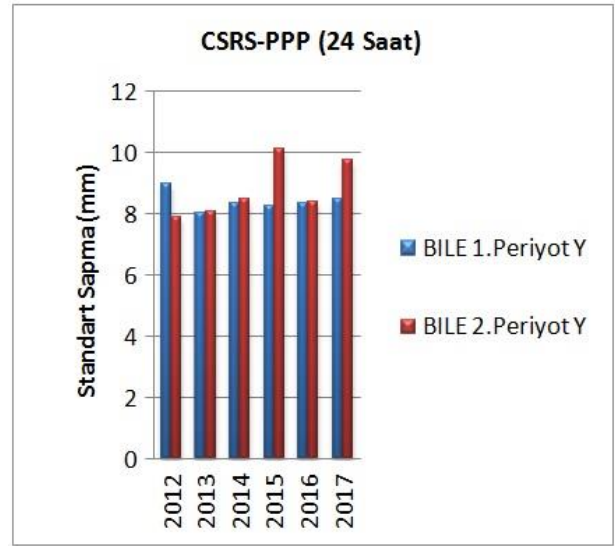
Şekil 3. Çalışmada lokal ağı desteklemek amaçlı kullanılan IGS noktaları.

2.2 İstasyon Nokta Verileri Değerlendirme Süreci

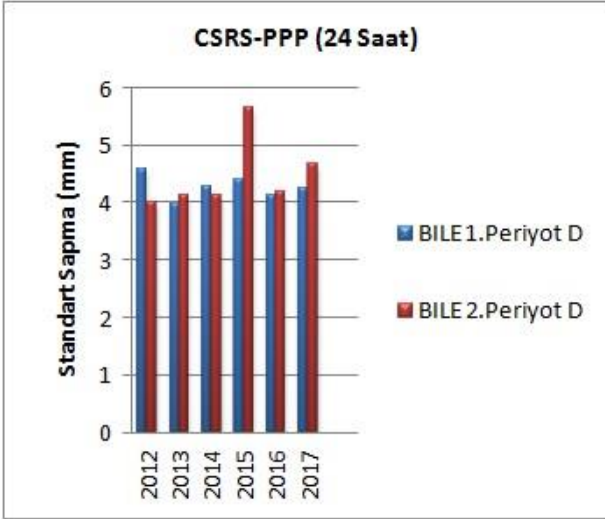
Çalışmada kullanılmak üzere seçilen 8 istasyon noktasının 2012-2017 yılları arasında olmak üzere 24 saatlik 30 sn Rinex verileri TKGM'den elde edilmiştir. Elde edilen veriler ayrıca 6 aylık periyotlar halinde her istasyonun GNSS takvimine göre 47,48 ve 49'uncu günleri ile 227,228 ve 229'uncu günleri 3 gün tekrarlı verileri hazırlanmıştır. Hazırlanan veri setindeki her istasyon için 6 aylık periyotlar halinde seçilen her 3 gün verisi teqc yazılımı ile 2,4,6,8 ve 12 saatlik ölçü sürelerine bölünmüştür. Tüm verilere bölme işlemi uygulanırken aynı saatten başlamasına dikkat edilmiştir. Bu şekilde uygulama yapılmasının nedeni ise tüm istasyon verilerinin olumsuz herhangi bir durumdan aynı oranda etkilenmesini sağlamak olmuştur. Tüm istasyon noktalarının tüm yıllara ait 24 saatlik elde edilen verileri GAMIT/GLOBK bilimsel yazılımı ile değerlendirilerek Şafak (2019)'daki sonuçlar kullanılmıştır. Her bir istasyonun hem 24 saatlik hem de alt ölçü sürelerindeki verileri internet tabanlı olan CSRS-PPP yazılımı ile değerlendirilerek kartezyen koordinatları elde edilmiştir. Değerlendirme aşamasında veri analizi için statik yöntem kullanılmıştır. Elde edilen kartezyen koordinatlara toposentrik koordinatlara dönüştürülerek karşılaştırma yapılabilmesi için uygun hale getirilmiştir. CSRS-PPP değerlendirmelerinden elde edilen sonuçların standart sapma değerleri her bir istasyon için kontrol edilmiştir. Her bir istasyonun 47,48 ve 49'uncu gün standart sapma ortalamaları 1. Periyot olarak alınmış, 227,228 ve 229'uncu gün standart sapma ortalamaları ise 2. Periyot olarak alınarak ifade edilmiştir. Böylece farklı periyotlar halinde alınan verilerin değerlendirme sürecinde ortaya çıkabilecek tesadüfi hataların da anlaşılması sağlanmıştır.



Şekil 4. CSRS-PPP sonuçları ile elde edilen 24 saatlik 1. ve 2.Periyot BILE istasyonuna ait kuzey bileşen ortalama standart sapma değerleri



Şekil 6. CSRS-PPP sonuçları ile elde edilen 24 saatlik 1. ve 2.Periyot BILE istasyonuna ait yükseklik bileşen ortalama standart sapma değerleri.

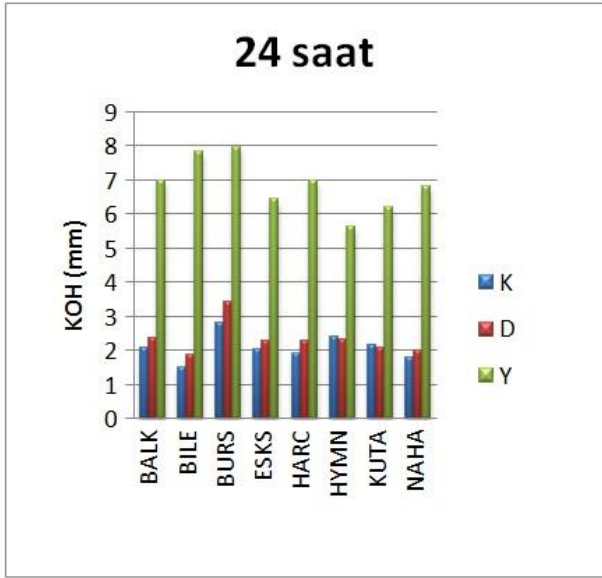


Şekil 5. CSRS-PPP sonuçları ile elde edilen 24 saatlik 1. ve 2.Periyot BILE istasyonuna ait doğu bileşen ortalama standart sapma değerleri

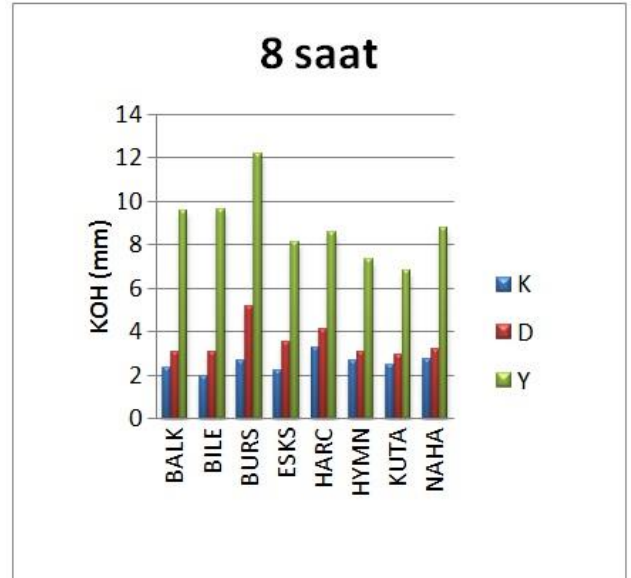
BILE istasyonu kuzey bileşen ortalama standart sapma değerleri 2.1 mm ile 2.9 mm, doğu bileşen ortalama standart sapma değerleri 4.0 mm ile 5.6mm ve yükseklik bileşeni ortalama standart sapma değerleri 7.9mm ile 10.1 mm arasındadır. Tüm istasyonların 24 saatlik verilerinin 1. Ve 2. Periyot standart sapma ortalama değerlerinin ise kuzey bileşende 2.1mm ile 2.9mm, doğu bileşen için 4.0mm ile 5.6mm ve yükseklik bileşen için 7.9mm ile 10.6 mm arasında değişim gösterdiği elde edilmiştir (Şekil 4-6).

2.3 Farklı Ölçü Sürelerinde Koordinat Değişimlerinin Hesaplanması

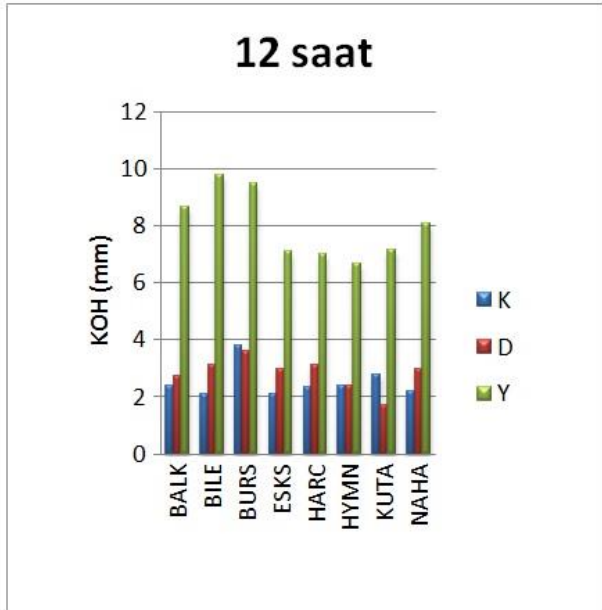
Tüm istasyon noktalarının 24 saatlik verileri GMAIT/GLOBK bilimsel yazılımı ile Şafak vd. (2020) tarafından değerlendirilmiş olup koordinat verileri elde edilmiştir. Elde edilen değerler bu çalışma için toposentrik koordinatlara dönüştürülerek doğru kabul edilmiştir. CSRS-PPP internet tabanlı yazılım ile tüm noktaların oluşturulan farklı ölçü süresi veri grupları değerlendirilmiştir. CSRS-PPP sonuçlarından elde edilen farklı ölçü sürelerindeki koordinatlar, doğru kabul edilen koordinatlardan olan farkları hesaplanarak KOH (karesel ortalama hata) hesabı yapılmıştır. Karesel ortalama hata değerleri her yıl ve her istasyon için farklı ölçü sürelerinde ortalamaları alınarak hesaplanmıştır (Şekil 7 - 12).



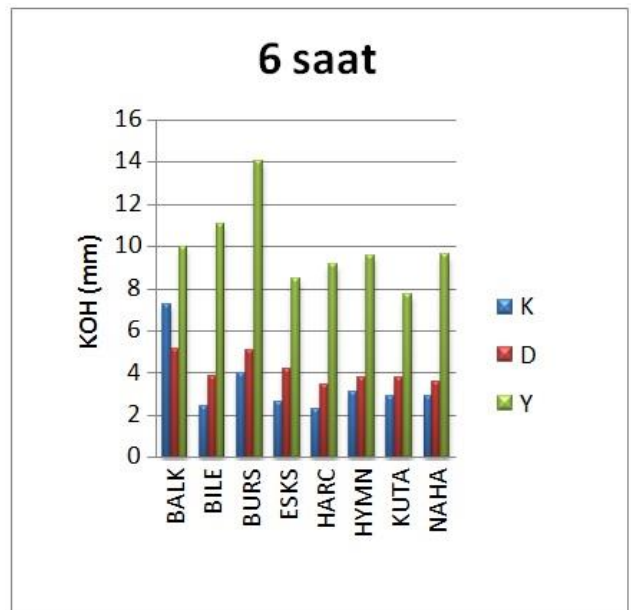
Şekil 7. 24 saat ölçü süresinde CSRS-PPP ve GAMIT/GLOBK yazılımlarından elde edilen koordinat değişimlerinden hesaplanan karesel ortalama hata değerleri.



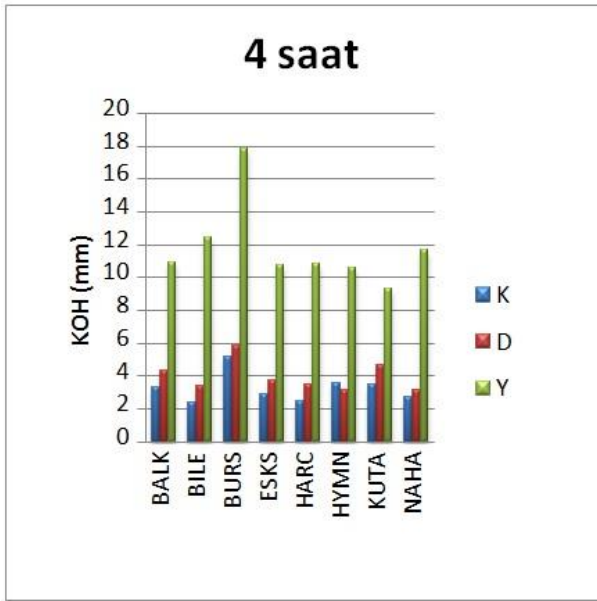
Şekil 9. 8 saat ölçü süresinde CSRS-PPP ve GAMIT/GLOBK yazılımlarından elde edilen koordinat değişimlerinden hesaplanan karesel ortalama hata değerleri.



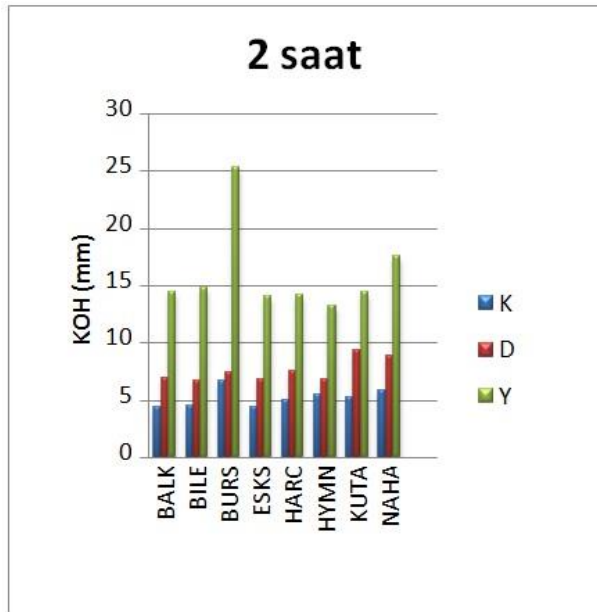
Şekil 8. 12 saat ölçü süresinde CSRS-PPP ve GAMIT/GLOBK yazılımlarından elde edilen koordinat değişimlerinden hesaplanan karesel ortalama hata değerleri.



Şekil 10. 6 saat ölçü süresinde CSRS-PPP ve GAMIT/GLOBK yazılımlarından elde edilen koordinat değişimlerinden hesaplanan karesel ortalama hata değerleri.



Şekil 11. 4 saat ölçü süresinde CSRS-PPP ve GAMIT/GLOBK yazılımlarından elde edilen koordinat değişimlerinden hesaplanan karesel ortalama hata değerleri.



Şekil 12. 2 saat ölçü süresinde CSRS-PPP ve GAMIT/GLOBK yazılımlarından elde edilen koordinat değişimlerinden hesaplanan karesel ortalama hata değerleri.

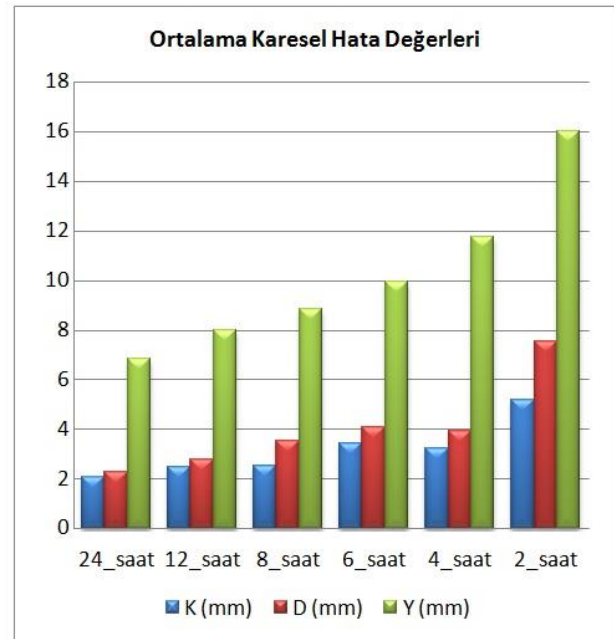
Şekil 7-12 incelendiğinde BURS sabit istasyonu haricindeki diğer sabit istasyonların doğru kabul edilen sonuçlardan hesaplanan karesel ortalama hata değerlerinin birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir. BURS sabit istasyonunda fazla bulunan karesel ortalama hata değerlerinin ise multipath etkisi altında kaldığından dolayı elde edildiği düşünülmektedir.

Çizelge 1. Farklı ölçü sürelerinde hesaplanan karesel ortalama hata değerlerinin değişim aralığı.

Ölçü süresi	Kuzey bileşen (mm)	Doğu bileşen (mm)	Yükseklik bileşeni (mm)
24	2-3	2-3	6-8
12	2-3	2-3	7-10
8	2-3	2-5	8-12
6	2-4	2-5	8-14
4	2-5	2-6	10-18
2	5-6	7-9	15-25

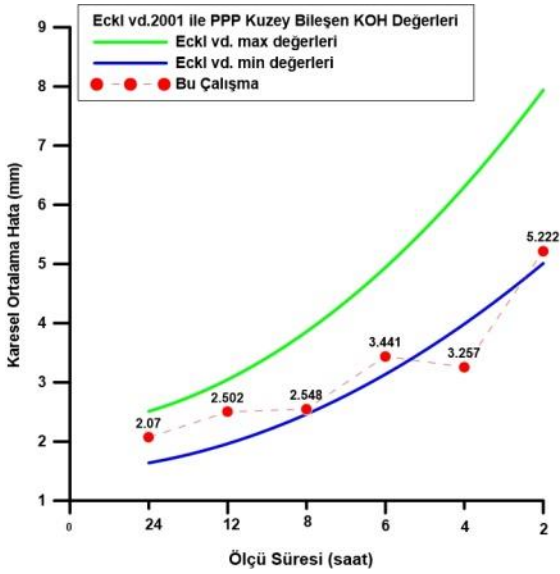
2.4 Farklı Ölçü Sürelerinde Koordinat Doğruluğunun Araştırılması

Literatürde ölçü süreleri ve doğruluk ilişkisine dair bir çok çalışma yapılmış olmasına karşın tüm çalışmaların temelinde Eckl vd. (2001) bulunmaktadır. Bu çalışmada aynı zamanda farklı ölçü sürelerinde CSRS-PPP çözümlerinden elde edilen doğruluk değerleri Eckl vd. (2001) ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma yapılırken farklı ölçü sürelerinde elde edilen sonuçların tüm yıllar için çalışılan tüm istasyonların karesel ortalama hata değerlerinin ortalaması alınarak yapılmıştır (Şekil 13).

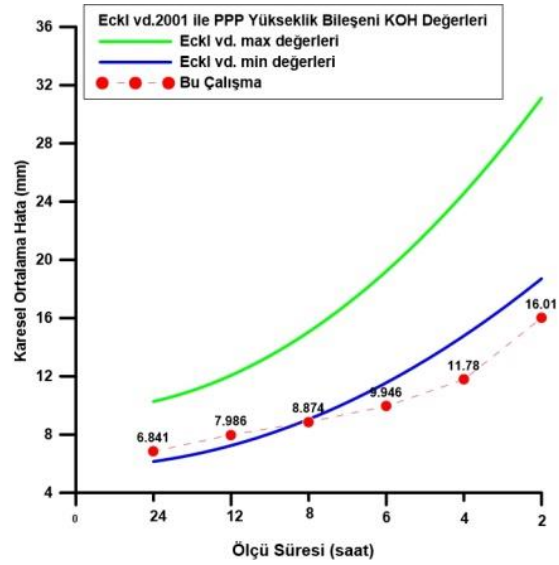


Şekil 13. CSRS-PPP sonuçları ile farklı ölçü sürelerinde elde edilen tüm istasyonların çalışılan tüm yıllara ait ortalama karesel hata değerleri.

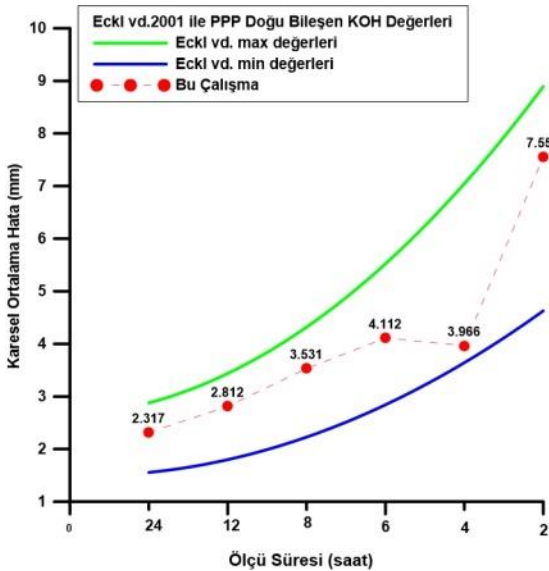
Ortalaması alınarak elde edilen veriler Eckl vd. (2001) çalışması ile karşılaştırılmış ve Şekil 14-15-16 'da verilmiştir.



Şekil 14. CSRS-PPP sonuçları ile farklı ölçü sürelerinde elde edilen tüm istasyonların tüm yıllara ait ortalama karesel hata değerlerinin Kuzey bileşen için Eckl vd. (2001) ile karşılaştırılması.



Şekil 16. CSRS-PPP sonuçları ile farklı ölçü sürelerinde elde edilen tüm istasyonların tüm yıllara ait ortalama karesel hata değerlerinin Doğu bileşen için Eckl vd. (2001) ile karşılaştırılması.



Şekil 15. CSRS-PPP sonuçları ile farklı ölçü sürelerinde elde edilen tüm istasyonların tüm yıllara ait ortalama karesel hata değerlerinin Doğu bileşen için Eckl vd. (2001) ile karşılaştırılması.

Şekil 14, 15 ve 16'da her üç bileşen için Eckl vd.(2001) çalışmasından ölçü sürelerine göre elde edilen en az ve en çok standart sapma değerleri ile CSRS-PPP sonuçlarında elde edilen karesel ortalama hata değerleri karşılaştırılmıştır. Bu değerler, doğu bileşen için ortalama karesel hata 24, 12, 8, 6, 4 ve 2 saatlik veriler için sırasıyla 4.32 mm, 6.42 mm, 8.81 mm, 11.12 mm, 15.91 mm ve 34.07 mm olarak hesaplanmıştır. Kuzey bileşen için sırasıyla 2.26 mm, 3.27 mm, 4.04 mm, 4.95 mm, 7.18 ve 16.53 mm; yükseklik bileşeni içinse sırasıyla, 8.40 mm, 12.05 mm, 14.93 mm, 17.75 mm, 23.36 mm, 43.77 mm olarak elde edilmiştir.

3. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada online tabanlı hassas nokta konumlama tekniği olan CSRS-PPP ile değerlendirilen verilen ölçü süresine bağlı olarak doğruluk değerleri araştırılmıştır. Bu araştırma yapılırken Türkiye'de bulunan 8 farklı TUSAGA-Aktif noktasının verileri 2012-2017 yılları arasında (bu yıllar da dahil olmak üzere) elde edilmiştir. Her yılın 47,48 ve 49 ile 227, 228 ve 229'uncu GNSS gününe karşılık gelen 3 günlük verileri çalışmada kullanılmak üzere 6 aylık periyotlarda farklı ölçü sürelerine bölünmüştür. Bu ölçü süreleri 2,4,6,8 ve 12 olarak rastgele belirlenmiştir. Bu ölçü sürelerindeki veriler CSRS-PPP yazılımı ile online olarak

değerlendirilmiştir. Farklı ölçü sürelerinde online tabanlı CSRS-PPP yazılımı ile değerlendirilen verilerin standart sapma değerleri kuzey, doğu ve yükseklik bileşenleri için her istasyonda incelenmiştir. CSRS-PPP yazılımı ile değerlendirilen 24,12,8,6,4 ve 2 saatlik verilerden elde standart sapma değerleri kuzey bileşen için sırasıyla; 2-3 mm, 3-4 mm, 4-5 mm, 5-7 mm, 6-9 mm ve 11-20 mm arasındadır. Doğu bileşen içinse bu değerler sırasıyla; 4-6 mm, 5-7 mm, 7-9 mm, 8-12 mm, 10-18 mm, 20-35 mm arasında olduğu görülürken, yükseklik bileşeni içinse bu değerler sırasıyla; 8-11 mm, 11-15 mm, 14-18 mm, 16-20 mm, 19-25 mm ve 30-50 mm arasında değişim göstermektedir. Çalışmadan beklenildiği gibi online tabanlı veri değerlendirme yazılımı olan CSRS-PPP'den elde edilen farklı ölçü sürelerindeki standart sapma değerleri artan ölçü süresinde iyileşmektedir. Azalan ölçü süresinde ise daha kötü standart sapma değerleri elde edilmektedir. Çalışmanın bir sonraki adımında ise 2012-2017 yılları arasında seçilen her istasyona ait 24 saatlik verilerin GAMIT/GLOBK yazılımı ile çözümleri Şafak (2019)'dan temin edilerek doğru değerler olarak kabul edilmiştir. Kabul edilen değerlerin sonrasında toposentrik koordinatlara dönüşümü tamamlanarak farklı ölçü sürelerindeki CSRS-PPP yazılımı ile değerlendirilen çözümlerden olan karesel ortalama hataları hesaplanmıştır. Karesel ortalama hata değerleri 24,12,8,6,4 ve 2 saatlik veriler için kuzey bileşende sırasıyla; 2.1 mm, 2.5 mm, 2.6 mm, 3.4 mm, 3.4 mm ve 5.2 mm olarak hesaplanmıştır. Doğu bileşen içinse karesel ortalama hata değerleri sırasıyla; 2.3 mm, 2.8 mm, 3.5 mm, 4.1 mm, 4.0 mm, 7.6 mm olurken, bu değerler yükseklik bileşeni içinse sırasıyla; 6.8 mm, 8.0 mm, 8.8 mm, 9.9 mm, 11.8 mm ve 16.0 mm olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler Eckl vd. (2001) çalışmasında ölçü süresine bağlı olarak verilen konum doğruluğu denklemleri ile karşılaştırılmıştır. Kuzey ve doğu bileşen değerleri için farklı ölçü sürelerinde değerlerin uyumlu olduğu görülmüştür. Yükseklik bileşeni içinse verilen denklemlerde 4 saat ve üzerindeki ölçü sürelerinde uyum sağlanmamıştır. Yapılan birçok çalışmada görüldüğü gibi CSRS-PPP yöntemi uzun ölçü sürelerinde oldukça iyi doğrulukta değerlendirme yapmaktadır. 2 saat olan ölçüm süresinde dahi

yaklaşık 1-2 cm doğruluğunda sonuçlara ulaşılabilir olduğu görülmüştür.

5. Kaynaklar

- Akarsu V., 2012. Gözlem Süresinin GPS Noktası Hızlarının Belirlenmesine Olan Etkisinin Araştırılması, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 188.
- Baybura T., Tiryakioglu İ., Ugur M.A., Solak H.İ., Şafak Ş., 2019. Examining the accuracy of Network RTK and long base RTK methods with repetitive measurements, *Journal of Sensors*, 2019.
- Duman, H., 2016. Bağlı ve PPP tekniklerine göre tekrarlı GPS gözlemlerinden elde edilen nokta hız doğruluklarının araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 109.
- Eckl, M. C., Snay, R. A., Soler, T., Cline, M. W., Mader, G. L., 2001. Accuracy of GPS-derived relative as a function of interstation distance and observing-session duration, *Journal of Geodesy*, **75**, 633-640.
- Kızıllarlan, M., 2014. GPS-PPP ve GPS/GLONASS-PPP Yöntemlerinin Konum Belirleme Performansının Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, 118.
- Kurumahmut, F. K., 2008. İstasyonlar Arası Yükseklik Farkının GPS Konum Belirleme Duyarlılığı Üzerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 118.
- Öcalan, T., 2015. GNSS ağlarında GPS hassas nokta konumlama (GPS-PPP) tekniği yaklaşımli çözümler, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 177.
- Özbulat, Ö., 2021. Hassas nokta konumlama yönteminin ölçü süresine bağlı konum doğruluğunun incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 104.
- Özdemir, S., 2016. TUSAGA ve TUSAGA-Aktif İstasyonlarının Hassas Koordinat ve Hızlarının Hesaplanması Üzerine, *Harita Dergisi*, **155**, 53-81.
- Soler, T., Michalak, P., Weston N. D., Snay, R. A., Foote, R. H., 2006. Accuracy of OPUS solutions for 1- to 4-h observing sessions, *GPS Solution*, **10**, 45.
- Şafak, Ş., 2019. GNSS hız doğruluklarına etki eden parametrelerin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 99.

Şafak, Ş., Tiryakioğlu, İ., Erdoğan, H., Solak, H.İ., Aktuğ, B., 2020. Determination of parameters affecting the accuracy of GNSS station velocities. *Measurement*, 164.

Tiryakioğlu, İ., Dereli, M. A., Gülal, E. ve Erdoğan, S., 2010. Tektonik hareketlerin belirlenmesine yönelik ölçü kampanyalarında GNSS gözlem sayısı ve sürelerinin konum doğruluğuna olan etkilerinin araştırılması, *Harita Teknolojileri Elektronik Dergi*, **1**, 32-38.

Tiryakioğlu İ., Güllü M., Baybura T., Erdoğan S., 2005. GPS Sinyal Yansımasının (Multipath) Nokta Konumlarına Etkisinin Araştırılması, Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, Mühendislik Ölçmeleri STB Komisyonu, 2. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, İTÜ, 535–536, İstanbul.

Zumberge, J.F., Heflin, M.B., Jefferson, D.C., Watkins, M.M., Webb, F.H., 1997. Precise Point Positioning for the efficient and robust analysis of GPS data from large networks. *Journal of Geophysical Research*, **102(3)**, 5005-5017.

AKÜ FEMÜBİD 22 (2022) 045502 (824-835)

AKU J. Sci. Eng. 22 (2022) 045502 (824-835)

DOI: 10.35414/akufemubid.1099852

Araştırma Makalesi / Research Article

Adana Şehir Merkezinde CBS ve AHP Kullanılarak Alışveriş Merkezleri için Uygun Yer Seçimi

Hilal İNCEYAVUZ¹, Tansu ALKAN^{1*}, Süleyman Savaş DURDURAN¹¹ Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Konya.

e-posta: hll122@icloud.com

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-5719-019X>

Sorumlu yazar* e-posta: tansualkan93@gmail.com

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-8293-2765>

e-posta: durduran2001@gmail.com

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-0509-4037>

Geliş Tarihi: 07.04.2022

Kabul Tarihi: 07.07.2022

Öz

Alışveriş merkezleri (AVM) sağladığı rahat ve güvenilir alışveriş imkânı, birçok ihtiyacı tek bir mekândan karşılayabilme kolaylığı ve kaliteli malzemeyi donanımlı elemanlarla tüketiciye sunması açısından kullanıcılar için vazgeçilmez alanlardan biri haline gelmiştir. AVM projeleri için en önemli faktör konumdur. Perakende ticaret alanlarının sürdürülebilirliği, artan rekabet ve konumun sonradan değiştirilmesinin zorluğu açısından AVM konumunun belirlenmesinde birçok faktör birlikte değerlendirilmeli ve bilimsel yöntemlerden faydalanılmalıdır. Bu çalışmada, Adana şehir merkezinde yeni bir AVM projesi için uygun yerlerin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda nüfusun ve yerleşimin yoğun olduğu şehir merkezi ve yakın çevresini kapsayan bir çalışma sınırı oluşturulmuştur. AVM için uygun yerlerin belirlenmesinde arazi büyüklüğü, ulaşılabilirlik ve demografik özellikler olmak üzere üç ana faktör ve on beş alt faktör belirlenmiştir. Bu faktörlerin değerlendirilmesinde Coğrafi Bilgi Sistemlerine (CBS) dayalı Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) tekniklerinden biri olan Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemi kullanılmıştır. AHP ile faktörlerin etki dereceleri belirlenmiş ve CBS ile her bir faktör haritalandırılmıştır. Bu haritalar karşılaştırılarak sonuç haritası elde edilmiş ve uygun olan yerler değerlendirilerek karar vericilere sunulmak üzere alternatif alanlar belirlenmiştir. Bu çalışma, yatırımcılar ve karar vericiler için rehber niteliği olması açısından önem taşımaktadır.

Anahtar kelimeler

Alışveriş merkezleri;
Yer seçimi; Çok kriterli karar verme; Analitik hiyerarşi prosesi;
Coğrafi bilgi sistemi

Suitable Location Selection for Shopping Centers by Using GIS and AHP in Adana City Center

Abstract

Shopping centers have become one of the indispensable areas for users in terms of providing comfortable and reliable shopping opportunities, ease of meeting many needs from a single place, and offering quality materials to consumers with well-equipped personnel. The most important factor for shopping center projects is location. In terms of the sustainability of retail trade areas, increasing competition and the difficulty of changing the location later, many factors should be evaluated together and scientific methods should be utilized in determining the location of the shopping center. In this study, it is aimed to determine suitable locations for a new shopping center project in Adana city center. For this purpose, a working boundary covering the city center and its immediate surroundings, where the population and settlement is dense, has been created. Three main factors, namely land size, accessibility and demographic characteristics, and fifteen sub-factors were determined in the determination of suitable locations for shopping center. Analytical Hierarchy Process (AHP) method, which is one of the Multi-Criteria Decision Making (MCDM) techniques based on Geographic Information Systems (GIS), was used to evaluate these factors. The effect degrees of the factors were determined with AHP and each factor was mapped with GIS. The result map was obtained by overlaying these maps, and alternative areas were determined to be presented to the decision makers by evaluating the suitable locations. This study is important in terms of being a guide for investors and decision makers.

Keywords

Shopping centers;
Location selection;
Multi-criteria decision making; Analytical hierarchy process;
Geographic information system

1. Giriş

Alışveriş merkezleri (AVM), merkezi bir birim tarafından yapılandırılan, planlanan ve yönetilen perakende ticaret alanlarının ve çeşitli hizmet kuruluşlarının yer aldığı kompleks bir yapıdır (Köksal ve Emirza 2011). Bu yapılar giyim, kafe, restoran, terzi, bankamatik, eczane gibi farklı sektörleri bir arada bulundurması, oyun aktiviteleri, sinema gibi eğlence olanakları sunması, kapalı mekânları sayesinde hava koşullarından etkilenmemesi, otopark imkânları, temiz ve güvenli olması ve daha esnek saatlerde açık olması özellikleri ile tüketiciye hizmet vermektedir. Bu özellikleri ile AVM'ler büyüyen popülariteleriyle birlikte tüketicileri memnun etmelerinin yanı sıra üreticiler için de kolay pazarlama alanı ve satış yolu olarak önem kazanmaktadır (Bayar 2005). Şehirlerin gelişmesine ve yenilenmesine katkı sağlayan AVM'ler şehirsiz arazi kullanımı içerisinde önemli bir role sahiptir.

Hızlı kentleşme, artan nüfus ve tüketici istekleri doğrultusunda AVM'ler oldukça tercih edilen mekânlardır. Bir AVM'nin başarılı, kazançlı ve sürdürülebilir olmasında en önemli faktör konumudur. Bu bağlamda kuruluş yeri seçimini etkileyen çevresel, sosyal, ekonomik ve teknik birçok faktörün birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir. AVM'ler için en uygun kuruluş yeri seçimlerinde uzun bir planlama aşaması gereklidir. Çünkü AVM'ler yapım maliyeti çok yüksek mekânlar olmakla birlikte hem şehir hem de ülke ekonomisine karlı dönüşler sağlaması açısından önem taşımaktadır.

Uygun yer seçimi problemlerinde karar vericiler birçok faktörü birlikte değerlendirmelidir. Karar vericiler tarafından çeşitli kaynaklardan elde edilen birbirinden farklı faktörlerin bilimsel ve sistemsel bir şekilde analiz edilerek değerlendirilmeleri amacıyla geliştirilen tekniklere Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri denir (Ünalık 2019). ÇKKV yöntemleri ölçülebilen ve ölçülemeyen birçok faktörü bir arada değerlendirilen ve aynı zamanda karar verme sürecinde uzman görüşlerine başvuran analitik yöntemlerdir (Özcan vd. 2017). Uygun yer

seçimi analizlerinde ÇKKV yöntemleri ile birlikte Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) de yaygın olarak kullanılmaktadır. CBS karar verme sürecinde verilerin toplanması, depolanması, analizi ve görselleştirilmesi açısından önemli rol oynamaktadır. CBS ile faktörlere ait haritaların hazırlanması ve ÇKKV yöntemleri kullanılarak faktörlerin probleme etki derecelerinin belirlenmesi sonucu uygun yer seçimi analizleri gerçekleştirilebilir ve alternatif alanlar belirlenebilir. Uygun yer seçimi analizlerinde ÇKKV yöntemlerinden biri olan Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır.

Literatür incelendiğinde; Bayar (2005), Ankara için gerçekleştirdiği çalışmada CBS ile mevcut AVM'leri inceleyerek yeni kurulacak AVM'ler için uygun yer seçimi alternatiflerini sıralamayı amaçlamış ve mekânsal analizler gerçekleştirerek uygun alanları tespit etmiştir. Ersoy (2006), AVM'lerin yer seçimi kriterlerini incelemiş ve bu kriterleri Forum İstanbul Alışveriş ve Eğlence Merkezi Projesine uygulamıştır. Genç (2010), İstanbul ilindeki AVM'lerin özelliklerini belirlemiş ve şehrin gelişim yönünü de dikkate alarak CBS ile mekânsal analizler gerçekleştirerek yeni kurulacak AVM'ler için uygun ilçeleri belirlemiştir. Köksal ve Emirza (2011), Ankara ilinde cadde mağazaları ve AVM'ler için kuruluş yeri tercihlerini etkileyen kriterleri analiz etmiştir. Çavuşoğlu (2013), Adana ilindeki AVM'lerin mekânsal dağılımını belirleyerek mevcut AVM'lerin konum tercihlerinde etkili olan nedenleri belirlemiştir. Erdoğan (2013), Ankara ilindeki AVM'lerin mekânsal dağılımını inceleyerek AVM'lerin konum tercihlerinde hangi faktörlerin ne derece etkili olduklarını belirlemiştir. Yavuz ve Devci (2014), Bulanık TOPSIS ve bulanık VIKOR yöntemleri ile Erzincan ilinde AVM kuruluş yeri için potansiyel bölgeleri değerlendirerek en uygun yer seçimini yapmıştır. Soba vd. (2014), Bulanık TOPSIS yöntemi kullanarak Uşak ilinde yeni bir AVM için en uygun kuruluş yeri tespit etmiştir. Mohamad vd. (2015), uygun yer seçimine ilişkin verilerin değerlendirilmesini CBS ile gerçekleştirmiş ve müşteri tercihlerini değerlendirmek için anket çalışması yapmıştır. Sonuç olarak Al Ain şehrinde

AVM dağılımının genellikle rastgele ve düzensiz olduğu tespit edilmiştir. Üke (2016), Çorum şehrinde on faktör ve sekiz alternatif belirleyerek AHP yöntemi ile AVM için uygun kuruluş yeri belirlemiştir. Ünlükara ve Berköz (2016), AVM yer seçiminde etkili olan faktörleri AHP yöntemi kullanarak değerlendirmiştir. Yıldız vd. (2017), ANP yöntemi kullanarak Amasya’da yapılacak AVM için en uygun yer seçimi analizi gerçekleştirmiştir. Türk (2018), AVM yer seçimi problemine CBS ile çözüm bulunmasını amaçlamış ve AVM tüketicilerinin özellikleri, istekleri ve beklentileri doğrultusunda elde edilen verileri CBS ile bütünleştirerek en uygun AVM kuruluş yerini belirlemiştir. Aslan (2018), Ankara’da yapılması planlanan AVM’lerin konumlarına yapar sinir ağlarını kullanarak karar vermiştir. Zhou ve An (2018), büyük ölçekli AVM’ler için en iyi konumu belirlemek amacıyla CBS teknolojisini kullanmış ve çeşitli faktörleri analiz etmiştir. AVM alternatif konumları içinden en uygun konumu belirlemek için Huff modeli kullanmıştır. Gümüş vd. (2019), CBS ve AHP yöntemlerini kullanarak Niğde şehrinde AVM için en uygun kuruluş yerini belirlemiştir. Erdin ve Akbaş (2019), Türkiye’deki AVM’lerin yer seçimi için bulanık TOPSIS ve CBS yöntemlerini kullanmış ve Marmara bölgesinin en uygun alternatif olduğunu belirlemiştir. Ghorui vd. (2020), Hindistan’da yaptıkları çalışmada bulanık AHP ve bulanık TOPSIS yöntemlerini kullanarak AVM için çok sayıda alternatif konum arasından en uygun yer seçimi yapmıştır. Özmen (2020), CBS destekli AHP yöntemi kullanarak Sultanbeyli ilçesinde yeni AVM için uygun yer seçimi analizi gerçekleştirmiştir.

Bu çalışma, CBS’ye dayalı AHP yöntemi kullanılarak Adana şehir merkezinde yeni yapılacak AVM’ler için en uygun yerlerin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanı yerleşim ve sosyal hayatın fazla olması sebebiyle Adana il merkezi ve nüfusun yoğun olduğu çevre yerleşim yerleri olarak belirlenmiştir. Literatürde daha önce yapılmış çalışmalar incelenmiş, şehrin istek ve ihtiyaçları göz önünde bulundurulmuş ve uzman kişilerin görüşleri alınarak AVM konumunu etkileyen faktörler tespit edilmiştir. Faktörlerin ağırlıkları uzman görüşleri alınarak Super Decisions programı yardımıyla

belirlenmiştir. ArcGIS 10.7 yazılımı kullanılarak CBS ile faktörlere ait mekânsal analizler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen faktör ağırlıkları kullanılarak oluşturulan sonuç haritasında Adana şehir merkezinde AVM projesi için uygun alanlar tespit edilerek beş tane alternatif alan önerilmiştir. Bu çalışma, yatırımcılar için yol gösterici olma niteliğini taşımaktadır.

2. Materyal ve Metot

2.1 Materyal

Günümüzde AVM’ler vazgeçilmez mekânlar arasına girmiştir. Bu yapılar tüketici tarafından beklediği ilgiyi yakaladığında hem şehrin kalkınmasına hem de ülke ekonomisine olan olumlu katkıları ile fayda sağlamaktadır. AVM konumunun yeterli araştırma ve değerlendirme yapılmadan belirlenmesi hedeflediği kitleye ulaşamamasına dolayısıyla kapanmasına sebep olabilir. Bu da hem ülke ekonomisine hem de yatırımcıya zarar vermesinin yanı sıra atıl durumdaki bu yapılar çevre ve görüntü kirliliğine sebep olur. Bu yüzden AVM için en önemli faktörün konumu olduğunu söylemek mümkündür. AVM projesi için en uygun yerlerin belirlenmesinde sayısal ve sözel veriler birlikte değerlendirilerek matematiksel yöntemler kullanılmalı ve mekânsal analizler gerçekleştirilmelidir.

Bu çalışmada, kültürel ve ekonomik özellikleri, nüfus yoğunluğu ve gastronomi açısından önemli bir şehrimiz olan Adana ili çalışma alanı olarak seçilmiştir. Adana ili 2021 yılı verilerine göre 2.263.373 nüfusa sahiptir ve yüzölçümü 13.844 km²’dir (Int Kyn. 1). Şehrin batısında Mersin, kuzeybatısında Niğde, kuzeyinde Kayseri, kuzeydoğusunda Kahramanmaraş, doğusunda Osmaniye ve güneydoğusunda Hatay illeri yer almaktadır. Çalışma alanı, Adana ilinde nüfusun yoğun ve yerleşimin fazla olduğu alan ve çevresi olarak oluşturulmuştur (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışma alanı konum haritası

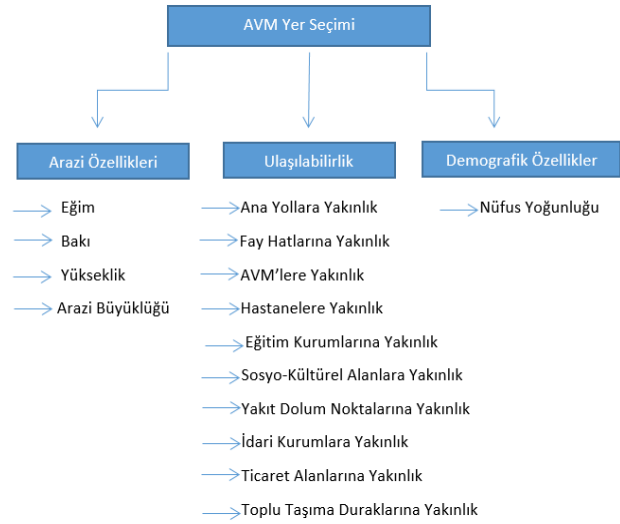
2.2 Metod

AVM yer seçimini etkileyen faktörlerin önem derecelerini belirlemek için ÇKKV yöntemlerinden biri olan AHP yöntemi kullanılmıştır. AHP yöntemi Myers ve Alpert ikilisi tarafından ilk olarak 1968 yılında ortaya atılan ve 1977 yılında Saaty tarafından geliştirilerek çok kriterli karar verme problemlerinde kullanılan bir yöntem haline gelmiştir. AHP yöntemi nitel ve nicel verileri birlikte değerlendirilerek problemi etkileyen faktörlerin ağırlıklarını tespit eden ve alternatiflerin sıralanmasını sağlayan bir yöntemdir. AHP yönteminin uygulama adımları şu şekildedir (Saaty 2008):

Problemin tanımlanması: İlk adım olarak problem belirlenir. Bu çalışmada problem Adana ili şehir merkezinde AVM projeleri için en uygun yerlerin belirlenmesidir.

Hiyerarşik yapının oluşturulması: İkinci adım olarak amaç, faktörler, alt faktörler ve alternatiflerden oluşan hiyerarşik yapı oluşturulur. AVM için uygun yer seçimini etkileyen faktörler literatür incelenerek ve uzman görüşü alınarak belirlenmiştir (Şekil 2). Bu faktörler arazi özellikleri, ulaşılabilirlik ve demografik özellikler olmak üzere üç ana

faktörden oluşmaktadır. Arazi özelliklerinde alt faktörler eğim, bakı, yükseklik ve arazi büyüklüğüdür. Ulaşılabilirlikte alt faktörler ana yollara, fay hatlarına, AVM'lere, hastanelere, eğitim kurumlarına, sosyo-kültürel alanlara, yakıt dolm noktalarına, idari kurumlara, ticaret alanlarına ve toplu taşıma duraklarına yakınlıktır. Demografik özelliklerin ise alt faktörü nüfus yoğunluğudur.



Şekil 2. AVM yer seçimini etkileyen faktörlerin hiyerarşik yapısı

İkili karşılaştırma matrislerinin oluşturulması: AHP yönteminin temelinde ikili karşılaştırma matrisleri vardır. Her faktör için ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulur ve böylece faktörlerin ağırlıkları belirlenir. İkili karşılaştırmada kullanılan ölçek Çizelge 1' de verilmiştir.

Çizelge 1. İkili karşılaştırma ölçeği (Saaty 2008).

Önem Ölçeği	Açıklama
1	Her faktör eşit önemlidir.
3	1. faktör 2. faktörden daha önemlidir.
5	1. faktör 2. faktörden çok daha önemlidir.
7	1. faktör 2. faktöre nazaran çok güçlü önemlidir.
9	1. faktör 2. faktöre nazaran mutlak üstün önemlidir.
2, 4, 6, 8	Ara değerler

Faktörler için ağırlıkların hesaplanması: İkili karşılaştırma matrisleri (1) oluşturulduktan sonra sütunlara ait toplam değer hesaplanır ve değerler ait oldukları sütun toplamına bölünür (2). Elde edilen matrisin satırlarında yer alan değerlerin ortalaması hesaplanarak W ağırlık vektörü elde edilir (3).

$$A = [a_{ij}] = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & a_{23} & \dots & a_{2n} \\ 1/a_{13} & 1/a_{23} & 1 & \dots & a_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & 1/a_{3n} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$c_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (2)$$

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n c_{ij}}{n} \quad (3)$$

Faktörlerin ikili karşılaştırmaları yapılırken uzman görüşleri alınmıştır. Saaty tarafından geliştirilen 1-9 ölçeği kullanılarak her bir faktör değerlendirilmiştir. Elde edilen değerler Super Decisions programına girilerek faktörlerin ağırlıkları hesaplanmıştır (Çizelge 2).

Çizelge 2. AVM yer seçim faktörleri ve ağırlıkları

Ana faktörler	Alt faktörler	Ağırlıklar
Arazi özellikleri (0.072)	Eğim	0.271
	Bakı	0.045
	Yükseklik	0.110
	Arazi Büyüklüğü	0.573
Ulaşılabilirlik (0.649)	Ana yollara yakınlık	0.330
	Fay hatlarına yakınlık	0.018
	AVM'lere yakınlık	0.042
	Hastanelere yakınlık	0.028
	Eğitim kurumlarına yakınlık	0.056
	Sosyo-kültürel alanlara yakınlık	0.136
	Yakıt dolum noktalarına yakınlık	0.014
	İdari kurumlara yakınlık	0.031
	Ticaret alanlarına yakınlık	0.108
	Toplu taşıma duraklarına yakınlık	0.236
Demografik özellikler (0.279)	Nüfus yoğunluğu	0.279

Super Decisions programı ile her bir faktöre ait elde edilen yüzde önem ağırlıkları incelendiğinde ulaşılabilirlik faktörünün 0.649 ile en yüksek önem derecesine sahip olduğu belirlenmiştir. Bu faktörü 0.279 önem derecesi ile demografik özellikler ile 0.072 önem derecesi ile arazi özellikleri faktörleri takip etmektedir. Her bir ana faktör kendi içerisinde incelendiğinde ise arazi özellikleri ana faktörü için 0.573 ağırlığı ile arazi büyüklüğü faktörünün ve ulaşılabilirlik ana faktörü için 0.330 ağırlığı ile ana yollara yakınlık faktörünün en yüksek önem derecesine sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Tutarlılık oranının hesaplanması: İlk olarak Temel Değer (λ) hesaplanması gerekir. Karşılaştırma matrisi (A) ile ağırlık vektörü (w) çarpılır, elde edilen değerler w ağırlık vektörünün elemanlarına bölünür ve aritmetik ortalama alınarak λ değeri bulunur (4). Sonra Tutarlılık İndeksi (CI) hesaplanır (5). Tutarlılık Oranı (CR), CI değerinin Rassallık İndeksi (RI) değerine (Çizelge 3) bölünmesi ile elde edilir (6).

$$\lambda = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{\sum_{j=1}^n a_{ij} w_j}{w_i} \right) \quad (4)$$

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1} \quad (5)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (6)$$

Çizelge 3. Rassallık indeksi değerleri (Saaty 2008)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

Oluşturulan ikili karşılaştırma matrisleri için Tutarlılık Oranı hesaplanır ve bu değer en fazla 0.10 olması beklenir. Tutarlılık oranı 0.10'dan küçük bir değer ise elde edilen sonuçlar tutarlıdır, fakat 0.10'dan büyük bir değer ise elde edilen sonuçlar tutarsızdır. Bu çalışmada Tutarlılık Oranı 0.04 olarak hesaplanmıştır. Bu da elde edilen sonuçların tutarlı olduğunu göstermektedir.

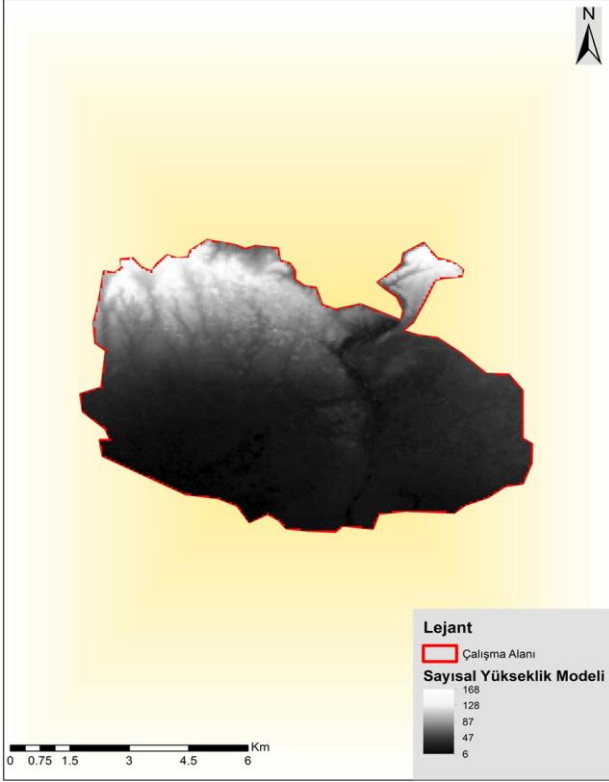
3. Bulgular

Adana ili şehir merkezinde yeni bir AVM projesi için en uygun alanların belirlenmesinde CBS teknolojilerinden faydalanılmıştır. Her bir faktör için ArcGIS 10.7 yazılımı kullanılarak mekânsal analizler gerçekleştirilmiş ve haritalar üretilmiştir. AHP yöntemi ile elde edilen ağırlıklar kullanılarak sonuç olarak uygunluk haritası elde edilmiştir.

3.1. Arazi özellikleri faktörü

Arazi özellikleri faktörleri; eğim, bakı, yükseklik ve arazi büyüklüğüdür. Bu faktörlerin mekânsal analizlerinin gerçekleştirilebilmesi için yükseklik verisine ihtiyaç vardır. National Aeronautics and Space Administration (NASA)'nın ücretsiz açık erişime sahip olan sitesinden SRTM verisi indirilmiştir (Int Kyn. 2). 2004 yılında NASA SRTM sayısal yükseklik modelini ABD bölgesi için 1" diğer bölgeler için ise 3" çözünürlükte ücretsiz olarak

kullanıma açmıştır (Bildirici ve Abbak 2020). Çalışma alanına ait Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) oluşturulmuştur (Şekil 3).



Şekil 3. Çalışma alanı sayısal yükseklik modeli

Arazi özellikleri faktörlerine ait mekânsal analizler Şekil 4'te verilmiştir. Eğim faktörü değerlendirildiğinde bir AVM projesinin uygulanmasında arazi eğimi ne kadar düz olursa maliyet de o kadar düşük olacaktır. Çok yüksek eğimlere sahip olmayan çalışma alanında, özellikle şehrin güneyi ve şehir merkezi çevresinin eğim açısından çok uygun alanlar olduğu ve şehrin kuzeyine gidildikçe eğimin arttığı görülmektedir. AVM konumu için uygun olan bakı yönleri düz yüzeyler, güney, doğu, batı ve kuzey şeklinde sıralanabilir. Bakı haritası incelendiğinde uygun yerlerin çalışma alanının geneline yayıldığı görülmekle birlikte daha çok şehir merkezinde yoğunlaşmaktadır. Yüksekliğin düşük olduğu alanlar maliyet açısından ele alındığında AVM yer seçimi için daha uygun olacaktır. Yükseklik haritası incelendiğinde uygun olan alanların şehrin güneyi ve merkezi olduğu görülmektedir. AVM projelerinde ileriye dönük büyüme çalışmaları da göz önünde bulundurulduğunda AVM konumu için büyük arazilerin bulunduğu alanlar daha uygundur. Arazi büyüklüğü haritasına göre şehir merkezinde

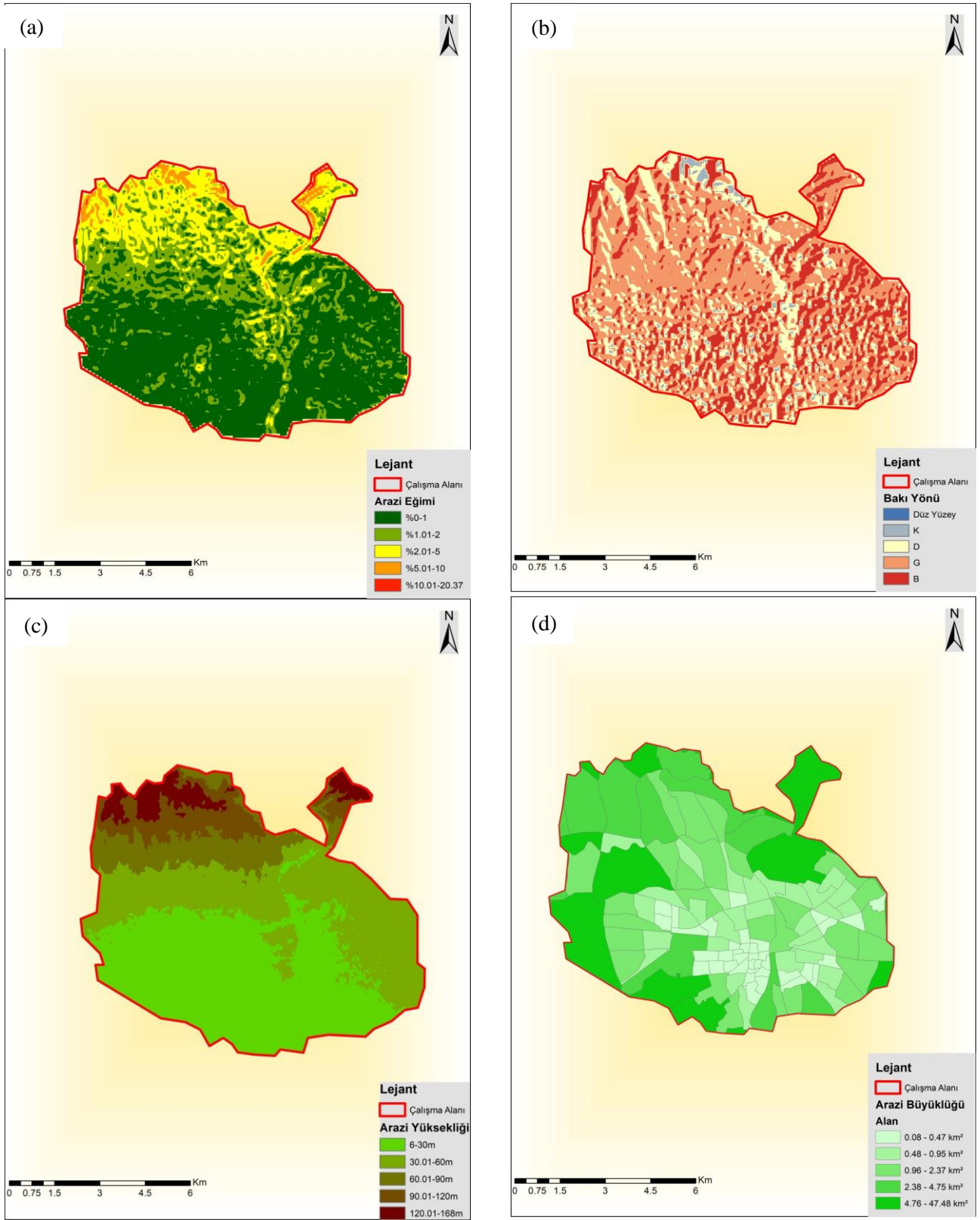
daha küçük arazilerin, merkezden çalışma sınırına doğru gidildikçe daha büyük arazilerin bulunduğu tespit edilmiştir.

3.2. Ulaşılabilirlik faktörü

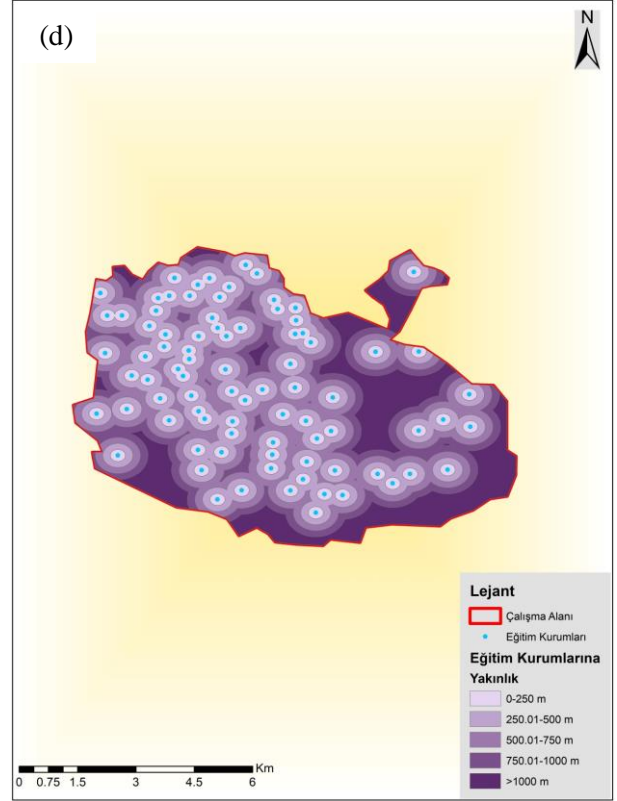
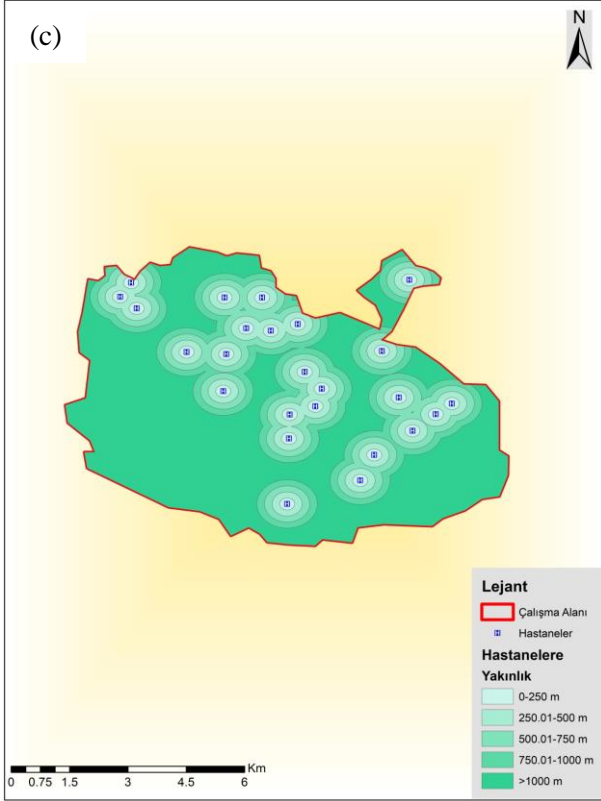
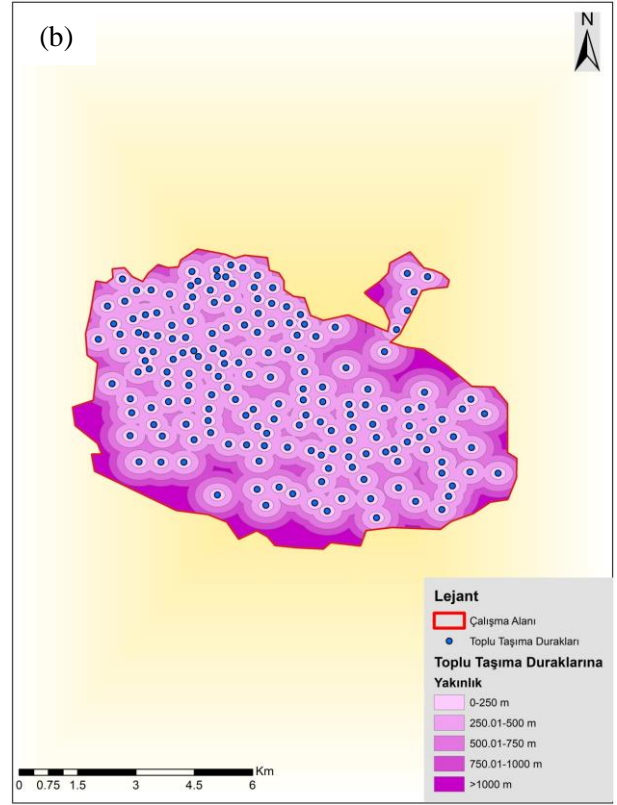
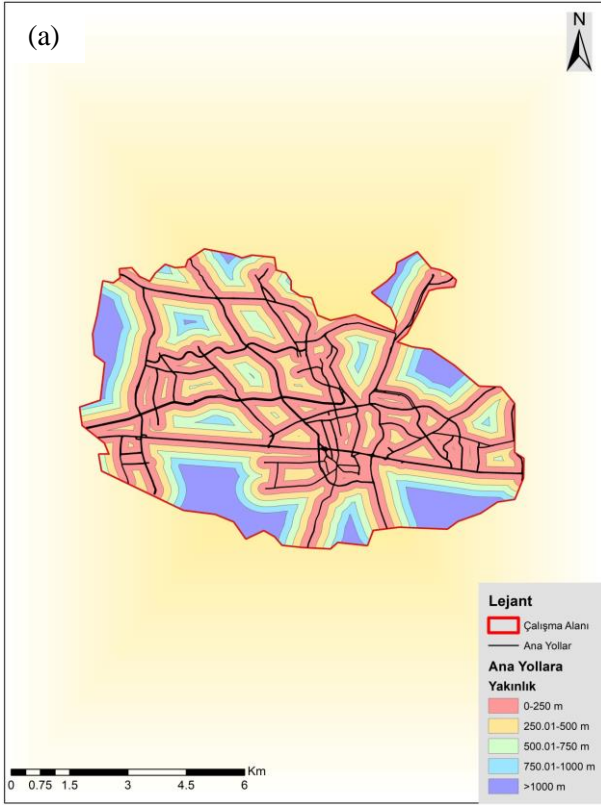
Ulaşılabilirlik faktörlerinden ana yollar verisi OpenStreetMap verilerinden, diğer veriler ise sayısallaştırma yapılarak elde edilmiştir. Ulaşılabilirlik faktörleri için Buffer analizleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 5). Ana yollara, toplu taşıma duraklarına, eğitim kurumlarına, hastanelere, idari kurumlara, sosyo-ekonomik alanlara, ticaret alanlarına ve yakıt dolm noktalarına yakın olan alanlar AVM konumu için uygun yerler olarak belirlenmiştir. Buffer analizlerinde 0 ile 1000 m arası uygun alanlar ve >1000 m alanlar ise uygun olmayan alanlar olarak değerlendirilmiştir. Adana ilinde mevcutta üç adet AVM bulunmaktadır. Mevcut AVM'lere yakın olan alanlar daha az uygun olacağı için 0 m'den 1000 m'ye doğru gidildikçe uygunluğun arttığı ve >1000 m olan alanların ise uygun alanlar olduğu düşünülerek değerlendirmeye alınmıştır. Deprem gibi doğal afetler, yapılaşma için yer seçiminde önemli bir faktördür. AVM konumunun da fay hattına uzak olması gerekir. Fay hattı faktörüne yakınlığın >5000 m olduğu alanlar uygun alanlar olarak değerlemeye alınmıştır.

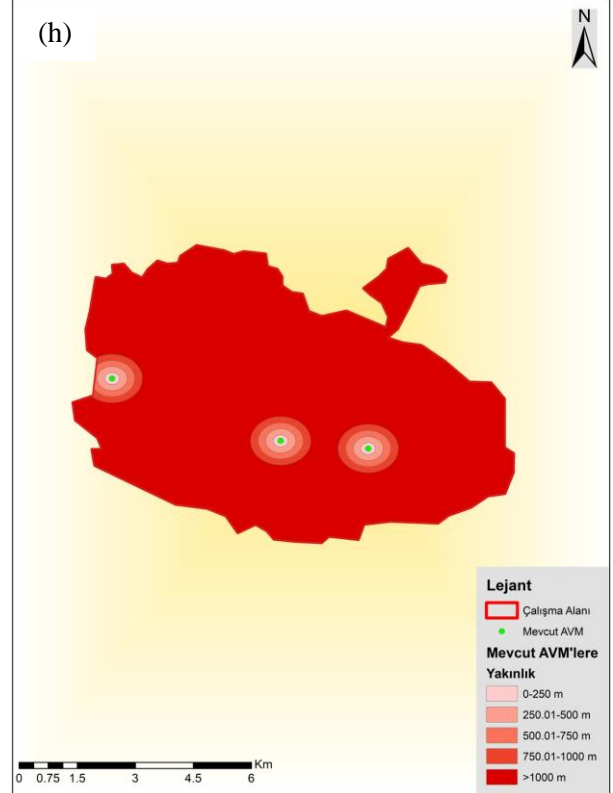
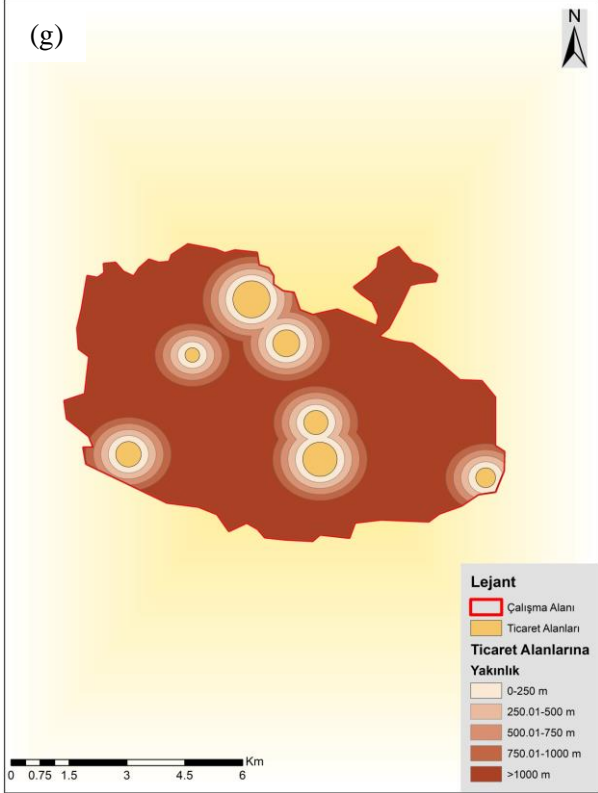
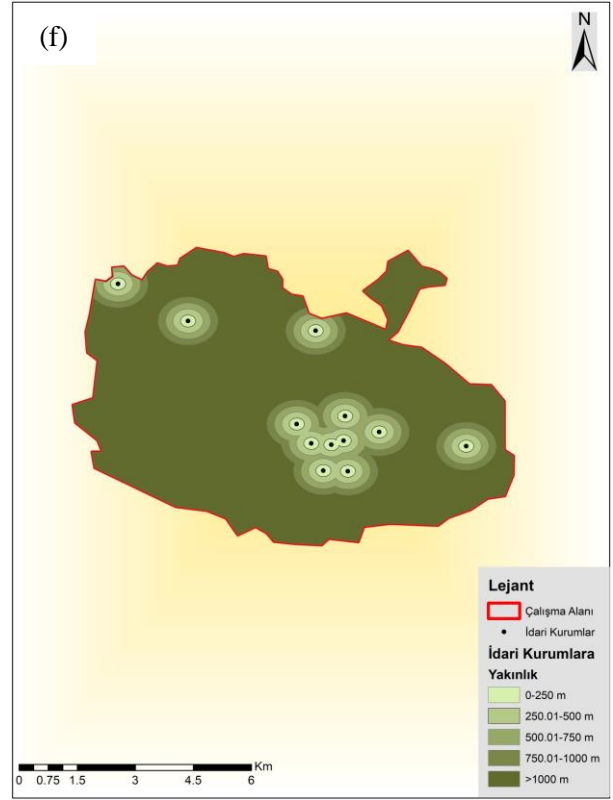
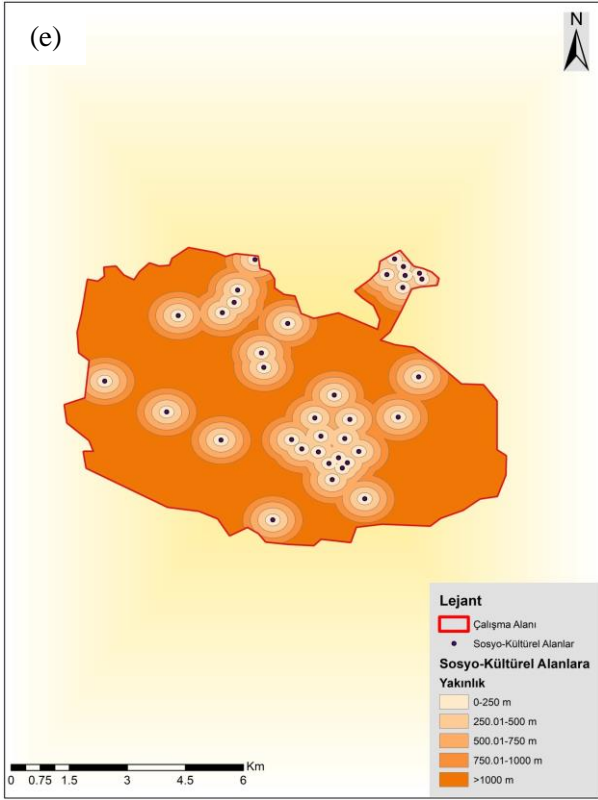
3.3. Demografik özellikler faktörü

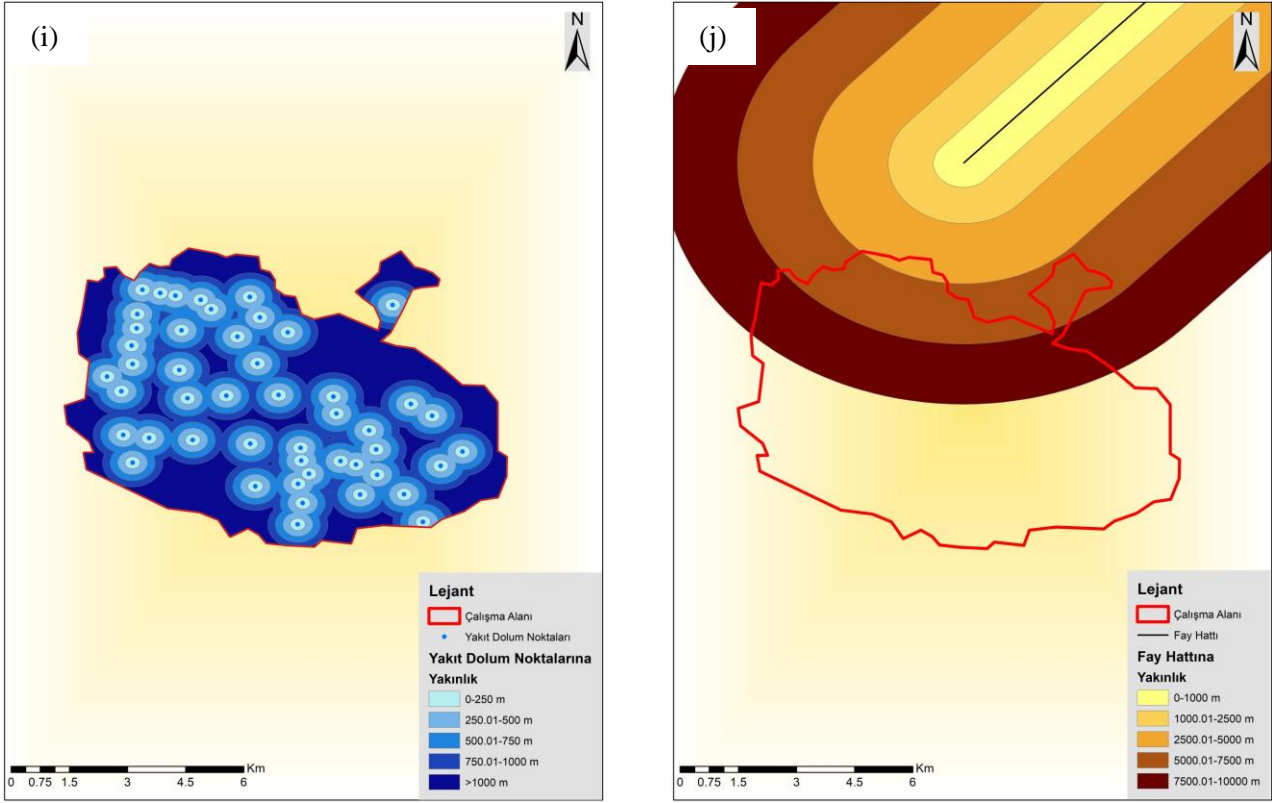
Nüfus verisi Türkiye İstatistik Kurumundan elde edilmiştir. Nüfusun yoğun olduğu alanlarda müşteri potansiyeli de daha yüksek olacaktır. Nüfus yoğunluğu haritası incelendiğinde açık renkten koyu renklere doğru gidildikçe nüfus yoğunluğu artmakta ve bu doğrultuda AVM için uygun alanlar artmaktadır. Şehir merkezinde ve şehrin kuzeyinde nüfusun yoğunlukta olduğu görülmektedir (Şekil 6).



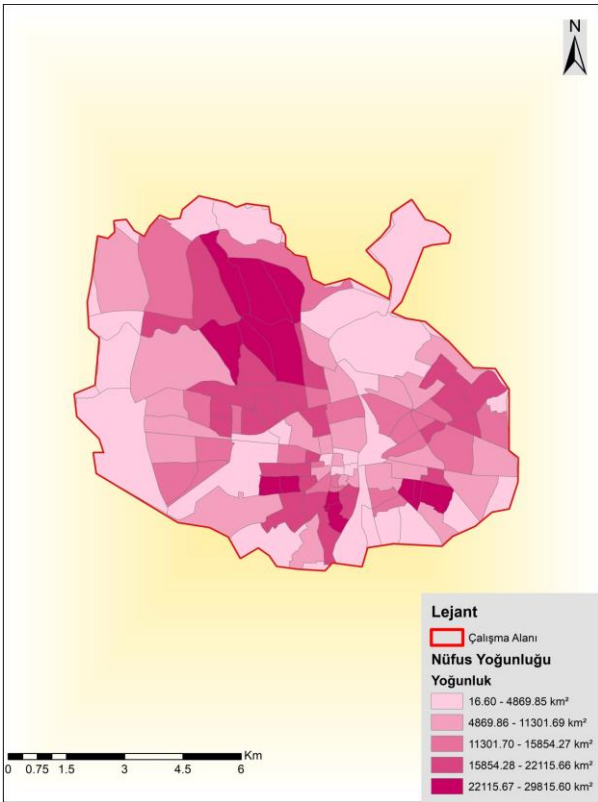
Şekil 4. (a) eğim, (b) bakı, (c) arazi yüksekliği, (d) arazi büyüklüğü haritası





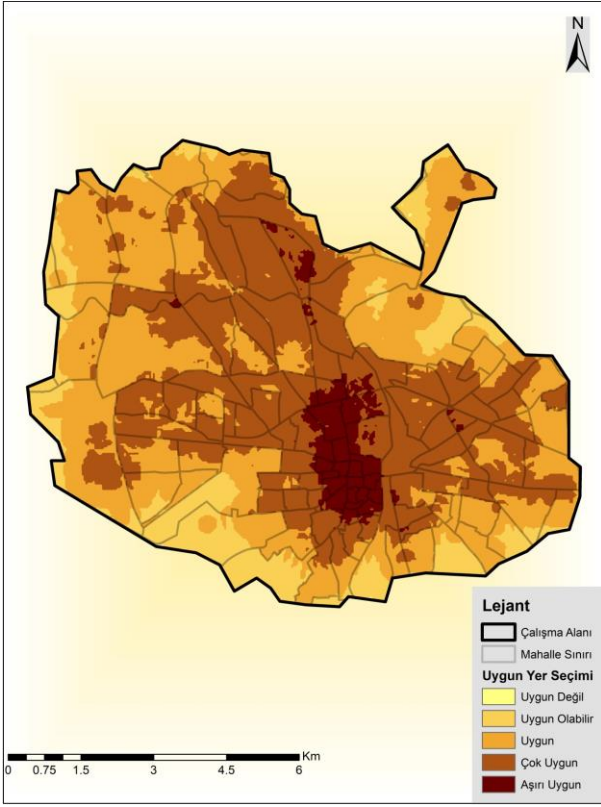


Şekil 5. (a) ana yollara, (b) toplu taşıma duraklarına, (c) hastanelere, (d) eğitim kurumlarına, (e) sosyo-kültürel alanlara, (f) idari kurumlara, (g) ticaret alanlarına, (h) mevcut AVM'lere, (i) yakıt dolum noktalarına, (j) fay hattına yakınlık haritaları (Buffer analizleri)



Şekil 6. Nüfus yoğunluğu haritası

Bu çalışmada, Adana şehir merkezinde yeni bir AVM projesi için uygun olan yerlerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Öncelikle AVM konumunu etkileyen faktörler literatür taraması ve uzman görüşü doğrultusunda belirlenmiş ve bu faktörlerin önem dereceleri ÇKKV yöntemlerinden biri olan AHP yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. CBS ile her bir faktör için mekânsal analizler gerçekleştirilmiş ve elde edilen faktör ağırlıkları kullanılarak uygunluk haritası üretilmiş (Şekil 7) ve beş tane alternatif alan önerilmiştir (Şekil 8). Alternatif alanlar belirlenirken uygunluk haritası referans alınmıştır. Çalışma alanı içerisinde AVM için uygun olabilecek alanlar belirlenmiş ve bu alanların konum olarak uygunluk haritasındaki uygun alanlarda olmasına dikkat edilerek alternatif alanlar kullanıcıya sunulmuştur.



Şekil 7. Adana şehir merkezinde AVM konumu için uygunluk haritası



Şekil 8. Adana şehir merkezinde AVM konumu için alternatif alanlar

Uygunluk haritası incelendiğinde, kent merkezinin kuzey batısı, kuzeyinde kalan Turgut Özal Bulvarı ve çevresi, Adana-Mersin otoyolunun güneyinde kalan Gürsel Paşa Mahallesi ve çevresi, kent merkezi ve doğusunda kalan Merkez Park, Sabancı Cami gibi tarihi alanlara yakın bölgeler AVM konumu için uygun alanlar olarak tespit edilmiştir.

4. Sonuç

Son yıllarda perakende sektörünün gelişmesi, insanların beklentileri ve artan yaşam standartları, birden fazla işi tek mekânda halletme gibi istekleri doğrultusunda AVM'ler ihtiyaç duyulan ve tercih edilen merkezler haline gelmiştir. Ülke ekonomisine, yatırımcısına ve tüketicisine fayda sağlayan bu merkezler için en önemli unsur konumudur. AVM'ler için en uygun konumun belirlenmesi planlı kentleşme ve sürdürülebilirlik açısından önem arz etmektedir. Bu bağlamda bir AVM projesi için öncelikle konumu etkileyen faktörlerin belirlenmesi ve matematiksel yöntemler ile değerlendirilmesi gerekir. Ayrıca mekânsal analizler gerçekleştirilerek nesnel bir şekilde uygun alanlar tespit edilmelidir.

Bu çalışma, Adana'da yapılması planlanan AVM projelerinin belli bir standartta birçok faktör değerlendirilerek yapılmasına örnek olması açısından önem taşımaktadır. Ayrıca yatırımcılar ve karar vericiler için de yol gösterici niteliğindedir.

5. Kaynaklar

Aslan, H., 2018. Yapay sinir ağları kullanarak alışveriş merkezi lokasyon belirlemeye ilişkin model önerisi. Yüksek Lisans Tezi, Türk Hava Kurumu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 59.

Bayar, R., 2005. CBS yardımıyla modern alışveriş merkezleri için uygun yer seçimi: Ankara örneği. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 3 (2), 19-38.

Bildirici, İ.Ö. ve Abbak, R.A., 2020. Türkiye ve çevresinde SRTM sayısal yükseklik modelinin doğruluğu. *Geomatik*, 5 (1), 01-09.

Çavuşoğlu, N., 2013. Adana şehrindeki alışveriş merkezlerinin lokasyon tercihleri. Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kahramanmaraş, 56.

- Erdin, C. and Akbaş, H. E., 2019. A Comparative analysis of fuzzy TOPSIS and Geographic Information Systems (GIS) for the location selection of shopping malls: A case study from Turkey. *Sustainability*, **11**, 3837.
- Erdoğan, Ö., 2013. Ankara kentindeki alışveriş merkezlerinin yer seçim tercihleri ve mekansal etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara, 134.
- Ersoy, M. A., 2006. Alışveriş merkezleri yerseçimi ve forum istanbul alışveriş ve eğlence merkezi örneği. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 105.
- Genç, S., 2010. Alışveriş merkezleri için uygun yer seçiminde coğrafi bilgi sistemlerinin kullanılması: İstanbul örneği. Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 121.
- Ghorui, N., Ghosh, A., Algehyne, E. A., Mondal, S. P. and Saha, A. K., 2020. AHP-TOPSIS inspired shopping mall site selection problem with fuzzy data. *Mathematics*, **8**, 1380.
- Gümüş, M. G., Balta, M. Ö. ve Durduran, S. S., 2019. Coğrafi bilgi sistemlerine dayalı çok kriterli karar verme teknikleri ile alışveriş merkezi kuruluş yeri seçimi: Niğde örneği. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **8** (1), 134-146.
- Köksal, Y. ve Emirza, E., 2011. Kuruluş yeri açısından cadde ve alışveriş merkezi mağazacılığının karşılaştırılması: Ankara ilinde bir araştırma. *Mustafa Kemal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, **8** (16), 75-87.
- Mohamad, M. Y., Al Katheeri, F. and Salam, A., 2015. A GIS application for location selection and customers' preferences for shopping malls in Al Ain City; UAE. *American Journal of Geographic Information System*, **4** (2): 76-86.
- Özcan, E. C., Ünlüsoy, S. ve Eren, T., 2017. ANP ve TOPSIS yöntemleriyle Türkiye'de yenilenebilir enerji yatırım alternatiflerinin değerlendirilmesi. *Selcuk University Journal of Engineering, Science and Technology*, **5** (2), 204-219.
- Özmen, A. H., 2020. CBS destekli analitik hiyerarşi yöntemi ile uygun yer seçimi; Sultanbeyli'de alışveriş merkezleri örneği. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 43.
- Saaty, T. L., 2008. Decision making with the analytic hierarchy process. *Int. J. Services Sciences*, **1** (1), 83-98.
- Soba, M., Şimşek, A. ve Bayhan, M., 2014. Bulanık TOPSIS yöntemi ile alışveriş merkezi kuruluş yeri seçimi: Uşak ilinde bir uygulama. *Ekonomi ve Yönetim Araştırmaları Dergisi*, **3** (2), 103-132.
- Türk, E., 2018. Alışveriş merkezi (AVM) kuruluş yeri seçiminde Coğrafi Bilgi Sistemlerinin (CBS) kullanılması: Sivas il merkezi örneği. Yüksek Lisans Tezi, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Nevşehir, 112.
- Üke, K., 2016. AHP yöntemi ile Çorum şehrinde Avm kuruluş yeri seçimi. Yüksek Lisans Tezi, Hitit Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Çorum, 85.
- Ünaldık, S. B., 2019. Çok kriterli karar verme yöntemi ile yer seçimi kararı üretiminde coğrafi bilgi sistemlerinin kullanımı. *Yapı Bilgi Modelleme*, **1** (2), 46-52.
- Ünlükara, T. ve Berköz, L., 2016. Alışveriş merkezlerinin yer seçimi kriterleri: İstanbul örneği. *MEGARON*, **11** (3), 437-448.
- Yavuz, S. ve Deveci, M., 2014. Bulanık TOPSIS ve bulanık VIKOR yöntemleriyle alışveriş merkezi kuruluş yeri seçimi ve bir uygulama. *Ege Akademik Bakış*, **14** (3), 463-479.
- Yıldız, A., Akgül, S. ve Güvercin, S., 2017. Alışveriş merkezi kuruluş yeri seçiminde Analitik Ağ Prosesi (ANP) yönteminin kullanılması. Uluslararası Mühendislik Araştırmaları Sempozyumu, Düzce, 43-51.
- Zhou, L., and An, Y., 2018. Research on location selection of super mall based on GIS Technology and Huff Model. *Advances in Economics, Business and Management Research*, **51** (1), 194-203.

İnternet kaynakları

1-https://tr.wikipedia.org/wiki/Adana#cite_note-2, (01.04.2022)

2-<https://srtm.csi.cgiar.org/srtmdata/>, (08.12.2021)

Nevşehir İli Uygun Katı Atık Depolama Sahalarının Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci (BAHS) Yöntemlerinin Entegrasyonu ile Belirlenmesi

Süleyman Sefa BİLGİLİOĞLU^{1*}, Cemil GEZGİN¹

¹Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Aksaray.

Sorumlu yazar e-posta: sbilgilioglu@aksaray.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0881-0396>
cemilgezgin@aksaray.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5951-0107>

Geliş Tarihi: 18.04.2022

Kabul Tarihi: 07.07.2022

Öz

Düzenli depolama, katı atıkların bertarafı için kullanılan en yaygın yöntemdir. Katı atık yönetimi bölgenin ekonomisi, ekolojisi ve çevre sağlığı üzerindeki muazzam etkisi nedeniyle şehir planlamasının önemli bir parçasıdır. Şehirlerde yaşama isteği ve şehirleşmenin artması ve ile birlikte daha fazla atık üretilmekte ve ne yazık ki atık sorunu her geçen gün daha da büyümektedir. Bu kapsamda yeni kurulacak depolama sahalarının optimal bir konuma inşa edilmesi katı atık yönetiminin en önemli konularından biridir. Bir depolama sahasının yerinin uygunluğu, genellikle sosyal, çevresel ve teknik kriterlerin eşzamanlı etkileri nedeniyle karmaşık bir süreçtir ve çeşitli kriterler ile düzenlemelere bağlıdır. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) uygun yer seçimi gibi mekansal problemlerin çözümünde karar vericiler için önemli bir yöntemdir. Bu çalışmada Nevşehir ilinde katı atık depolama sahası için uygun yer seçimi yapmak amacı ile CBS ve ÇKKV yöntemlerinden Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci (BAHS) kullanılmıştır. Bu amaç doğrultusunda literatür çalışmaları ve uzman görüşleri dikkate alınarak dışlama ve değerlendirme kriterleri belirlenmiştir. Kriter önem dereceleri BAHS ile hesaplanarak katı atık depolama sahası için uygunluk haritası oluşturulmuş ve dokuz adet saha depolama için uygun bulunmuştur.

Anahtar kelimeler

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS); Bulanık AHS; Yer seçimi; Katı Atık Depolama

Suitable Site Selection for Landfill with the Integration of Geographic Information Systems (GIS) and Fuzzy Analytical Hierarchy Process (FAHP) Methods in Nevşehir

Abstract

Landfilling is the most ordinary technique used for the disposal of solid waste. Solid waste management is an essential section of city planning due to its immense effect on the economy, ecology and environment of the region. With the increase in urbanization and the desire to live in cities, more waste is produced and unfortunately the waste problem is getting worse rapidly. In this context, the construction of new repository areas in an optimal location is one of the most essential issues of solid waste management. The suitability of a landfill site is often a complex process and relies on various criteria and regulations, due to the simultaneous effects of social, environmental and technical criteria. Geographic Information Systems (GIS)-based Multi-Criteria Decision Making (MCDM) is an important method for decision makers in solving spatial problems such as appropriate site selection. In this study, Fuzzy Analytical Hierarchy Process (FAHP), one of the GIS and MCDM methods, were used in order to select the appropriate site for the solid waste landfill in Nevşehir province. For this purpose, exclusion and evaluation criteria were determined by conducting literature studies and taking expert opinions. By calculating the criterion importance levels with FAHP, a suitability map was produced for the solid waste landfill and up to nine areas were found suitable for storage.

Keywords

Geographic Information Systems (GIS); Fuzzy AHP; Site selection; Solid Waste Disposal

1. Giriş

Gün geçtikçe artan insan nüfusu ve buna bağlı gelişen antropojenik faaliyetler neticesinde değişen tüketim alışkanlıkları ve teknolojik gelişmelerle

birlikte küresel katı atık üretimi hızla artmaktadır (Rahmat vd. 2017). Genellikle katı ve sıvı olmak üzere iki ayrı şekilde sınıflandırılan atıklar, günlük insan yaşam aktiviteleri sonucunda ortaya çıkan ve

insan sağlığı ve çevre üzerinde olumsuz etkilere neden olan malzemelerdir (Bringi 2007, Sisay, 2021). Katı atıkların doğal rezervler, çevre ve halk sağlığına zarar vermeden uygun bir şekilde bertaraf edilmesi, son yıllarda mutlak bir zorunluluk halini almış ve atık yönetimi, günümüzde şehir planlamasındaki ana zorluklardan biri haline gelmiştir (Pires vd. 2010, Randazzo vd. 2018). Gelişmekte olan ülkelerde katı atık yönetimi konusunda düzenli depolama, yakma, geri dönüşüm ve kompostlaştırma gibi farklı yöntemler kullanılıyor olsa da söz konusu yöntemler arasında işletilmesinin daha basit ve düşük maliyetli olması nedeniyle düzenli depolama yöntemi diğer yöntemlere oranla daha sıklıkla kullanılmaktadır (Zahari vd. 2010, Khoram vd. 2015). Katı atık depolama sahası yer seçimi çalışmaları, ekonomi, çevre ve sağlık üzerindeki yaygın etkileri nedeniyle kentsel planlama sürecinde önemli bir konudur ve uygun olmayan depolama sahalarının çevresel, ekolojik ve ekonomik anlamda birçok olumsuz etkisi olabilmektedir. Örnek olarak bu alanlar, su, toprak ve hava kirliliğine yol açarak canlı sağlığı üzerinde tehlikelere yol açabilmektedir (Al-anbari vd. 2014, Kapilan ve Elangovan 2018, Karimi vd. 2019). Türkiye Atık Yönetimi Yönetmeliğinde de belirtildiği üzere; “Atıkların kaynağında ayrı toplanması, geçici depolanması, taşınması ve işlenmesi sırasında su, hava, toprak, bitki, hayvan ve insanlar için risk yaratmayacak, gürültü, titreşim ve koku yoluyla rahatsızlığa neden olmayacak, doğal çevrenin olumsuz etkilenmesini önleyecek ve böylece çevre ve insan sağlığına zarar vermeyecek yöntem ve işlemlerin kullanılması esastır” (AYY 2015). Bu nedenle, çevre üzerindeki olumsuz etkileri en aza indirmek amacıyla düzenli depolama yapılacak alanların seçiminde tüm çevre standartlarına ek olarak sosyal ve ekonomik faktörler ile finansal giderlerin de dikkate alınması gerekmektedir (Eskandari vd. 2012, Khan vd. 2018).

Çeşitli çevresel, sosyal ve ekonomik faktörlerin bir arada değerlendirilerek analiz edilmesi, düzenli depolama sahası yer seçimi problemini karmaşık ve zaman alıcı bir süreç haline getirmektedir (Şener vd. 2006, Pan vd. 2019, Chabook vd. 2020). Bu kapsamda, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), yüksek hacimli mekansal verileri, etkin bir şekilde depolama, analiz etme ve görselleştirme yeteneği

sebebiyle yer seçimi çalışmaları için çok önemli bir araç konumundadır ve birçok katı atık depolama sahası yer seçimi çalışmasında da kullanılmıştır (Kao ve Lin 1996, Zamorano vd. 2008, Şener vd. 2010, Torabi-Kaveh vd. 2016). Bununla birlikte, 1960'larda karar vericilerin yüksek miktarda karmaşık bilgiyi değerlendirirken karşılaştığı zorluklara yardımcı olması için geliştirilen Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır (Çay ve Uyan 2013, Uyan 2014, Kharat vd. 2016, Wang vd. 2018, Lin vd. 2020, Bilgilioğlu 2021, Ghosh vd. 2021). Bu yöntemin temel prensibi, karar verilecek problemi daha küçük ve anlaşılır parçalara bölerek, her bir parçayı ayrı ayrı analiz etmek ve ardından parçaları mantıklı bir şekilde bütünleştirme esasına dayanmaktadır (Malczewski 1997, Nas vd. 2010, Yeşilnacar vd. 2012). ÇKKV ve CBS'nin entegrasyonu, gerçekleştirilecek analizin zaman ve maliyet açısından doğru yönetilmesi, oluşabilecek hataların en aza indirgenmesi ve daha doğru karar verebilme imkanları sağlaması neticesinde karar vericiler için avantajlı bir yöntem haline gelmektedir ve bu özelliğiyle, yer seçimi çalışmalarında karşılaşılan mekansal problemleri çözmek adına önemli bir analitik yöntem olarak kabul edilmektedir (Gorsevski vd. 2012, Mallick vd. 2014, Vučijaka vd. 2016, Mallick vd. 2021). Bu sebeple de, ÇKKV ve CBS entegrasyonu, katı atık depolama sahası yer seçimi çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Akbari 2008, Nas vd. 2010, Şener vd. 2010, Uyan 2014, Bahrani vd. 2016, Güler ve Yomraloğlu 2017, Pasalari vd. 2019, Tulun vd. 2021, Bilgilioğlu vd. 2021, Mallick 2021).

Türkiye’de yerli ve yabancı turistler tarafından en çok ziyaret edilen turistik bölgelerin merkezinde yer alan Nevşehir ilinde katı atık depolama sahası yer seçimine yönelik literatürde bilimsel bir çalışma bulunmamaktadır. Nevşehir ilinde mevcutta bulunan sadece bir adet katı atık depolama sahasının yaz aylarında milyonlarca turist ile artan nüfus neticesinde yetersiz olacağı öngörülmekte olup yeni katı atık depolama tesislerinin kurulması gerekmektedir. Bu amaçla bu çalışmada, Nevşehir ili uygun katı atık depolama sahası yer seçimi çalışması CBS ve ÇKKV entegrasyonu ile gerçekleştirilmiştir. Öncelikle, uzman görüşleri, mevcut yönetmelik ve

belirtilen bu dışlama kriterleri çalışma alanının tamamından çıkartılmıştır.

Çizelge 1. Kısıtlama parametreleri.

Faktör	Kısıtlamalar	Referanslar
Eğim	20%	(Akbari vd. 2008, Tadros 2009)
Havalimanlarına uzaklık	3000 m	(SHT-HES 2018)
Koruma bölgeleri	1000 m	(KAKY 1991)
Fay hatlarına uzaklık	300 m	(Ayaim vd. 2019, Kamdar vd. 2019)
Yollara yakınlık	300 m	(Alavi vd. 2013)
Yerleşim yerlerine uzaklık	1000 m	(KAKY 1991, Şener vd. 2010, Kamdar vd. 2019)
Akarsu ve yüzey su kaynaklarına uzaklık	2000 m	(SKKY 2004)

3.1 Kullanılan Kriterler

Yükseklik

Yüksek rakımlı alanlar katı atık depolama sahaları için uygun görülmemektedir (Barakat vd. 2017). Daha yüksekte bulunan alanlar ulaşımın zor olması sebebiyle daha fazla ulaşım maliyetlerine yol açarken, daha düşük yüksekliğe sahip alanlar ise sel riskini arttırmaktadır (Charnpratheep vd. 1997, Rezaeisabzevar vd. 2020). Çalışma alanına ait yükseklik haritasının üretilmesinde veri kaynağı olarak ALOS PALSAR sayısal yükseklik modeli (12,5 m) kullanılmıştır. Çalışma alanında yükseklikler 893 m ile 2013 m arasında değişmektedir (Şekil 2a).

Eğim

Eğim, katı atık depolama tesisleri için uygun yer seçimi çalışmalarında kullanılan kritik faktörlerden biridir. Eğimin yüksek olduğu bölgelerin depolama sahasının inşaat maliyetlerini arttırmamasından ötürü, düşük eğime sahip düz araziler depolama sahası kurulumu için daha uygundur (Bahrani vd. 2016, Chabook vd. 2020). Bunlara ek olarak, daha düşük eğimli araziler, toprak erozyonu riskini azaltmanın yanı sıra, katı atık depolama alanlarından çıkan kirleticilerin çevredeki alanlara sızmasını da önlemektedir (Demesouka vd. 2019, Kamdar vd. 2019, Karimi vd. 2020). Bu çalışmada kullanılan eğim haritası 12,5 m çözünürlüğe sahip ALOS PALSAR

sayısal yükseklik modeli kullanılarak oluşturulmuştur (Şekil 2b). Eğim derecesi %20'den fazla olan bölgeler, uygun olmayan alanlar olarak belirlenmiş ve çalışma alanından çıkartılmıştır (Çizelge 1).

Havalimanlarına uzaklık

Sivil Havacılık ve Genel Müdürlüğü havalimanı emniyet standartları talimatına göre katı atık depolama sahaları ve çöp içeren alanların uçakların kalkış ve inişinde tehlike yaratabilecek kuş ve yabani hayvanları bölgeye çekmesi ve bunun sonucunda uçuş güvenliği için risk oluşturmalarından dolayı bu alanların havalimanları çevresinde konumlandırılmaması gerekmektedir. Bu sebeple çalışma alanında bulunan Kapadokya havalimanına ait uzaklık analizi gerçekleştirilmiş ve üretilen harita Şekil 2c'de verilmiştir.

Drenaj yoğunluğu

Düzenli katı atık depolama sahaları zararlı su sızıntılarına neden olarak vadiler ve yüzey su kaynaklarını (Göl, gölet ve akarsular) kirletebilmektedir. Bu nedenle, katı atık depolama sahalarının yapımında ilgili alanların drenaj yoğunluğuna dikkat edilmelidir. Düşük drenaj yoğunluğuna sahip alanlar, katı atık sahaları için uygun alanlar olarak görülürken yüksek drenaj yoğunluğu ise uygunsuz görülmektedir (Mallick 2021). Bu çalışmada, drenaj yoğunluğu sayısal yükseklik modelinden üretilmiştir (Şekil 2d).

Koruma bölgeleri ve Turizm merkezlerine uzaklık

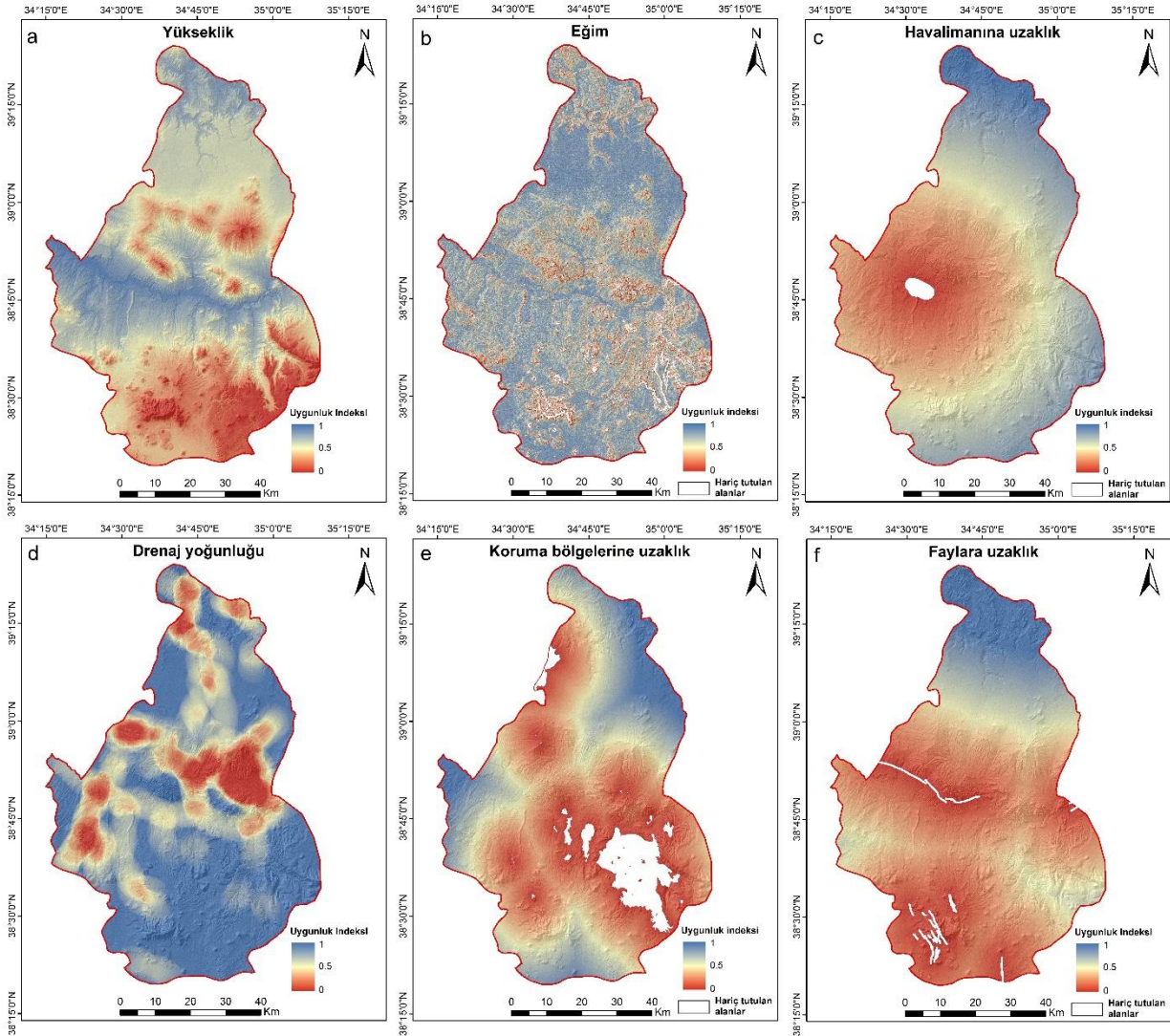
Düzenli katı atık depolama alanlarının, doğal sit alanları ve ekolojik koruma alanları (yaban hayatı koruma alanları, milli ve tabiat parkları vb.) üzerinde yol açacağı çeşitli çevre ve sağlık sorunlarına ek olarak bu tür alanların estetik değerlerinin mümkün olduğunca korunması gerektiğinden bu alanların yakın çevresine atık depolama alanları kurulmaması gerekmektedir. Ayrıca, katı atık depolama sahaları görsel ve koku kirliliği nedeniyle turizm merkezlerini olumsuz etkilemektedir ve bu sebeple depolama sahaları turizm merkezlerinden uzak bölgelere inşa edilmelidir (Effat ve Hegazy 2012, Kahraman vd. 2018, Tercan vd. 2020). Bu çalışmada koruma bölgeleri ile turizm merkezleri veri kaynağı olarak

Çevre Düzeni Planı ve bölgeden elde edilen halihazır haritalar kullanılmış ve Koruma bölgeleri ve Turizm merkezlerine uzaklık haritası üretilmiştir (Şekil 2e).

Fay hatlarına uzaklık

Katı atık depolama alanları, fay hatlarından uzak alanlarda olmalıdır, aksi takdirde olası bir deprem durumunda yakındaki mühendislik yapıları zarar görebilmektedir (Akbari 2008). Buna ek olarak,

fayların olmadığı veya faylardan güvenli uzaklıkta olan alanlar, faylar kayaların geçirgenliğini artırdığı ve yeraltı suyu kirliliğine yol açtığı için düzenli depolama sahası için uygun alanlardır (Moeinaddini vd. 2010, Bahrani vd. 2016). Bu çalışmada fay hatlarına ait veriler, MTA yer bilimleri görüntüleyicisi üzerinden sayısallaştırılarak elde edilmiştir. Elde edilen veriler kullanılarak Fay hatlarına uzaklık haritası üretilmiştir (Şekil 2f).



Şekil 2. Değerlendirmede kullanılan kriterler (a: yükseklik, b: eğim, c: havalimanına uzaklık, d: drenaj yoğunluğu, e: koruma bölgelerine uzaklık, f: faylara uzaklık)

Geçirgenlik

Depolama sahasına ait zemin kaplamasının, sızıntı suyunun sızmasını engelleyememesi durumunda, altında bulunan toprak tabakası mümkün olduğunca bu sızıntı suyunun yeraltı suyuna sızmasını önleyebilmelidir (Cetin 1995, Mallick 2021). Depolama alanı tesis edilecek alanında az geçirimli kil ve şist birimleri bulunması depolama sahası

tabanı ile üst akifer arasında geniş bir dikey ayırım sağlayarak bu sızıntıyı engelleyebilmektedir (Rezaeisabzevar vd. 2020). Katı atık depolama sahası yer seçimi çalışmalarında genellikle geçirgenliği düşük (kil) zemine en yüksek değer, geçirgenliği yüksek (kum) zemine en düşük değer, diğer zeminlere ise ara değerler verilmektedir (Bahrani vd. 2016). İnceleme alanının jeoloji haritası, formasyon sınırları ve isimleri daha önce yapılan çalışmalardan

faýdalanılarak belirlenmiştir (Atabey 1989a,b,c, Kara 1997, Afşin 2002, Kavurmacı 2010). İnceleme alanında çok sayıda formasyon bulunmaktadır; ancak bu formasyonlar geçirimli, yarı-geçirimli ve geçirimsiz olmak üzere üç birime ayrılarak değerlendirilmiştir (Şekil 3a).

Arazi kullanımı

Yavaş yenilenebilen bir kaynak olan toprağın bozulmasını ve kirlenmesini önlemek adına katı atık depolama sahaları orman veya tarım alanlarının yakınında veya içerisinde yer almamalıdır. Genellikle verimsiz ve düşük arazi değerine sahip alanlar, depolama için en uygun yerler olarak görülmektedir (Barakat vd. 2017, Rezaeisabzevar vd. 2020). Bu çalışmada kullanılan arazi kullanımı verisi, CORINE (2018)'den elde edilmiş ve arazi kullanımı haritası üretilmiştir (Şekil 3b).

Yollara yakınlık

Katı atık depolama sahaları, bağlantı yollarının inşaat maliyetlerini azaltmak, nakliye masraflarını düşürmek ve ayrıca atıkların işlenmesini hızlandırmak için mevcut yol ağlarına yakın bir mesafeye yerleştirilmelidir (KAKY 1991, Nas vd. 2010, Kaveh vd. 2016). Ancak, yola yakın yerleştirilen katı atık depolama alanlarının estetik açıdan kötü bir görüntü oluşturması nedeniyle bu tesislerin yola yakınlığı makul bir seviyede olmalıdır (Mallick 2021). Bu çalışmada yol ağı haritası (Şekil

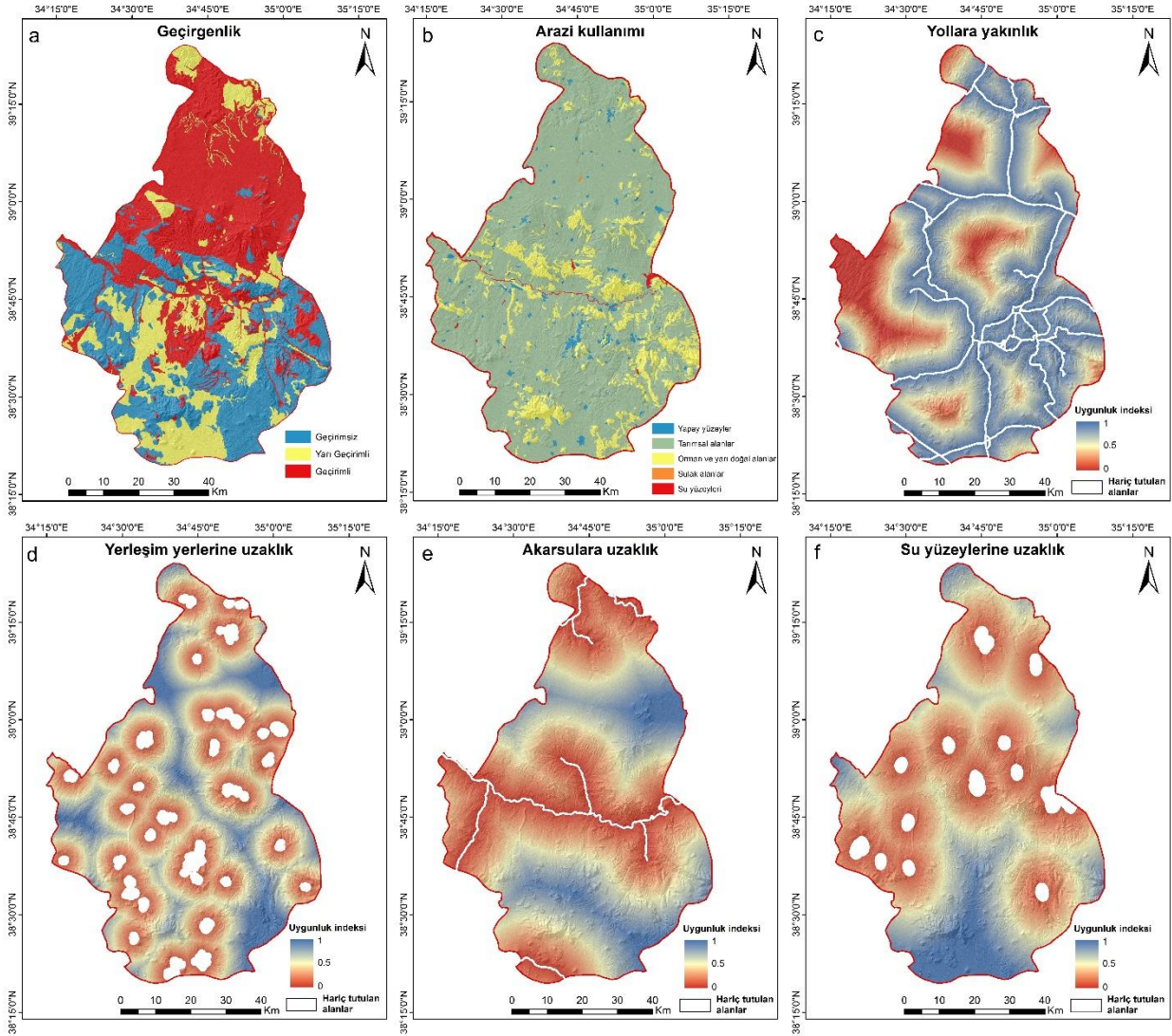
3c), Kırşehir-Nevşehir-Niğde-Aksaray Planlama Bölgesi 1/100.000 Ölçekli Çevre Düzeni Planı sayısallaştırılarak elde edilmiştir.

Yerleşim merkezlerine uzaklık

Katı atık depolama sahalarından yayılan çeşitli koku, toz ve gürültü kirliliği kentsel ve kırsal alanlar üzerinde istenmeyen etkilere neden olabilmektedir (Rahmat vd. 2017, Pasalari vd. 2019). Bu nedenle, Türkiye Katı Atık Kontrol Yönetmeliği (1991)'ne göre, yerleşim alanlarına 1000 m'den daha yakın bölgelere düzenli katı atık depolama alanları kurulamamaktadır. Bu çalışmada yerleşim merkezleri, Çevre Düzeni Planından sayısallaştırılarak elde edilmiş ve uzaklık haritası üretilmiştir (Şekil 3d).

Akarsu ve yüzey su kaynaklarına uzaklık

Katı atık depolama alanlarında oluşan sızıntı suyu ve kirli gazların, göller, sulak alanlar, göletler ve nehirleri kirlenme potansiyeli bulunduğundan bu alanlar ile yüzey su kaynakları arasında bir tampon bölgeye ihtiyaç duyulmaktadır (Şener vd. 2010, Rezaeisabzevar vd. 2020). Ülkemizde bu tampon bölge, Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'ne göre 2000 m olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada akarsu ve yüzey su kaynakları verileri, Çevre Düzeni Planından sayısallaştırılarak elde edilmiş ve akarsulara uzaklık (Şekil 3e) ile su yüzeylerine uzaklık (Şekil 3f) haritaları üretilmiştir.



Şekil 3. Değerlendirmede kullanılan kriterler (a: geçirgenlik, b: arazi kullanımı, c: yollara yakınlık, d: yerleşim yerlerine uzaklık, e: akarsulara uzaklık, f: su yüzeylerine uzaklık)

3.2 Bulanık AHS

ÇKKV modelleri, birden fazla kriterin birlikte değerlendirileceği karar problemlerinin çözümünde hızlı, kolay ve etkin kararlar almak için sıklıkla kullanılan bir araçtır (Akyol ve Alkan 2014, Uyan ve Yalpir 2016, Beyhan vd. 2020). Bu çalışmada, Niğde ili sınırları içerisinde kurulacak yeni bir katı atık depolama tesisi için bir ÇKKV modeli olan BAHS kullanılarak uygun yer seçimi yapılması amaçlanmıştır.

Üyelik fonksiyonlarının derecelendirilmesine olanak sağlayan bulanık küme teorisi Zadeh (1965) tarafından geliştirilmiştir. Klasik küme teorisinin en önemli eksikliklerinden birisi dilsel değişkenlerin sayısal olarak ifade edilememesidir. Bu sebeple AHS gibi klasik küme teorisine dayalı yöntemler insan

düşünme tarzını tam olarak yansıtamamakta ve uzmanlardan alınan dilsel değişkenler ifade edilememektedir. Bulanık küme teorisinin temel amacı da dilsel değişkenleri formüle ederek bu problemleri çözmektir (Zadeh 1971).

Literatürde ÇKKV problemlerinin çözümünde farklı bulanık küme teorisine dayalı yaklaşımlar bulunmaktadır. Bu çalışmada, özellikle CBS tabanlı uygun yer seçimi çalışmalarında araştırmacılar tarafından sıklıkla tercih edilen (Güler ve Yomralıoğlu 2020, Bilgiliöğlü 2022) ve Chang (1996) tarafından geliştirilen mertebeye analiz yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde göre, obje kümesi;

$X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ ve amaç kümesi;

$U = (u_1, u_2, \dots, u_n)$ olarak tanımlanmaktadır.

Ayrıca her bir obje için m tane merteye analizi (g_i) , $M_{(g_i)}^1, M_{(g_i)}^1, n, M_{(g_i)}^m$ $i = 1, 2, \dots, n$ şeklinde uygulanmaktadır. Oluşturulacak her bir objeye ait üçgensel bulanık sayı (l, m, u) şeklinde ifade edilmektedir. Bu ifade de yer alan parametreler; (l) en az olası değer, (m) en olası değer ve (u) en geniş olası değerdir. Yöntem genel olarak 4 adımdan oluşmaktadır.

1. Adım: (1) nolu eşitlik ile bulanık sentetik merteye değeri hesaplanarak (2) nolu eşitlik ile de vektör oluşturulmaktadır.

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \times \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1} \quad (1)$$

$$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_i} \right) \quad (2)$$

2. Adım: (3) nolu eşitlik ile $M_2 = (l_2, m_2, u_2) \geq M_1 = (l_1, m_1, u_1)$ ifadesinin olasılığı hesaplanmaktadır.

$$V(M_2 \geq M_1) = hgt(M_2 \cap M_1) = \mu_{M_2}(d)$$

$$= \begin{cases} 1 & \text{eğer } m_2 \geq m_1 \\ 0 & \text{eğer } l_1 \geq u_2 \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)} & \text{değilse} \end{cases} \quad (3)$$

3. Adım: (4) nolu eşitlik ile M konveks bulanık sayının $M_i (i = 1, 2, \dots, k)$, k konveks bulanık sayıdan daha büyük olasılığı için olasılık değeri hesaplanmaktadır.

$$V(M \geq M_1, M_2, \dots, M_k)$$

$$= V[(M \geq M_1) \text{ ve } (M \geq M_2) \text{ ve } \dots \text{ ve } (M \geq M_k)]$$

$$= \min V(M \geq M_i)$$

$$i = 1, 2, \dots, k \quad (4)$$

$k = 1, 2, \dots, n$ ve $k \neq 1$ olmak üzere $d'(A_i) = \min V(S_i \geq S_k)$ olarak kabul edilmekte olup ve (5) nolu eşitlik ile ağırlık vektörü hesaplanmaktadır.

$$W' = (d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n))^T \quad (5)$$

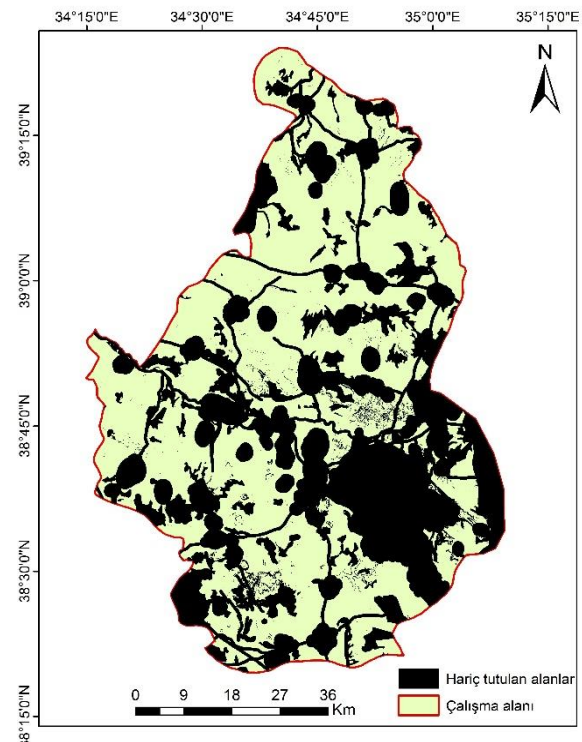
$A_i = (1, 2, \dots, n)$ ve A_i , n tane bileşenlidir.

4. Adım: (6) nolu eşitlik ile normalize edilen ağırlık vektörü belirlenmekte ve bulanık olmayan W değeri hesaplanmaktadır.

$$W = (d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n))^T \quad (6)$$

4. Bulgular ve Tartışma

Katı atık depolama tesisi için uygun alanların belirlenmesine yönelik çalışma kapsamında öncelikle Çizelge 1’de belirtilen dışlama kriterleri belirlenmiştir. Bu kapsamda çalışma alanı, katı atık depolama tesisi için uygun olan ve olmayan alanlar olarak ikiye ayrılmıştır (Şekil 4). Çalışma alanının %43,71’inin (2409,29 km²) katı atık depolama sahası için uygun olmadığı, %56,29’unun (3102,91 km²) katı atık depolama sahası için uygun olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4. Dışlama alanı haritası

Nevşehir ili uygun katı atık depolama yer seçimi çalışması için kriterlerin önem derecelerini belirlemek amacı ile literatür çalışmaları ve konusunda uzman kişiler ile görüşmeler

gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar sonrasında kriterlere ait ağırlık değerlerinin BAHS ile hesaplanabilmesi için ikili karşılaştırma matrisi oluşturulmuştur (Çizelge 2).

Çizelge 2: İkili karşılaştırma matrisi.

Kriterler	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Yükseklik (A)	(1,1,1)											
Eğim (B)	(3,5,7)	(1,1,1)										
Havaalanına uzaklık (C)	(1/5,1/3,1)	(1/9,1/7,1/5)	(1,1,1)									
Drenaj yoğunluğu (D)	(3,5,7)	(1,3,5)	(5,7,9)	(1,1,1)								
Koruma bölgelerine uzaklık (E)	(1,3,5)	(1/5,1/3,1)	(1,3,5)	(1/7,1/5,1/3)	(1,1,1)							
Faylara Uzaklık (F)	(5,7,9)	(1/5,1/3,1)	(3,5,7)	(1,1,1)	(1,3,5)	(1,1,1)						
Geçirgenlik (G)	(3,5,7)	(1,3,5)	(5,7,9)	(1,3,5)	(3,5,7)	(1,3,5)	(1,1,1)					
Arazi Kullanımı (H)	(3,5,7)	(1,3,5)	(1,3,5)	(1/5,1/3,1)	(1,3,5)	(1/5,1/3,1)	(1/7,1/5,1/3)	(1,1,1)				
Yollara Yakınlık (I)	(1,1,1)	(1/7,1/5,1/3)	(1,3,5)	(1/7,1/5,1/3)	(1,3,5)	(1/9,1/7,1/5)	(1/7,1/5,1/3)	(1/5,1/3,1)	(1,1,1)			
Yerleşim yerlerine uzaklık (J)	(5,7,9)	(3,5,7)	(5,7,9)	(1,3,5)	(3,5,7)	(1,3,5)	(1/5,1/3,1)	(1,3,5)	(5,7,9)	(1,1,1)		
Akarsulara uzaklık (K)	(5,7,9)	(3,5,7)	(5,7,9)	(1,3,5)	(3,5,7)	(1,3,5)	(1/5,1/3,1)	(1,3,5)	(5,7,9)	(1,1,1)	(1,1,1)	
Su yüzeylerine uzaklık (L)	(7,9,9)	(5,7,9)	(5,7,9)	(1,3,5)	(5,7,9)	(3,5,7)	(1,1,1)	(3,5,7)	(7,9,9)	(1,3,5)	(1,3,5)	(1,1,1)

BAHS yönteminde, yapılan ikili karşılaştırmaların tutarlı olup olmadığını ölçmek için Tutarlılık oranı (TO) hesaplanması gerekmektedir. Bu kapsamda oluşturulan ikili karşılaştırma matrisine ait TO değeri 0.039 olarak hesaplanmış ve bu değer 0.10'dan küçük olması ikili karşılaştırmaların tutarlı olduğunu göstermektedir. İkili karşılaştırma matrisi sonrasında kriterlerin karar probleminin çözümünde önem derecesini gösteren ağırlık değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 3).

Çizelge 3. Kriter ağırlıkları

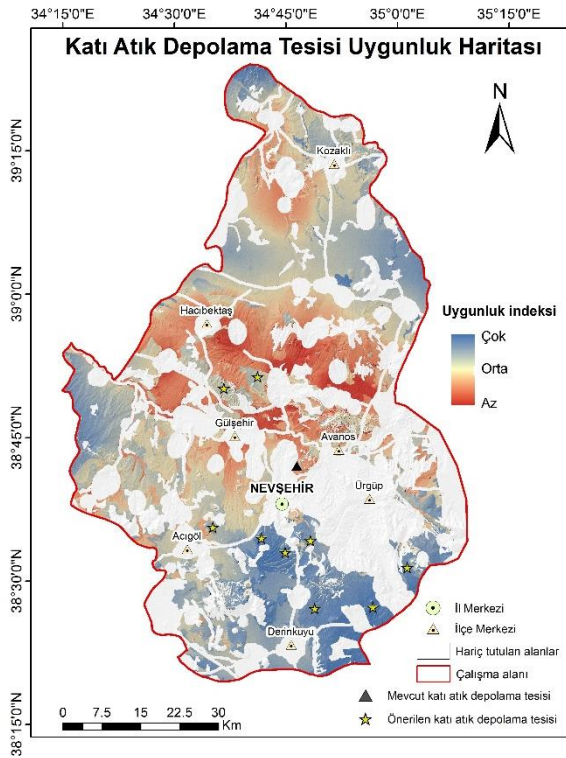
Kriterler	Ağırlıklar
Yükseklik	0.026
Eğim	0.087
Havaalanına uzaklık	0.018
Drenaj yoğunluğu	0.101
Koruma bölgelerine uzaklık	0.045
Faylara Uzaklık	0.089
Geçirgenlik	0.129
Arazi Kullanımı	0.081
Yollara Yakınlık	0.039
Yerleşim yerlerine uzaklık	0.121
Akarsulara uzaklık	0.127
Su yüzeylerine uzaklık	0.135

Kriter ağırlıklarının büyük bir değere sahip olması uygun yer seçimine etkisinin daha çok, küçük değere sahip olması ise etkisinin daha az olduğunu göstermektedir. Bu kapsamda Nevşehir ili için uygun

katı atık depolama tesisi yer seçiminde en fazla etkiye sahip kriterler su yüzeylerine uzaklık, geçirgenlik ve akarsulara uzaklık iken en az etkiye sahip kriterler; yollara yakınlık, yükseklik ve havaalanına uzaklıktır.

Farklı veri yapısına sahip kriterlerin birlikte değerlendirilerek birleştirilebilmesi için elde edilen tüm 12 kriter WGS84 coğrafi koordinat sisteminde raster veriye (20 m) dönüştürülerek "0-1" aralığında normalize edilmiştir (Şekil 2-3). Kriterlere ait uygunluk indeks haritalarındaki "0" indeks değeri katı atık depolama sahası için çok düşük derecede uygun olduğunu belirtirken "1" indeks değeri ise çok yüksek derecede uygun olduğunu belirtmektedir. ArcGIS yazılımı kullanılarak yapılan bindirme analizi ile tüm kriterler ağırlıklar dikkate alınarak birleştirilmiş ve sonuç uygunluk haritası oluşturulmuştur (Şekil 5). Sonuç uygunluk indeks haritasında gösterilen mavi renkli alanlar katı atık depolama tesisi için çok yüksek uygun alanları, kırmızı alanlar ise az uygun alanları göstermektedir. Elde edilen sonuç haritasına göre koruma bölgelerinden yaklaşık 1150 m, yerleşim yerlerinden yaklaşık 2350 m ve Kızılırmak nehrine yaklaşık 4500m uzaklıkta olan mevcut katı atık depolama tesisinin orta derecede uygun alanda yer aldığı saptanmıştır. Ayrıca bu alanın hariç tutulan alanlara oldukça yakın olduğu dikkat çekmektedir. Bu çalışma sonucunda elde edilen uygunluk haritasına

göre yeni kurulacak katı atık depolama tesisi için 9 aday alan belirlenmiştir.



Şekil 5. Katı atık depolama sahası uygunluk haritası

Bir kentte arazi kullanım envanterlerine yönelik karar verme eylemi, kaynak yönetimi açısından önemli bir adımdır ve kentlerin sürdürülebilmesi adına önemlidir (Aksu ve İban 2019). Katı atık depolama alanlarının insan sağlığı ve çevre üzerine birçok farklı etkisinin bulunması sebebiyle bu alanların belirlenmesi çalışmaları hem sürdürülebilir çevre hem de sürdürülebilir arazi yönetimi açısından oldukça önemlidir. Bu çalışmada katı atık depolama alanı yer seçimi, CBS tabanlı ÇKKV modeli ortaya konularak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma kapsamında oluşturulan katı atık depolaması sahası uygunluk haritasının Nevşehir il sınırları içerisinde alınacak kentsel ve kırsal planlamalarda karar vericiler tarafından kullanılmasının potansiyel çevre ve insan sağlığını etkileyecek zararları en aza indirgeyeceği düşünülmektedir.

Bu çalışma sonucunda elde edilen bulgular dışlama ve değerlendirme analizlerinde kullanılan kriterlere bağlı olarak elde edilmiştir. Analizlerde başka kriterler ve kriter ağırlıkları kullanılması durumunda farklı sonuçlar elde edilebilir. Ancak bu çalışmada uygulanan metodoloji, dünyanın farklı yerlerinde gerçekleştirilecek olan yer seçimi çalışmalarında etkin bir şekilde kullanılabilir. Uygun yer seçimi

çalışmalarında kullanılan kriterlerin mekansal doğruluğu ve düzeyi sonuçlara doğrudan etki etmektedir. Bu kapsamda, bu ve benzeri yer seçimi çalışmalarına yönelik veri standardı çalışmalarının yapılması gerekmektedir.

5. Sonuç ve öneriler

Katı atık depolama sahası için yer seçimi çalışmaları çeşitli çevresel, sosyal ve ekonomik kriterin dikkate alınarak yapılması gereken karmaşık bir problemidir. Bu çalışmada Türkiye'nin önemli turizm merkezlerinden biri olan Nevşehir ili için yeni kurulacak katı atık depolama tesisleri için uygun yerlerin belirlenmesine yönelik bir yöntem sunulmuştur. Uygun alanları belirlemek için CBS ile birlikte bir ÇKKV yöntemi olan BAHS yöntemi kullanılmıştır. Öncelikle mevzuattaki kısıtlamalar, önceki çalışmalar ve uzmanlardan alınan bilgiler doğrultusunda katı atık depolama tesisi için uygun olmayan alanlar belirlenmiş ve bu kriterler çalışma alanından çıkartılmıştır. Değerleme için belirlenen 12 adet kritere ait ağırlıklar uzman görüşleri ve literatür araştırması sonucunda BAHS ile hesaplanmış, tüm kriterler birlikte değerlendirilerek sonuç uygunluk haritası üretilmiş ve yeni kurulacak tesis için uygun aday alanlar bu çalışma kapsamında önerilmiştir. Belirlenen 9 aday alanın nihai kararı için tüm çevre kirliliği risklerini en aza indirmek ve teknik yetenekleri geliştirmek için toprak tipi, jeoteknik özellikler gibi diğer parametreler ve ayrıca çevresel etki değerlendirme çalışması kullanılarak alanda belirli bir fizibilite çalışması yapılması gerekmektedir.

Teşekkür

Yazarlar, bu çalışmada görüşleri ile destek sağlayan uzmanlara, çalışmada gösterdiği destek için Dr. Öğr. Üyesi Esra GÜRBÜZ'e ve ayrıca makaleye yapıcı yorumları ile katkıda bulunan hakemlere ve editöre teşekkür eder.

6. Kaynaklar

Afşin, M., 2002. CO₂'ce zengin Çorak, Karakaya ve Gümüşkent (Nevşehir) mineralli sularının hidrojeokimyası. *Yerbilimleri*, **26**, 1 - 14.

Akbari, V., Rajabi, M.A., Chavoshi, S.H. and Shams, R., 2008. Landfill site selection by combining GIS and fuzzy multi criteria decision analysis, case study:

- Bandar Abbas, Iran. *World Applied Sciences Journal*, **3**(1), 39-47.
- Aksu, O., ve İban, M. C. 2019. Considerations on the land management system approach in Turkey by the experiences of a case study. *Survey review*, **51**(364), 87-96.
- Akyol, E. ve Alkan, M., 2014. Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Çoklu Karar Verme Tekniği ile Mahallelerin Yerleşime Uygunluğunun Seçimi: Denizli Kenti Örneği. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **15**(1), 1-9.
- Al-Anbari, M.A., Al-Ansari, N. and Jasim, H.K., 2014. GIS and multicriteria decision analysis for landfill site selection in AL-HashimyahQadaa. *Natural Science*, **6**(5), 282-304.
- Alavi, N., Goudarzi, G., Babaei, A. A., Jaafarzadeh, N. and Hosseinzadeh, M., 2013. Municipal solid waste landfill site selection with geographic information systems and analytical hierarchy process: a case study in Mahshahr County, Iran. *Waste Management & Research*, **31**(1), 98-105.
- Atabey, E., 1989a. MTA Genel Müdürlüğü 1/100.000 ölçekli açınsama nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi, Kayseri-H 19 paftası.
- Atabey, E., 1989b. MTA Genel Müdürlüğü 1/100.000 ölçekli açınsama nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi, Kayseri-İ 19 paftası.
- Atabey, E., 1989c. MTA Genel Müdürlüğü 1/100.000 ölçekli açınsama nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi, Kayseri-H 18 paftası.
- Ayaim, M.K., Fei-Baffoe, B., Sulemana, A., Miezah, K. and Adams, F. 2019. Potential sites for landfill development in a developing country: A case study of Ga South Municipality, Ghana. *Heliyon*, **5**(10), e02537.
- AYY, 2015. 2872. Sayılı Atık Yönetimi Yönetmeliğine ilişkin Kanun. (2015). T. C. Resmi Gazete, 29314, 02 Nisan 2015.
- Bahrani, S., Ebadi, T., Ehsani, H., Yousefi, H. and Maknoon, R., 2016. Modeling landfill site selection by multi-criteria decision making and fuzzy functions in GIS, case study: Shabestar, Iran. *Environmental Earth Sciences*, **75**(4), 1-14.
- Barakat, A., Hilali, A., Baghdadi, M. E. and Touhami, F., 2017. Landfill site selection with GIS-based multi-criteria evaluation technique. A case study in Béni Mellal-Khouribga Region, Morocco. *Environmental Earth Sciences*, **76**(12), 1-13.
- Beyhan, H. C., Eren, G. ve Aktuğ, B., 2020. Perakende market lokasyonları için CBS tabanlı Çok Kriterli AHP yöntemi ile optimal yer seçimi analizi: İstanbul Örneği. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **20**(6), 1032-1050.
- Bilgilioglu, S.S., Gezgin, C., Orhan, O. and Karakus, P. 2022. A GIS-based multi-criteria decision-making method for the selection of potential municipal solid waste disposal sites in Mersin, Turkey. *Environmental Science and Pollution Research*, **29**(4), 5313–5329.
- Bilgiliöğlü, S.S. 2021. Land suitability assessment for Olive cultivation using GIS and multi-criteria decision-making in Mersin City, Turkey. *Arabian Journal of Geosciences*, **14**(22), 1-16.
- Bilgiliöğlü, S.S., 2022. Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci ile Elektrikli Araç Şarj İstasyonu Yer Seçimi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **22** (1) , 165-174.
- Bringi, S., 2007. Application of 3D principles to solid waste management on the Asian. M.Sc. thesis, Asian Institute of Technology School of Environment, Resources and Development, Thailand, 167.
- Cay, T. ve Uyan, M., 2013. Evaluation of reallocation criteria in land consolidation studies using the analytic hierarchy process (AHP). *Land Use Policy* **30**, 541–548.
- Cetin, H. 1995. Design methods, technologies, and site selection in land disposal of waste in the United States. *Geosound*, **27**, 23-40.
- Chabok, M., Asakereh, A., Bahrami, H. and Jaafarzadeh, N.O., 2020. Selection of MSW landfill site by fuzzy-AHP approach combined with GIS: case study in Ahvaz, Iran. *Environmental Monitoring and Assessment*, **192**(7), 1-15.
- Chang, D.Y., 1996. Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. *European Journal of Operational Research*, **95**(3), 649–655.

- Charnpratheap, K., Zhou, Q. And Garner, B., 1997. Preliminary landfill site screening using fuzzy geographical information systems. *Waste management & research*, **15**(2), 197-215.
- Chen, W.Y. and Kao, J.J., 1997. Fuzzy DRASTIC for landfill siting. In: 13th international conference on solid waste technology and management, Philadelphia, PA.
- Demesouka, O.E., Anagnostopoulos, K.P. and Siskos, E., 2019. Spatial multicriteria decision support for robust land-use suitability: The case of landfill site selection in Northeastern Greece. *European Journal of Operational Research*, **272**(2), 574-586.
- Demirkesen, A.C., 2008. Digital terrain analysis using Landsat-7 ETM+ imagery and SRTM DEM: a case study of Nevşehir province (Cappadocia), Turkey. *International Journal of Remote Sensing*, **29**(14), 4173-4188.
- Effat, H.A. and Hegazy, M.N., 2012. Mapping potential landfill sites for North Sinai cities using spatial multicriteria evaluation. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, **15**(2), 125-133.
- Erol, G., 2020. Kapadokya bölgesine gelen yerli ve yabancı turistler üzerine dönemselsel bir inceleme. *Üçüncü Sektör Sosyal Ekonomi Dergisi*, **55**(3), 1412-1431.
- Eskandari, M., Homaei, M. and Mahmodi, S., 2012. An integrated multi criteria approach for landfill siting in a conflicting environmental, economic and socio-cultural area. *Waste Management*. **32**(8), 1528-1538.
- Ghosh, A., Ghorui, N., Mondal, S.P., Kumari, S., Mondal, B.K., Das, A. and Gupta, M.S. 2021. Application of hexagonal fuzzy MCDM methodology for site selection of electric vehicle charging station. *Mathematics*, **9**(4), 393.
- Gorsevski, P.V., Donevska, K.R., Mitrovski, C.D. and Frizado, J.P., 2012. Integrating multi-criteria evaluation techniques with geographic information systems for landfill site selection: a case study using ordered weighted average. *Waste management*, **32**(2), 287-296.
- Güler, D. ve Yomralioğlu, T., 2017. Alternative suitable landfill site selection using analytic hierarchy process and geographic information systems: a case study in Istanbul. *Environmental Earth Sciences*, **76**(20), 1-13.
- Güler, D. and Yomralioğlu, T., 2020. Suitable location selection for the electric vehicle fast charging station with AHP and fuzzy AHP methods using GIS. *Annals of GIS*, **26**(2), 169-189.
- Gülyaz, M.E. ve Ölmez, İ. 1997. Kapadokya, 1, Dünya Kitap, Nevşehir, 1-108.
- Kahraman, C., Cebi, S., Onar, S.C. and Oztaysi, B., 2018. A novel trapezoidal intuitionistic fuzzy information axiom approach: An application to multicriteria landfill site selection. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, **67**, 157-172.
- KAKY. (1991). Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği. 14.03.1991: Resmi Gazete.
- Kamdar, I., Ali, S., Bennui, A., Techato, K. and Jutidamrongphan, W. 2019. Municipal solid waste landfill siting using an integrated GIS-AHP approach: a case study from Songkhla, Thailand. *Resources, Conservation & Recycling*, **149**, 220-235.
- Kao, J.J. and Lin, H.Y., 1996. Multifactor spatial analysis for landfill siting. *Journal of Environmental Engineering*, **122** (10), 902-908.
- Kapilan, S. and Elangovan, K., 2018. Potential landfill site selection for solid waste disposal using GIS and multi-criteria decision analysis (MCDA). *Journal of Central South University*, **25**(3), 570-585.
- Kara, H, 1997. MTA Genel Müdürlüğü 1/100.000 ölçekli açınısama nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi, Yozgat-G 19 paftası.
- Karimi, H., Amiri, S., Huang, J. and Karimi, A., 2019. Integrating GIS and multi-criteria decision analysis for landfill site selection, case study: Javanrood County in Iran. *International Journal of Environmental Science and Technology*, **16**(11), 7305-7318.
- Karimi, N., Richter, A. and Ng, K.T.W. 2020. Siting and ranking municipal landfill sites in regional scale using nighttime satellite imagery. *Journal of Environmental Management*, **256**, 109942.
- Kavurmacı, M.M., 2010. Çorak, Karakaya Ve Gümüşkent (Nevşehir) Mineralli Sularının Ve Kaynak Alanlarındaki Travertenlerin Hidrojeokimyası. Aksaray Üniversitesi

- Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Aksaray, 106.
- Khan, M.H., Vaezi, M. and Kuma, A., 2018. Optimal siting of solid wasteto-value-added facilities through a GIS-based assessment. *Science of the total environment*, **610**, 1065-1075.
- Kharat, M.G., Kamble, S.J., Raut, R.D., Kamble, S.S. and Dhume, S.M. 2016. Modeling landfill site selection using an integrated fuzzy MCDM approach. *Modeling Earth Systems and Environment*, **2**(2), 1-16.
- Khorram, A., Yousefi, M., Alavi, S.A. and Farsi, J. 2015. Convenient landfill site selection by using fuzzy logic and geographic information systems: a case study in Bardaskan, East of Iran. *Health Scope*, **4**(1), e19383.
- Kontos, T.D., Komilis, D.P. and Halvadakis, C.P., 2005. Siting MSW landfills with a spatial multiple criteria analysis methodology. *Waste management*, **25**(8), 818-832.
- Lin, M., Huang, C. and Xu, Z. 2020. MULTIMOORA based MCDM model for site selection of car sharing station under picture fuzzy environment. *Sustainable cities and society*, **53**, 101873.
- Malczewski, J., 1997. Propagation of errors in multicriteria location analysis: a case study. In: G. Fandel and T. Gal, eds. Multiple criteria decision making. New York: Springer, 154-155.
- Mallick, J., 2021. Municipal solid waste landfill site selection based on fuzzy-AHP and geoinformation techniques in Asir Region Saudi Arabia. *Sustainability*, **13**(3), 1538.
- Mallick, J., Singh, C.K., Al-Wadi, H., Ahmed, M., Rahman, A., Shashtri, S. and Mukherjee, S., 2015. Geospatial and geostatistical approach for groundwater potential zone delineation. *Hydrological Processes*, **29**(3), 395-418.
- Moeinaddini, M., Khorasani, N., Danehkar, A. and Darvishsefat, A.A., 2010. Siting MSW landfill using weighted linear combination and analytical hierarchy process (AHP) methodology in GIS environment (case study: Karaj). *Waste management*, **30**(5), 912-920.
- Nas, B., Cay, T., Iscan, F. and Bertkay, A., 2010. Selection of MSW landfill site for Konya, Turkey using GIS and multi-criteria evaluation. *Environmental monitoring and assessment*, **160**(1), 491-500.
- Pan, C., Ng, K.T.W. and Richter, A. 2019. An integrated multivariate statistical approach for the evaluation of spatial variations in groundwater quality near an unlined landfill. *Environmental Science and Pollution Research*, **26**(6), 5724–5737.
- Pasalari, H., Nodehi, R.N., Mahvi, A.H., Yaghmaeian, K. and Charrahi, Z., 2019. Landfill site selection using a hybrid system of AHP-Fuzzy in GIS environment: A case study in Shiraz city, Iran. *MethodsX*, **6**, 1454-1466.
- Pires, A., Martinho, G. and Chang, N.B., 2011. Solid waste management in European countries: A review of systems analysis techniques. *Journal of environmental management*, **92**(4), 1033-1050.
- Rahmat, Z.G., Niri, M.V., Alavi, N., Goudarzi, G., Babaei, A.A., Baboli, Z. and Hosseinzadeh, M., 2017. Landfill site selection using GIS and AHP: a case study: Behbahan, Iran. *KSCE Journal of Civil Engineering*, **21**(1), 111-118.
- Randazzo, L., Cusumano, A., Oliveri, G., Di Stefano, P., Renda, P., Perricone, M. and Zarcone, G., 2018. Landfill site selection for municipal solid waste by using AHP method in GIS environment: waste management decision-support in Sicily (Italy). *Detritus*, **2**(1), 78.
- Rezaeisabzevar, Y., Bazargan, A. and Zohourian, B. 2020. Landfill site selection using multi criteria decision making: Influential factors for comparing locations. *Journal of Environmental Sciences*, **93**, 170-184.
- Sener, B., Suzen, L. And Doyuran, V., 2006. Landfill site selection by using geographic information systems. *Environmental Geology*, **49**, 376–388.
- SHT-HES, 2018. Havaalanı Emniyet Standartları Talimatı, Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü, Ankara, 2018.
- Sisay, G., Gebre, S. L. And Getahun, K., 2021. GIS-based potential landfill site selection using MCDM-AHP modeling of Gondar Town, Ethiopia. *African Geographical Review*, **40**(2), 105-124.
- SKKY, 2004. Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği. Resmi Gazete Sayısı, 31 Aralık 2004, 25687.

- Şener, Ş., Şener, E., Nas, B. and Karagüzel, R., 2010. Combining AHP with GIS for landfill site selection: a case study in the Lake Beyşehir catchment area (Konya, Turkey). *Waste management*, **30**(11), 2037-2046.
- Tadros, Z., 2009. Some aspects of solid waste disposal site selection: the case of Wadi Modaneh, Jordan. *International Journal of Environmental Studies*, **66**(2), 207–219.
- TCCS, 2020. Türkiye Cumhuriyeti Nevşehir Valiliği Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, Nevşehir İli 2020 Yılı Çevre Durum Raporu.
- Tercan, E., Dereli, M. A. and Tapkın, S. 2020. A GIS-based multi-criteria evaluation for MSW landfill site selection in Antalya, Burdur, Isparta planning zone in Turkey. *Environmental Earth Sciences*, **79**(10), 1-17.
- Torabi-Kaveh, M., Babazadeh, R., Mohammadi, S. D. and Zaresefat, M., 2016. Landfill site selection using combination of GIS and fuzzy AHP, a case study: Iranshahr, Iran. *Waste Management & Research*, **34**(5), 438-448.
- Tulun, Ş., Gürbüz, E. and Arsu, T., 2021. Developing a GIS-based landfill site suitability map for the Aksaray province, Turkey. *Environmental Earth Sciences*, **80**(8), 1-15.
- Uyan, M. ve Yalpir, Ş., 2016. Çok kriterli karar verme modeli ve CBS entegrasyonu ile tıbbi atık sterilizasyon tesislerinin yer seçimi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **16**(3), 642-654.
- Uyan, M., 2014. MSW landfill site selection by combining AHP with GIS for Konya, Turkey. *Environmental Earth Science*, **71**, 1629–1639.
- Vučijak, B., Kurtagić, S. M. and Silajdžić, I., 2016. Multicriteria decision making in selecting best solid waste management scenario: a municipal case study from Bosnia and Herzegovina. *Journal of cleaner production*, **130**, 166-174.
- Wang, C.N., Nguyen, V.T., Thai, H.T.N. and Duong, D. H. 2018. Multi-criteria decision making (MCDM) approaches for solar power plant location selection in Vietnam. *Energies*, **11**(6), 1504.
- Yesilnacar, M.I., Süzen, M.L., Kaya, B.Ş. and Doyuran, V., 2012. Municipal solid waste landfill site selection for the city of Şanlıurfa-Turkey: an example using MCDA integrated with GIS. *International Journal of Digital Earth*, **5**(2), 147-164.
- Zadeh, L.A., 1965. Fuzzy sets. *Information and Control*, **8**(3), 338–353.
- Zadeh, L.A., 1971. Quantitative fuzzy semantics. *Information sciences*, **3**(2), 159-176.
- Zahari, M.S., Ishak, W.M.F.W. and Samah, M.A.A., 2010. Study on solid waste generation in Kuantan, Malaysia: Its potential for energy generation. *International Journal of Engineering Science and Technology*, **2**(5), 1338- 1344.
- Zamorano, M., Molero, E., Hurtado, A., Grindlay, A. and Ramos, A., 2008. Evaluation of a municipal landfill site in Southern Spain with GIS-aided methodology. *Journal of hazardous materials*, **160**(2-3), 473-481.

AKÜ FEMÜBİD 22 (2022) 045601 (850-857)

AKU J. Sci. Eng. 22 (2022) 045601 (850-857)

DOI: 10.35414/akufemubid.1108530

Araştırma Makalesi / Research Article

Mikrogrid Donatı ile Güçlendirilmiş Zeminde Dairesel Temel Taşıma Gücünün Deneysel Olarak İncelenmesi

Ömer YEŞİLTEPE^{1*}, Mehmet Şerif KAHRAMAN², Yakup TÜREDİ², Murat ÖRNEK²¹Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü, Kilis²İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Hatay

Sorumlu yazar e-posta: omeryesiltepe@kilis.edu.tr
serifkahraman92@gmail.com
yakup.turedi@iste.edu.tr
murat.ornek@iste.edu.tr

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9337-9157>
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3382-6266>
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9197-5214>
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0809-2531>

Geliş Tarihi: 25.04.2022

Kabul Tarihi: 10.08.2022

Öz

Anahtar kelimeler

Mikrogrid donatı;
Daire temel;
Zemin iyileştirme;
Taşıma gücü;
Laboratuvar deneyi

Zayıf zeminlerde inşa edilen yapıların temel tasarımı oldukça önemlidir. Bu tür zeminlerde yüzeysel temeller yetersiz kalıyorsa ya bir zemin iyileştirme yöntemi uygulanmalı ya da uygun görülen bir derin temel sistemi tercih edilmelidir. Zayıf zeminlere geosentetik donatılar yerleştirilerek zeminin taşıma gücü bakımından iyileştirilmesi mümkün olmaktadır. Bu çalışmada daire ve kare kesitlerde hazırlanmış mikrogrid donatı yerleştirilerek güçlendirilmiş gevşek kum zemine yerleştirilen daire temelin aksel kuvvet altındaki davranışını gözlemek için 31 adet laboratuvar deneyi yapılmıştır. Donatının derinliği, donatıların genişliği/çapı, donatıların geometrileri değiştirilerek taşıma gücü bakımından optimum donatı parametreleri yapılan deneylerle araştırılmıştır. Deneyler sonucunda mikrogrid donatıların daire temelin taşıma gücünü arttırdığı tespit edilmiştir. Ayrıca mikrogrid donatıların optimum parametreleri belirlenmiştir.

Experimental Investigation of the Circular Footing Bearing Capacity Rested on Mikrogrid Reinforced Soil

Abstract

Keywords

Mikrogrid
reinforcement;
Circular footing;
Soil improvement;
Bearing capacity;
Laboratory test

The footing design of buildings to be built in areas where loose soil condition, is very important. If the shallow foundations are insufficient in such soils, either a soil improvement method should be applied or a suitable deep foundation system should be preferred. It is possible to improve the bearing capacity of the soil by placing geosynthetic reinforcements on loose soils. In this study, 31 laboratory tests have been conducted to observe the behavior of the circular foundation on loose sand soil reinforced with circular and square mikrogrid reinforced under axial force. The optimum reinforcement parameters were investigated with laboratory tests by changing the reinforcement depth, the width / diameter of the reinforcement, the reinforcement geometry. As a result of the tests, it was determined that the mikrogrid reinforcements increase the circular footing bearing capacity. In addition, optimum parameters of mikrogrid reinforcements were determined.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi.

1. Giriş

Temeller üst yapı yüklerini zemine aktaran oldukça önemli yapı elemanlarıdır. Temelden aktarılan yükün kabul edilebilir sınırlarda oturma yaparak zemin tarafından taşınması istenir. Doğal haldeki zeminlerin homojen olmadığı ve her zemin türünün oturma ve taşıma gücü özelliklerinin birbirlerinden

farklılık gösterdikleri bilinmektedir. Zayıf bir zeminde yapı inşa edilecekse ya zeminin çeşitli mühendislik yöntemleri ile güçlendirilmesi ya yükün daha aşağılardaki zemin tabakalarına aktarılabilmesi için derin temel uygulaması yapılması ya da mevcut zeminin kaldırılıp istenilen özelliklerdeki farklı bir zeminin yerleştirilmesi gerekir.

Donatılı zemin uygulamaları, zayıf zemine istenilen özelliklere sahip donatıların yerleştirilerek zeminin taşıma gücü ve oturma problemlerine çözüm sağlayabilen zemin iyileştirme yöntemlerinden biridir. Zeminlere yerleştirilebilen donatılardan birisi de geosentetik donatılardır. Geosentetik donatıların çekme dayanımları yüksek olduğundan dolayı zayıf zeminlere yerleştirildiğinde önemli taşıma gücü artışları sağlamaktadır. Bu konu ile ilgili olarak literatürde farklı temel çeşitlerinde, geosentetiklerle güçlendirilmiş zeminler ile ilgili yer alan çalışmalardan bazıları aşağıda verilmiştir.

Donatılı zeminler ile ilgili ilk bilimsel çalışmada donatı ile güçlendirilmiş olan kum zemin ortamına yerleştirilmiş şerit temellerin taşıma gücü kapasitesi laboratuvar model deneyleri ile araştırılmıştır. Deneylerde kum zemine alüminyum donatılar yerleştirilip üç seri halinde deneyler yapılmıştır. Deney sonuçlarının karşılaştırılması amacıyla boyutsuz bir katsayı olarak Taşıma Kapasitesi Oranı (BCR) tanımlanmıştır. Bu değer donatı ile güçlendirilmiş zeminin nihai taşıma gücü değerinin donatısız zeminden elde edilen nihai taşıma gücüne bölünmesi ile elde edilmektedir (Binquet and Lee, 1975).

Geosentetik donatı ile güçlendirilmiş zemine yerleştirilen farklı çap değerlerine sahip dairesel ve halka temellerin davranışları bir takım laboratuvar deneyleri ile incelenmiştir. Aynı deneyler donatısız zemin ortamı için de tekrar edilmiştir. Ayrıca bu model deneyler Plaxis sonlu elemanlar programında da analiz edilmiştir. Deney sonuçları ile analiz sonuçları kıyaslanmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda donatılı zeminde taşıma gücünde meydana gelen artış değeri, BCR = 3,02 olarak tespit edilirken analizler sonucu bu oran 3,20 olarak belirlenmiştir (Laman ve Babacan, 2004).

İki katmanlı kil zemin tabakasının üzerine yerleştirilmiş ring temellerin taşıma gücü kapasitesini araştırmak için bir takım sayısal analizler yapılmıştır. Ring temel iç yarı çapı ile dış yarı çapı oranı (r_i/r_o) ve kil tabaka kalınlığının taşıma gücüne etkileri incelenmiştir. Yapılan analiz sonuçlarında (r_i/r_o) oranının artması ile taşıma gücünün azaldığı görülmüştür (Moayed *et al.* 2012).

Donatı ile takviye edilmiş gevşek kum zemine oturan çokgen yüzeysel temellerin taşıma gücü davranışlarının belirlenebilmesi amacıyla bir takım laboratuvar model deneyleri yapılmıştır. Deneylerde temel geometrisi olarak H, +, T ve kare kesitler seçilmiştir. Deney sonuçlarına göre; geogrid donatı takviyesinin gevşek kumun taşıma gücünü artırdığı, ilk donatı derinliği (u) arttıkça +, H, T ve kare kesitli temeller için zeminin taşıma gücünün azaldığı belirlenmiştir (Davarcı, 2014).

Geogrid donatı yerleşim şekli, boyutları ve sayılarının temellerin taşıma gücüne etkisini incelemek adına yapılan laboratuvar çalışmalarında, belli genişliklerde donatı konfigürasyonlarıyla güçlendirilmiş kum zemine yerleştirilen temel modellerinin taşıma gücü kapasiteleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre en fazla taşıma kapasitesinin donatı çapının, derinliğin artmasıyla azaltılan yamuk düzenlemeler durumunda olduğu görülmüştür (Rowshanzamir and Karimian, 2016).

Kohezyonsuz zemine yerleştirilmiş eksenrik yüklü ve pürüzlü ring temellerin taşıma gücü kapasitesinin incelendiği çalışmada, sonlu farklar yöntemi kullanılarak bir takım üç boyutlu sayısal analizler ve deneysel çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda, sayısal analiz sonuçları ve deneysel veriler arasında iyi bir uyum yakalandığı belirtilmiştir (Sargazi and Hosseininia, 2017).

Literatürdeki çalışmalarda genel olarak, laboratuvar ortamında model boyutlarda temellerin kullanıldığı ancak geogrid donatıların model boyutlara indirgenmediği tespit edilmiştir. Buradan hareketle laboratuvar ortamında yapılan deneylerde temelin geometrisinin yanı sıra geogrid donatı geometrisi de azaltılmış, sonuçlar bu doğrultuda irdelenmeye çalışılmıştır.

Bu çalışmada laboratuvar ortamında yapılan model deneyler ile mikrogrid donatı yerleştirilerek iyileştirilen gevşek kum zeminin donatı parametrelerinin taşıma gücüne etkileri araştırılmıştır. Deneylerde 4mm elek açıklığı olan daire ve kare kesitli mikrogrid donatılar kullanılmıştır. Yüzeysel temel olarak çapı 20 cm olan rijit plaka kullanılmıştır. Model deneylerde

mikrogrid donatılarının donatı derinliği, donatı genişliği/çapı, donatı geometrisi gibi parametreler değiştirilerek donatıların, zeminin taşıma gücü üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Laboratuvar model deneylerinde gevşek kum zemin kullanılmıştır. Kullanılan zemine ait özellikleri belirleyebilmek adına elek analizi deneyleri yapılmıştır. Zeminin dane çapı dağılım eğrisinden zemin sınıfı, Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi'ne (USCS) göre kötü derecelenmiş ince ve temiz kum (SP) olarak belirlenmiştir. Kullanılan zemine ait parametreler Çizelge 1'de verilmiştir. Model laboratuvar deneyleri, İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Geoteknik Laboratuvarı'nda yapılmıştır.

Çizelge 1. Deneylerde kullanılan gevşek kum zemine ait parametreler

Özellik	Değer
Kaba dane miktarı (%)	0.00
Orta büyüklükteki dane miktarı (%)	65.00
İnce dane miktarı (%)	35.00
D ₁₀ (mm)	0.16
D ₃₀ (mm)	0.28
D ₆₀ (mm)	0.58
Üniformluk katsayısı, C _u	3.63
Derecelenme katsayısı, C _c	0.84
Özgül ağırlık	2.75
Maksimum kuru birim ağırlık (kN/m ³)	17.11
Minimum kuru birim ağırlığı (kN/m ³)	15.44
Maksimum boşluk oranı e _{max}	1.108
Maksimum boşluk oranı e _{min}	0.902
Rölatif sıkılık Dr(%)	0.257
Deneyde kullanılan birim hacim ağırlık (kN/m ³)	15.84
Kohezyon, c (kPa)	0.00
Kayma mukavemeti açısı, ϕ (derece)	36.00
Zemin sınıfı (USCS)	SP

2.1 Model Dairesel Temel

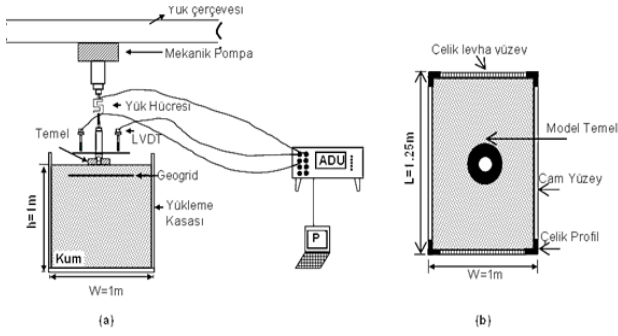
Deneylerde 20 cm çapında rijit plaka, model temel olarak kullanılmıştır. Donatı parametreleri temel çapı ile oranlanarak ifade edilmiştir. Dairesel temele ait görsel Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Model dairesel temel

2.2 Deney Düzenegi

Deney düzenegi, yük çerçevesi, mekanik pompa, yük hücresi, deplasman ölçer ve deney kasasından oluşan bir yükleme düzeneginden ibarettir. Kuru haldeki kum zemin deney kasasına önceden çizilmiş olan 5cm'lik yatay çizgilere göre gerekli miktarlarda tabakalar halinde yerleştirilmiştir. Bu amaçla (1.25mx1.0mx0.05m) hacimdeki tabakalara için sabit bir yoğunluk için gerekli kum miktarı tartılmış, ardından kum zemin yerleştirilmiştir. Bu işlem bütün deneylerde titizlikle tekrar edilerek her deney için aynı rölatif sıkılık değeri yakalanmaya çalışılmıştır. Kum zemin üzerine terazi yardımıyla yüzeysel temel yatay olarak yerleştirilmiş ve yük çerçevesine bağlı bulunan mekanik pompaya bağlı basınç kolu vasıtasıyla temele yük uygulanmıştır. Uygulanan yük değeri yük hücresi tarafından, temeldeki oturmalar da deplasman ölçerler tarafından kaydedilerek veri işleme ünitesine aktarılmıştır. Bu şekilde yükleme yapılarak yük-oturma eğrileri elde edilmiştir. Deney düzenegine ait kesit görünümleri ve yükleme düzenegi Şekil 2'de yer almaktadır.



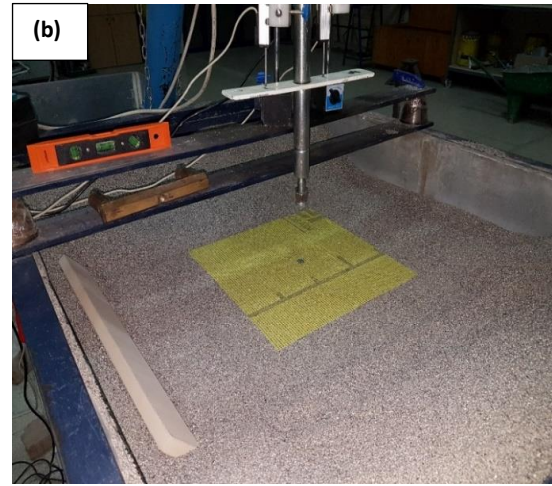
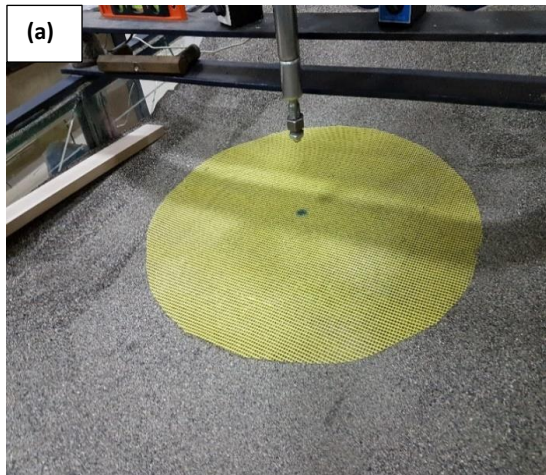
Şekil 2. a) Deneysel düzeneğin kesit görünüşü b) Üstten görünüşü c) Yükleme düzeneği

2.3 Mikrogrid Donatı

Model laboratuvar deneylerinde mikrogrid olarak isimlendirilen 4 mm elek açıklığına sahip iki eksenli çalışabilen geogrid donatılar kullanılmıştır (Çizelge 2). Her bir deneyde bir adet kullanılan mikrogrid donatı, temel çapına bağlı olarak kare ve daire şeklinde kesilerek farklı boyutlarda hazırlanmıştır (Şekil 3).

Çizelge 2. Mikrogrid donatının özellikleri

Parametre	Değer
Cinsi	Polimer kaplamalı cam yünü
Elastisite modülü (kN/m)	40
Ağırlık (gr/m ²)	160
Elek açıklığı (mm)	4
Çalışma eksenleri	Çift



Şekil 3. a) Daire kesitli mikrogrid b) kare kesitli mikrogrid

2.4 Deneysel Programı

Kare ve daire kesitli mikrogrid donatılarda donatı derinliği (u) ve donatı çap/genişliği (d) parametrelerinin taşıma gücüne olan etkileri laboratuvar model deneyleriyle incelenmiş ve optimum donatı parametreleri belirlenmeye çalışılmıştır. Burada değişken parametreler olarak kabul edilen d ve u değerleri deneylerde kullanılan dairesel temel çapına (D=20 cm) bağlı olarak tanımlanmıştır. Deneyler seri setleri şeklinde yapılarak yük ve oturma değerleri grafikler oluşturularak analiz edilmiştir. Model temel ve mikrogrid donatılarının deney parametreleri çizelge haline getirilerek sunulmuştur (Çizelge 3). Zeminlerde mikrogrid donatının yerleştirilmesinin taşıma gücüne olan katkısını görmek ve hangi mertebelerde iyileştirme sağladığını belirleyebilmek adına donatısız durumlar için de deneyler yapılmıştır.

Çizelge 3. Deneysel programı

Seriler	Deneysel Adı	Temel Tipi	Donatı geometrisi	Donatı Genişliği/Çapı (d)	İlk Donatı Derinliği (u)
Seri 1	D1	Daire	Donatısız	-	-
	D2	Daire	Kare	1,0 D	0,2 D
	D3	Daire	Kare	1,5 D	0,2 D
	D4	Daire	Kare	2,0 D	0,2 D
	D5	Daire	Kare	2,5 D	0,2 D
	D6	Daire	Kare	3,0 D	0,2 D
	D7	Daire	Kare	1,0 D	0,4 D
	D8	Daire	Kare	1,5 D	0,4 D
	D9	Daire	Kare	2,0 D	0,4 D
	D10	Daire	Kare	2,5 D	0,4 D
	D11	Daire	Kare	3,0 D	0,4 D
	D12	Daire	Kare	1,0 D	0,6 D
	D13	Daire	Kare	1,5 D	0,6 D

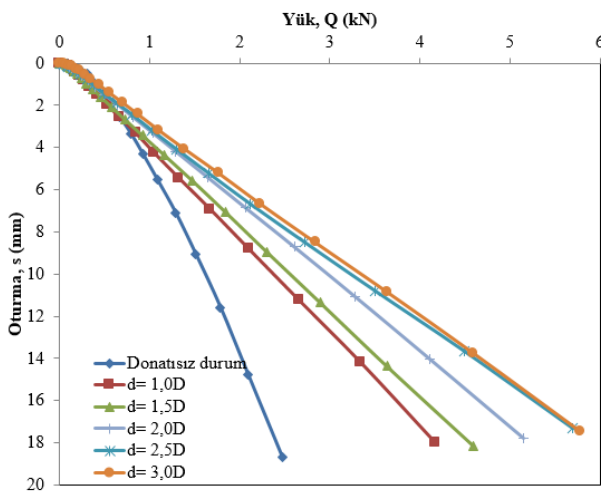
Seri 2	D14	Daire	Kare	2,0 D	0,6 D
	D15	Daire	Kare	2,5 D	0,6 D
	D16	Daire	Kare	3,0 D	0,6 D
	D17	Daire	Daire	1,0 D	0,2 D
	D18	Daire	Daire	1,5 D	0,2 D
	D19	Daire	Daire	2,0 D	0,2 D
	D20	Daire	Daire	2,5 D	0,2 D
	D21	Daire	Daire	3,0 D	0,2 D
	D22	Daire	Daire	1,0 D	0,4 D
	D23	Daire	Daire	1,5 D	0,4 D
	D24	Daire	Daire	2,0 D	0,4 D
	D25	Daire	Daire	2,5 D	0,4 D
	D26	Daire	Daire	3,0 D	0,4 D
	D27	Daire	Daire	1,0 D	0,6 D
D28	Daire	Daire	1,5 D	0,6 D	
D29	Daire	Daire	2,0 D	0,6 D	
D30	Daire	Daire	2,5 D	0,6 D	
D31	Daire	Daire	3,0 D	0,6 D	

3. Bulgular

3.1 Kare Kesitli Donatıların Donatı Derinliği Ve Donatı Genişliği Analizi

Gevşek kum zemine yerleştirilmiş olan kare kesitli mikrogrid donatıların donatı derinliği (u) ve donatı genişliği (d) değiştirilerek yükleme deneyleri yapılmıştır. Deneylerden elde edilen yük-oturma değerleri grafiksel olarak analiz edilmiştir.

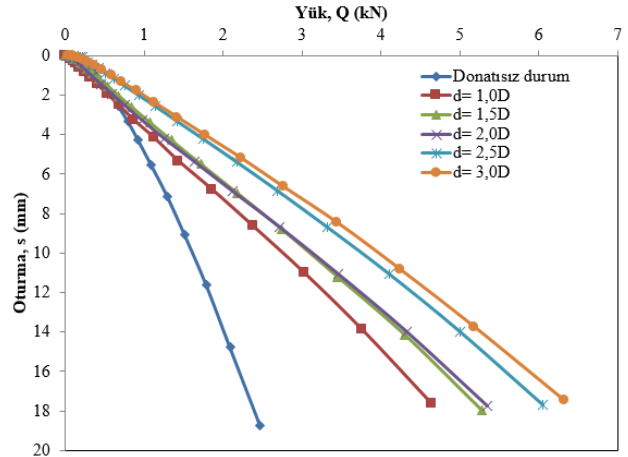
Bu serideki deneylerin ilk bölümünde zemine 0,2D kadar derinliğe konumlandırılan kare donatının genişliği (d)=1,0D; 1,5D; 2,0D; 2,5D ve 3,0D olacak şekilde değiştirilerek beş farklı yükleme deneyi yapılmıştır. Deneylerden elde edilen yük-oturma verileri grafik üzerinde karşılaştırılarak optimum donatı çapı araştırılmıştır (Şekil 4).



Şekil 4. Daire temel- $u=0,2D$ ilk donatı derinliği için yük-oturma grafiği

Şekil 4'den, donatı çapı arttıkça daire temelin yük taşıma kapasitesinin de arttığı görülmektedir. Fakat donatı genişliği $d=2,5D$ ile $d=3,0D$ değerleri için taşıma kapasitesi bakımından yaklaşık olarak aynı katkının elde edildiği belirlenmiştir. Dolayısıyla optimum donatı genişliği, kare mikrogridin $u=0,2D$ derinliğe yerleştirilmesi durumunda $d_{opt}=2,5D$ olarak belirlenmiştir.

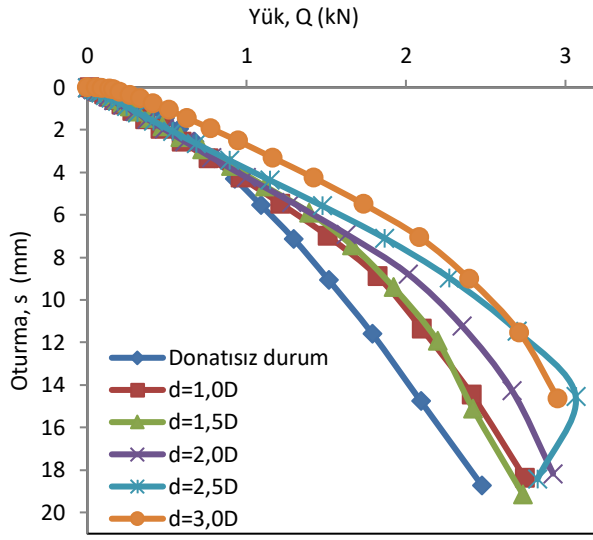
Bu serideki deneylerin ikinci bölümünde ilk donatı derinliğinin $u=0,4D$ olduğu durumda kare donatının genişliği $d=1,0D$; 1,5D; 2,0D; 2,5D ve 3,0D olacak şekilde değiştirilerek beş farklı yükleme deneyi yapılmıştır. Deneylerden elde edilen yük-oturma verileri grafik üzerinde karşılaştırılarak optimum donatı genişliği araştırılmıştır (Şekil 5).



Şekil 5. Daire temel- $u=0,4D$ ilk donatı derinliği için yük-oturma grafiği

Şekil 5'den, donatı genişliği arttıkça daire temelin yük taşıma kapasitesinin de arttığı tespit edilmiştir. Optimum donatı genişliği, kare mikrogridin $u=0,4D$ derinliğe konumlandırılması durumunda $d_{opt}=2,5D$ olarak belirlenmiştir.

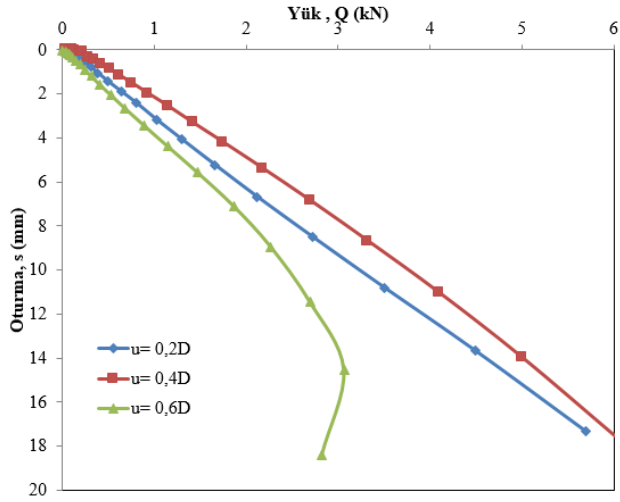
Bu serideki deneylerin üçüncü bölümünde ise ilk donatı derinliğinin $u=0,6D$ olduğu durumda kare donatının genişliği $d=1,0D$; 1,5D; 2,0D; 2,5D ve 3,0D olacak şekilde değiştirilerek beş farklı yükleme deneyi yapılmıştır. Deneylerden elde edilen yük-oturma eğrileri grafik üzerinde karşılaştırılarak optimum donatı genişliği araştırılmıştır (Şekil 6).



Şekil 6. Daire temel- $u=0,6D$ ilk donatı derinliği için yük-oturma grafiği

Şekil 6'dan, donatı genişliği arttıkça taşıma gücünün arttığı görülmektedir. En yüksek taşıma gücü değeri $d=3,0D$ olduğu durumda elde edilmiştir.

Kare kesitli mikrogrid donatının genişliği $2,5D$ olarak sabit tutulmuş ve donatı derinliği $0,2D$, $0,4D$ ve $0,6D$ olacak şekilde yapılan deneylerden elde edilen veriler Şekil 7'de yer almaktadır.



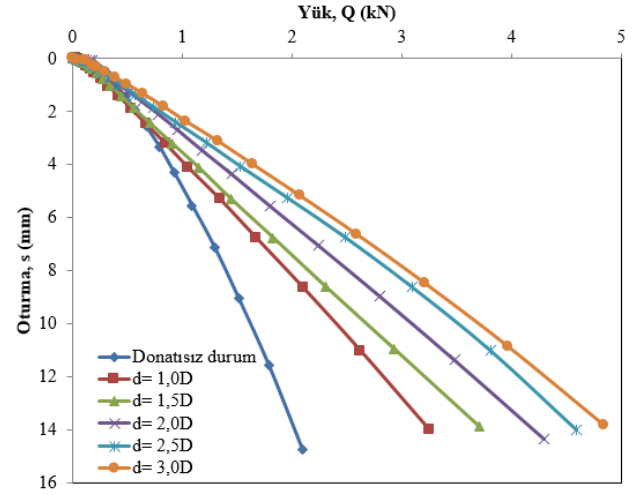
Şekil 7. Kare donatı- $d=2,5D$ için ilk donatı derinliğine bağlı yük-oturma grafiği

Kare kesitli donatıların genişliği arttıkça her üç derinlik için de zeminin taşıma gücünde artış olduğu görülmüştür. Zeminin taşıma gücünde en yüksek değer, donatı derinliğinin $u=0,4D$ olduğu durumda elde edilmiştir.

3.2 Daire Kesitli Donatıların Donatı Derinliği Ve Donatı Çapı Analizi

Bu seride gevşek kum zemine yerleştirilen daire kesitli mikrogrid donatılar, donatı derinliği (u) ve donatı çapı (d) değiştirilerek yükleme deneylerine tabi tutulmuştur. Deneylerde daire kesitli model temeller kullanılmıştır. Yük-oturma değerleri grafiksel olarak analiz edilmiştir.

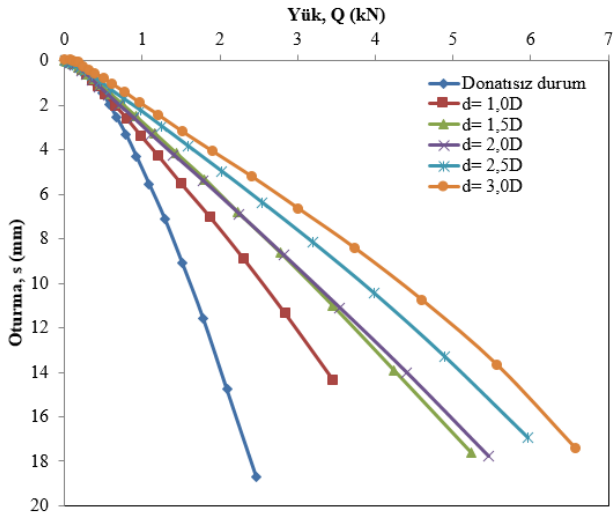
Bu serideki deneylerin ilk bölümünde donatı derinliği $0,2D$ olan daire donatının çapı $d=1,0D$; $1,5D$; $2,0D$; $2,5D$ ve $3,0D$ olacak şekilde değiştirilerek beş farklı yükleme deneyi yapılmıştır. Deneylerden elde edilen yük-oturma verileri grafik üzerinde karşılaştırılarak optimum donatı çapı araştırılmıştır (Şekil 8).



Şekil 8. Daire temel- $u=0,2D$ ilk donatı derinliği için yük-oturma grafiği

Şekil 8'den, donatı çapı arttıkça daire temelin yük taşıma kapasitesinin de arttığı görülmektedir. Donatı çapı $d=2,5D$ ile $d=3D$ uzunluklarında taşıma gücü değerleri birbirlerine yakındır. Dolayısıyla optimum donatı çapı, daire mikrogridin $u=0,2D$ derinliğe yerleştirilmesi durumunda $d_{opt}=2,5D$ olarak belirlenmiştir.

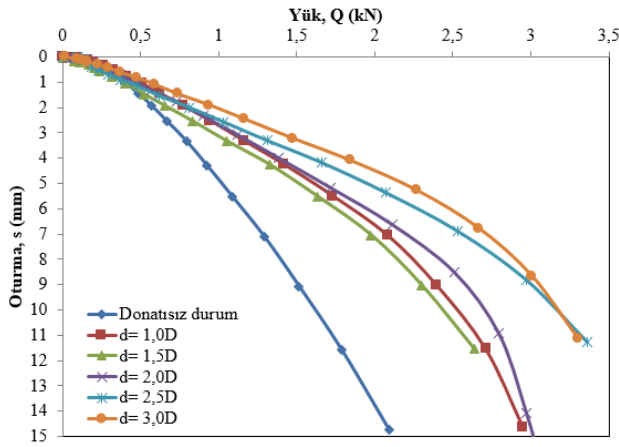
Bu seri deneylerin ikinci bölümünde donatı derinliğinin $u=0,4D$ olduğu durumda daire donatının çapı $d=1,0D$; $1,5D$; $2,0D$; $2,5D$ ve $3,0D$ olacak şekilde değiştirilerek beş farklı yükleme deneyi yapılmıştır. Deneylerden elde edilen yük-oturma eğrileri grafik üzerinde karşılaştırılarak optimum donatı çapı araştırılmıştır (Şekil 9).



Şekil 9. Daire temel-u=0,4D ilk donatı derinliği için yük-oturma grafiği

Şekil 9'dan, donatı çapı arttıkça daire temelin yük taşıma kapasitesinin de arttığı görülmektedir. Dolayısıyla en yüksek taşıma değeri, daire mikrogridin u=0,4D derinliğe konumlandırılması durumunda d=3,0D olarak belirlenmiştir.

Bu seri deneylerin üçüncü bölümünde donatı derinliğinin u=0,6D olduğu durumda daire donatının çapı d=1,0D; 1,5D; 2,0D; 2,5D ve 3,0D olacak şekilde değiştirilerek beş farklı yükleme deneyi yapılmıştır. Deneylerden elde edilen yük-oturma eğrileri grafik üzerinde karşılaştırılarak optimum donatı çapı araştırılmıştır (Şekil 10).

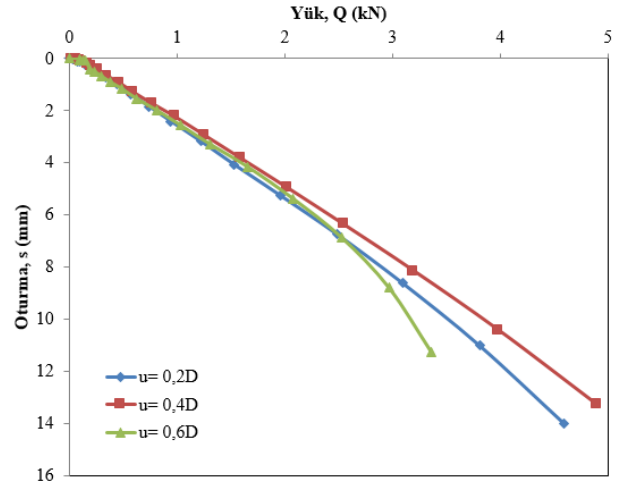


Şekil 10. Daire temel-u=0,6D ilk donatı derinliği için yük-oturma grafiği

Şekil 10'dan, d=2,5D ve d=3,0D değerleri için yaklaşık olarak aynı taşıma gücü değerlerine ulaşıldığı görülmektedir. Dolayısıyla optimum donatı çapı, daire mikrogridin u=0,6D derinliğe

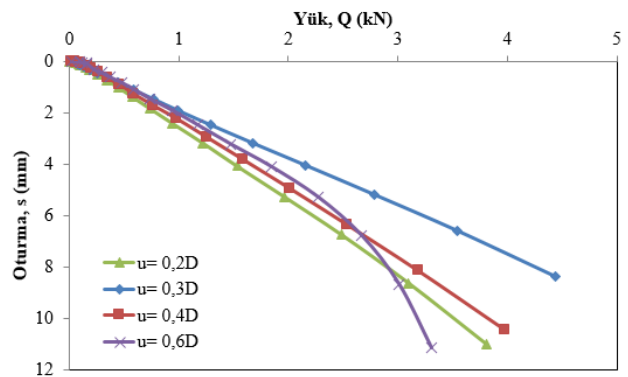
konumlandırılması durumunda $d_{opt}=2,5D$ olarak belirlenmiştir.

Daire kesitli mikrogrid donatının donatı çapı 2,5D olarak sabit tutulmuş ve donatı derinliği 0,2D, 0,4D ve 0,6D olarak yapılan deneylerden elde edilen veriler Şekil 11'de verilmiştir.



Şekil 11. Daire donatı-d=2,5D için ilk donatı derinliğine bağlı yük-oturma grafiği (1)

Donatı çapı 2,5D olarak sabit tutulduğunda donatı derinliği 0,4D için en yüksek taşıma gücü değerleri elde edilmiştir. Fakat u=0,2D ve u=0,4D durumlarında taşıma gücü değerleri birbirine yakın olmuştur. Bu durum değerlendirilerek ilk donatı derinliği u=0,3D için de yükleme deneyi yapılmıştır (Şekil 12).



Şekil 12. Daire donatı-d=2,5D için ilk donatı derinliğine bağlı yük-oturma grafiği (2)

Şekil 12'den, daire temel için daire kesitli donatı kullanılması durumunda donatı derinliğinin optimum değeri $u_{opt}=0,3D$ olduğu tespit edilmiştir.

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada daire ve kare kesitli mikrogridlerle güçlendirilmiş gevşek kum zemine yerleştirilmiş dairesel temellerin aksel düşey kuvvet altında davranışını incelemek amacıyla 31 adet model laboratuvar deneyi yapılmıştır. Deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir;

Seri 1'den elde edilen bulgular incelendiğinde kare kesitli donatı genişliğinin artışı ile beraber taşıma gücünün de artış gösterdiği belirlenmiştir. Optimum donatı genişliğinde ($d_{opt}=2,5D$) üç farklı derinlikte ($u=0,2D, 0,4D$ ve $0,6D$) konumlandırılmış donatılar için optimum donatı derinliğinin $u_{opt}=0,4D$ olduğu görülmüştür.

Seri 2 'deki deney sonuçlarından daire kesitli donatının çapı arttıkça taşıma gücünde de artış gerçekleştiği tespit edilmiştir. Optimum donatı çapında ($d_{opt}=2,5D$) üç farklı derinlikte ($u=0,2D, 0,4D$ ve $0,6D$) konumlandırılmış donatılar için optimum donatı derinliğinin $u_{opt}=0,3D$ olduğu belirlenmiştir.

Her iki donatı kesiti için de donatı derinliğinin optimum değerinin birbirinden farklı olduğu tespit edildiğinden yerleştirilecek donatı geometrisinin donatı derinliği seçiminde önemli bir parametre olduğu sonucuna varılmıştır.

Her iki kesitteki geogridlerin taşıma gücü artışında birbirine yakın oranlarda katkı sağladığı görülmüştür.

Hem kare hem de daire kesitli geogridlerin kötü derecelendirilmiş kum zeminlerde taşıma gücünün arttırılmasında faydalı oldukları çalışma kapsamında yapılan deneyler sonucunda tespit edilmiştir. Geometrilere belli ölçekte irdingenmiş temel-donatı sistemine ait bu çalışma kapsamında elde edilen deneysel verilerin büyük ölçekli arazi deney sonuçları ile karşılaştırılması ve sonrasında aralarında matematiksel bir ilişki elde edilmesiyle geogrid donatı ile güçlendirilen zeminlerin taşıma gücü performansının ölçek özelinde yorumlanabilmesine olanak sağlayabilecektir.

5. Kaynaklar

- Binquet, J. and Lee, K.L., 1975. Bearing capacity tests on reinforced earth slabs, *Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE*, **101(12)**, 1242-1255.
- Davarcı, B., 2014. Geogrid donatılı gevşek kum zemine oturan çok kenarlı yüzeysel temellerin analizi. (Yüksek Lisans Tezi). Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun, Hatay, 171.
- Laman, M. ve Babacan, Ş.D., 2004. Donatılı kum zemin üzerine oturan ring (halka) temellerin analizi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, **19(2)**, 282-287.
- Moayed, R.Z., Rashidian, V. and Izadi, E., 2012, "Evaluation on bearing capacity of ring foundations on two-layered soil", *World Academy of Science, Engineering and Technology*, **61**, 954-958.
- Rowshanzamir, M.A. and Karimian, M., 2016. Bearing capacity of square footings on sand reinforced with dissimilar geogrid layers. *Scientia Iranica*, **23(1)**, 36-44
- Sargazi, O. and Hosseini, E.S., 2017. Bearing capacity of ring footings on cohesionless soil under eccentric load. *Computers and Geotechnics*, **92**, 169-178.

AKÜ FEMÜBİD 22 (2022) 045602 (858-872)

AKU J. Sci. Eng. 22 (2022) 045602 (858-872)

DOI: 10.35414/akufemubid.1076436

Araştırma Makalesi / Research Article

Liquefaction Risk Maps Determined By Nonlinear Analysis Method Using Geographical Information Systems: Kütahya Case

İsmail ZORLUER¹, Sinan KABAK², Süleyman GÜCEK³^{1,3}Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 03200, Afyonkarahisar.²Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Öğrencisi.

Sorumlu yazar e-posta: sgucek@aku.edu.tr

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4839-1851>

izorluer@aku.edu.tr

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5017-084X>

sinankabak43@gmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6007-4069>

Geliş Tarihi: 20.02.2022

Kabul Tarihi: 07.07.2022

Abstract

Liquefaction risk maps were created in Lala Hüseyin Paşa, Gaybiefendi and Meydan neighborhoods in Kütahya city center. A total of 112 boreholes were investigated by helping the SPT results (Standard Penetration Test) and soil parameters. Matasovic/Vucetic or Dobry/Matasovic model was used in the analyzes according to soil class. For analyzes, 11 earthquake were determined. The determined earthquakes were scaled with the Peak Ground Acceleration (PGA) of the neighborhoods and 44 earthquake data were found. Every borehole was analyzed with these 44 earthquake data in the Deepsoil 6.1 program and liquefaction risk maps were created. The average liquefaction risk data for neighborhoods were created by averaging the results obtained. The liquefaction data found show different results for earthquake levels. Liquefaction analysis results according to Earthquake Level-2 (DD-2), which the regulation accepts as a design earthquake; The average liquefaction risk was calculated as 23% in Lala Hüseyin Paşa neighborhood, 40% in Gaybiefendi neighborhood and 35% in Meydan neighborhood. While the highest risk of liquefaction occurred in the Meydan district with 68% according to DD1, the lowest risk was calculated in Lala Hüseyin Paşa District as 3% according to DD4. The liquefaction maps created can enable the necessary precautions to be taken for the construction in the neighborhoods.

Keywords

Standard penetration test(SPT); Liquefaction; Liquefaction risk map; Deepsoil

Doğrusal Olmayan Analiz Yöntemi ile Belirlenen Sıvılaşma Riskinin Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak Haritalanması: Kütahya Örneği

Öz

Bu çalışmada, Kütahya ili Merkez ilçesine bağlı Gaybiefendi, Meydan ve Lala Hüseyin Paşa Mahallelerinde sıvılaşma risk haritaları oluşturulmuştur. Standart Penetrasyon Deneyi(SPT) sonuçları ve zemin parametrelerinden yararlanılarak toplam 112 adet sondaj kuyusu incelenmiştir. Analizlerde zemin sınıfına göre Matasovic/Vucetic veya Dobry/Matasovic boşluk suyu basıncı oluşum modeli kullanılmıştır. Analizler için 11 adet deprem seçilmiştir. Mahallelerin PGA(en büyük yer ivmesi) değerleri ile, seçilen depremler ölçeklendirilmiş ve toplamda 44 adet deprem kaydı oluşturulmuştur. Her sondaj kuyusu bu 44 adet deprem ile Deepsoil 6.1 programında analiz edilmiş ve sıvılaşma risk haritaları oluşturulmuştur. Analiz sonuçlarından elde edilen verilerin ortalaması alınarak, mahalleler için ortalama sıvılaşma riskleri bulunmuştur. Elde edilen sıvılaşma riskleri deprem düzeyine göre farklı sonuçlar vermektedir. Yönetmeliğin tasarım depremi olarak kabul ettiği Deprem Düzeyi-2 (DD-2)'ye göre yapılan sıvılaşma analiz sonuçları; Gaybiefendi Mahallesinde ortalama sıvılaşma riski % 40, Meydan Mahallesinde % 35 ve Lala Hüseyin Paşa Mahallesinde % 23 olarak hesaplanmıştır. En yüksek sıvılaşma riski DD1'e göre % 68 ile Meydan mahallesinde oluşurken, en düşük risk DD4'e göre % 3 olarak Lala Hüseyin Paşa mahallesinde hesaplanmıştır. Elde edilen sıvılaşma haritaları, bu bölgelerde yeni yapılacak yapılar için zeminin sıvılaşma durumunu göstererek önceden önlem alınmasına yardımcı olacaktır. Sıvılaşma riskinin yüksek olduğu mevcut yerleşim yerlerinde ise gerekli tedbirlerin alınması önerilmektedir.

Anahtar kelimeler

Standart penetrasyon deneyi(SPT); Sıvılaşma; Sıvılaşma risk haritası; Deepsoil

1. Introduction

An earthquake creates repeated shear stresses in the soil. These stresses raise the groundwater level, increasing the pore water pressure. With the continuation of this event, the effective stress approaches zero over time, resulting in loss soil of strength. Turkey is in a region where earthquakes occur frequently. Even if the reinforced concrete designs of the buildings are suitable, the occurrence of liquefaction causes loss of life and property so soil works should also be taken care of.

1-D ground response analyses are employed to understand the behavioral transmission through the soil column in liquefiable areas. The study here focuses on two main aspects of the liquefaction. Regarding the field response, it was stated that the nonlinear analysis approach is more suitable than other methods in predicting the seismic behavior of the soil column (Afacan, 2019). Liquefaction analysis were created helping from the borehole datas in Lala Hüseyin Paşa, Gaybiefendi and Meydan neighborhoods in the Kütahya City center. Deepsoil 6.1 software was used for analysis. A total of 112 boreholes were investigated. Liquefaction risk maps were created with selected 11 earthquake records.

Standard Penetration data is generally high for Lala Hüseyin Paşa neighborhood so liquefaction potential is low compared to Meydan and Gaybiefendi neighborhoods. The liquefaction maps created can enable the necessary precautions to be taken for the construction in the neighborhoods.

2. Materials and Methods

Liquefaction analysis were created in Lala Hüseyin Paşa, Gaybiefendi and Meydan neighborhoods in the Kütahya City center. The Borehole data required for the analyzes were obtained from the Municipality of Kütahya. The groundwater level location, the rate of soil that passes through the 200 numbered sieve (fine soil ratio), SPT value, plasticity index, unit weight and soil type data were obtained from the soil reports.

Dobry/Matasovic and Matasovic/Vucetic pore pressure generation models were applied using Deepsoil 6.1 software to determine liquefaction potentials.

2.1 Introduction of Kütahya Region

Kütahya is located at 38° 70'- 39° 80' north latitudes and 29° 00'-30° 30' east longitudes. The population of Kütahya province is 579 257 as a result of 2019 measurements. The altitude of the city center is 969 m above sea level, and the surface area of the city is 11 977 km².

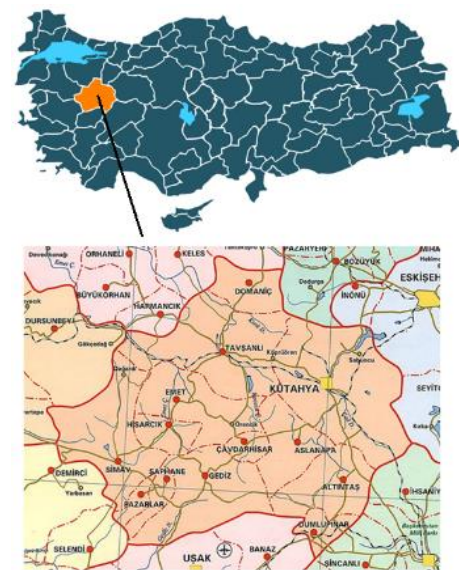


Figure 1. Location of Kütahya.

2.2 Earthquake Characteristics of Kütahya Region

The move of Anatolia in the western direction causes compression in the east-west direction and expansion in the north-south direction. This situation causes the faults in the region to interact and move. The region is located in the Mediterranean Earthquake Belt in terms of earthquakes, and earthquakes with a magnitude of 4 to 8 may occur with active faults on it. There are earthquake places with 1st and 2nd degree risk in the region (Sezer 2010).

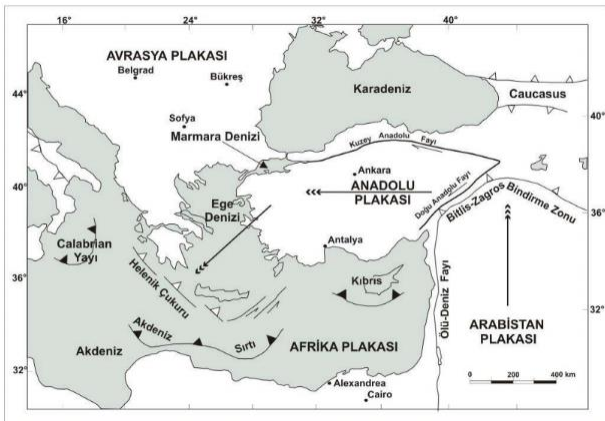


Figure 2. Active tectonic map of Turkey (Okay vd 2000).

2.3 Introduction of Investigated Neighborhoods

Within the scope of the study, liquefaction analyzes were made by examining the soil reports in Lala Hüseyin Paşa, Gaybiefendi and Meydan neighborhood in the Central district of Kütahya. The boundaries of the study area are shown in Figure 3.



Figure 3. The boundaries of the study area (General Directorate of Land Registry and Cadastre).

2.4 Investigation Boreholes

The locations of the examined boreholes are given in the figures below. 33 boreholes in Meydan neighborhood, 44 boreholes in Gaybiefendi neighborhood and 35 boreholes in Lala Hüseyin Paşa neighborhood were investigated.



Figure 4. Locations of Boreholes for Gaybiefendi Neighborhood (General Directorate of Land Registry and Cadastre).



Figure 5. Locations of Boreholes for Meydan Neighborhood (General Directorate of Land Registry and Cadastre).



Figure 6. Locations of Boreholes for Lala Hüseyin Paşa Neighborhood (General Directorate of Land Registry and Cadastre).

2.5 Calculation of Soil Parameters

2.5.1 Shear Velocity (V_s)

lyisan 1996 equation (1) is used for the shear velocity value.

$$V_s = 51,5 \times N^{0,516} \quad (1)$$

V_s = Shear Velocity
 N = N_{30} value (for SPT)

2.5.2 Unit Weight

There are no unit weight values in the obtained soil reports. The values in Table 1 are taken as a reference for the unit weight data of the soils.

Chart 1. Typical density values of some soils (Hansbo 1975).

Soil Type	Density (Mg/m ³)		
	ρ_{sat}	ρ_d	ρ'
Sands and Gravels	1,9-2,4	1,5-2,3	0,9-1,4
Silts and Clays	1,4-2,1	0,6-1,8	0,4-1,1
Organic silts and clays	1,3-1,8	0,5-1,5	0,3-0,8

* ρ_{sat} = saturated density, ρ_d = dry density, ρ' = density under water

2.5.3 N_{60} Value

Many factor affect the result while performing the SPT (Standard Penetration) test. The SPT test is used in many parts of the world and the results obtained need to be corrected to be global. Various parameters have been created for this. Equation (2) was used for the N_{60} value in this study.

$$N_{60} = (SPT - N) \times C_E \times C_R \quad (2)$$

SPT-N = N_{30} value

N_{60} = SPT N value corrected to 60% of the theoretical free fall hammer energy

C_E = Energy correction factor

C_R = Drill Length correction factor

C_E value constant is 0.75 and C_R values are given in Table 2.

Chart 2. C_R correction factors used in the study.

Depth (m)	Drill Length correction factor (C_R)
≤ 3	0,75
4,5	0,85
6	0,95
7,5	0,95
9	0,95
10-30	1,00

2.5.4 Overburden Correction Factor (C_N)

Liao and Whitman (1986) equation (3) is applied for the C_N value.

$$C_N = \sqrt{\frac{1}{0,01 \times \sigma_v'}} \leq 1,70 \quad (3)$$

σ_v' = Effective stress

C_N = Overburden correction factor

2.5.5 Angle of Internal Friction (ϕ)

Hatanaka and Uchida 1996 equation (4) was used to find the internal friction angle (ϕ) value of gravel, sand and silt type soils.

$$\phi = \sqrt{20 \times (N_1)_{60}} + 20 \quad (4)$$

ϕ = Angle of Internal Friction

$(N_1)_{60}$ = When calculating $(N_1)_{60}$, C_N is multiplied by N_{60} .

Angle of internal friction (ϕ) was calculated from the expression corresponding to the PI (Plasticity index) value shown in Figure 7 for clay soils.

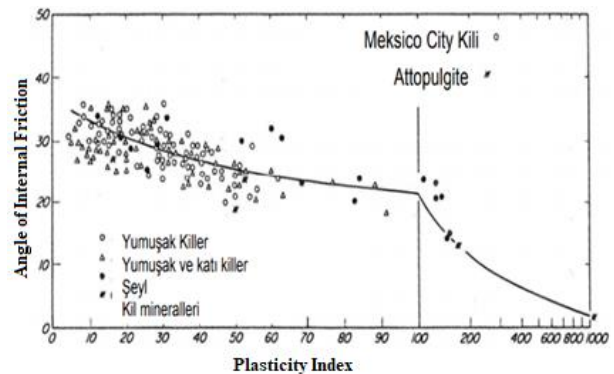


Figure 7. Relationship between the plasticity index and the angle of internal friction (Terzaghi vd. 1996).

2.5.6 Coefficient of Earth Pressure At Rest (K_0)

Jacky 1944 equation (5) was applied to find the K_0 value on gravel, sand and silt soils. K_0 constant 0.5 was used for clays.

$$K_0 = 1 - \sin\phi \tag{5}$$

ϕ = Angle of Internal Friction
 K_0 = Coefficient of Earth Pressure At Rest

2.5.7 Undrained Shear Strength (C_u)

Equation (6) was used for the undrained shear strength.

$$C_u = \sigma' \times \tan\phi \tag{6}$$

C_u = Undrained Shear Strength
 ϕ = Angle of Internal Friction
 σ' = Effective Stress

2.5.8 Overconsolidation Ratio (OCR)

The over-consolidation ratio (OCR) was determined using equation (7).

$$OCR = 0,193 \times \left(\frac{N_{60}}{\sigma'/1000}\right)^{0,689} \tag{7}$$

OCR = Overconsolidation Ratio
 σ' = Effective Stress
 N_{60} = SPT N value corrected to 60% of the theoretical free fall hammer energy

2.6 Pore water Pressure Models

The pore pressure generation models are given in Table 3.

Chart 3. Pore water pressure models and parameters (Hashash vd. 2016).

Model	Soil Type	Abbrev.	Model No	Parameters						
				1	2	3	4	5	6	7
Dobry& Matasovic	Sand	S-M /D	1	F	p	F	s	γ_{tvp}	v	-
Matasovic & Vucetic	Clay	C-M	2	S	r	A	B	C	D	γ_{tvp}
GMP	Cohesionless	GMP	3	A	Dr (%)	FC (%)	-	-	v	-
Park& Ahn	Sand	P/A	4	A	β	$D_{ru}=1$	CSR_t	-	v	-
Generalized	Any	G	5	A	β	-	-	-	v	-

2.6.1 Dobry / Matasovic Model

Matasovic and Vucetic (1993,1995) suggested equation (8) for sand soils.

$$u_N = \frac{p * f * N_{C * F * (\gamma_c - \gamma_{tvp})^S}}{1 + f * N_{C * F * (\gamma_c - \gamma_{tvp})^S}} \tag{8}$$

The definitions of the parameters in Equation (8) are given in Table 4.

Chart 4. Dobry / Matasovic Model Parameters.

PARAMETERS	DESCRIPTION
u_N	Normalized excess pore pressure ($r_u = u'/\sigma_v'$).
N_{eq}	Equivalent number of cycles.
γ_c	The current reversal shear strain
γ_{tvp}	Threshold shear strain value.
P	Curve fitting parameter. It takes a value between $1 \pm 7,1$ for sands of different types and relative densities. In the absence of laboratory data, $p = 1$ is usually assumed.
S	Curve fitting parameter. $s = (FC + 1)^{0,1252}$ (FC , fine soil ratio %.) (Carlton, 2014)
F	Curve fitting parameter. $F = 3810 * V_s^{-1,55}$ (V_s , Shear Velocity m/s.) (Carlton, 2014)
F	Dimensionality factor. For 1D motion $f=1$, For 2D motion $f=2$.
V	Degradation parameter.

2.6.2 Matasovic / Vucetic Model

Matasovic and Vucetic, (1995) suggested equation (9) for clay soils in this model.

$$u_N = AN_C^{-3s(\gamma_c - \gamma_{tvp})^r} + BN_C^{-2s(\gamma_c - \gamma_{tvp})^r} + CN_C^{-s(\gamma_c - \gamma_{tvp})^r} + D \quad (9)$$

The explanations of the parameters in equation (9) are given in table 5.

Chart 5. Matasovic / Vucetic Model Parameters.

PARAMETERS	DESCRIPTION
u_N	Normalized excess pore pressure ($r_u = u'/\sigma_v'$).
N_{eq}	Equivalent number of cycles
γ_c	The most recent reversal shear strain.
γ_{tvp}	Threshold shear strain value.
r	Curve fitting parameter. $r = 0,7911 \times PI^{-0,113} \times OCR^{-0,147}$ (Carlton, 2014).
s	Curve fitting parameter. $s = 1,6374 \times PI^{-0,802} \times OCR^{-0,417}$ (Carlton, 2014).
A	Curve fitting coefficients. $A = \begin{cases} OCR < 1,1 \text{ for } 7,6451 \\ OCR \geq 1,1 \text{ for } 15,641 \times OCR^{-0,242} \end{cases}$ (Carlton, 2014).
B	Curve fitting coefficients. $B = \begin{cases} OCR < 1,1 \text{ for } -14,714 \\ OCR \geq 1,1 \text{ for } -33,691 \times OCR^{-0,33} \end{cases}$ (Carlton, 2014).
C	Curve fitting coefficients. $C = \begin{cases} OCR < 1,1 \text{ for } 6,38 \\ OCR \geq 1,1 \text{ for } 21,45 \times OCR^{-0,468} \end{cases}$ (Carlton, 2014).
D	Curve fitting coefficients. $D = \begin{cases} OCR < 1,1 \text{ for } 0,6922 \\ OCR \geq 1,1 \text{ for } -3,4708 \times OCR^{-0,857} \end{cases}$ (Carlton, 2014).

* PI : Plasticity Index, OCR : Overconsolidation Ratio

2.7 Pore Pressure Generation Models Used in The Study

Matasovic/Vucetic and Dobry/Matasovic models were used in the study. Which soil type they are used in are given in Table 6.

Table 6. The pore water pressure models used in the study.

Soil Type	Used Model
Clay	Matasovic & Vucetic
Silt Silt (NP)	Matasovic & Vucetic Dobry & Matasovic
Gravel	Dobry & Matasovic
-Sand (fine soil ratio less than 30%)	-Dobry & Matasovic -Matasovic &
-Sand (fine soil ratio greater than 30%)	Vucetic -Dobry & Matasovic
-Sand (fine soil ratio greater than 30% and NP)	

* NP : non-plastic

2.8 Determination of Earthquake Records

Chart 7. Earthquakes used in the analysis (AFAD).

Earthquake	Magnitude (M _w)	Depth (km)
Adana (Ceyhan) 27.06.1998	6.2	23
Bingöl 01.05.2003	6.1	6
Chi Chi (Taiwan) 21.09.1999	7.3	8
Denizli 20.03.2019	5.5	10.76
Dinar (Afyon) 01.10.1995	6.1	5
Düzce 12.11.1999	7.2	11
Elazığ 24.01.2020	6.8	8.06
Erzincan 13.03.1992	6.6	23
Kobe 17.01.1995	6.9	17.6
Kocaeli 17.08.1999	7.4	15.9
Van 23.10.2011	6.7	19.02

* M_w : Moment magnitude

Earthquakes were scaled with the earthquake ground motion level (DD) data of the neighborhoods. The term DD is specified in the Turkish Building Earthquake Code (TBDY 2018) as follows.

Earthquake Ground Motion Level-1, (DD-1): The probability of exceeding its magnitude is 2% (in 50 years) and its equivalent is the ground motion corresponding to 2475 years of recurrence time (TBDY 2018).

Earthquake Ground Motion Level-2, (DD-2): The probability of exceeding its magnitude is 10% (in 50 years) and its equivalent is the ground motion corresponding to 475 years of recurrence time. DD-2 is also referred to as design ground motion (TBDY 2018).

Earthquake Ground Motion Level-3, (DD-3): The probability of exceeding its magnitude is 50% (in 50 years) and its equivalent is the ground motion corresponding to 72 years of recurrence time (TBDY 2018).

Earthquake Ground Motion Level-4, (DD-4): The probability of exceeding its magnitude is 68% (in 50 years), it is 50% for 30 years and its equivalent is the ground motion corresponding to 43 years of recurrence time (TBDY 2018).

As stated in TBDY, the peak ground acceleration (PGA) data were determined with the help of Turkey Earthquake Hazard Maps (AFAD) for DD-1, DD-2, DD-3, DD-4 in Lala Hüseyin Paşa, Gaybiefendi and Meydan neighborhoods. In line with the determined data, 11 earthquakes in Table 7 were scaled for each earthquake ground motion level. As a result, 44 earthquake records were obtained. The PGA values found for the neighborhoods are shown in Table 8.

Chart 8. Acceleration values used in scaling earthquake records.

Earthquake Ground Motion Levels	PGA (g)
DD-1	0,78
DD-2	0,37
DD-3	0,10
DD-4	0,07

* PGA : Peak Ground Acceleration

3. Results

Matasovic&Vucetic or Dobry&Matasovic model was applied according to the soil type in the examined boreholes. The specified parameters were calculated at every 1,5 meters of depth in the boreholes. Soil profiles were created by entering the calculated pore pressure generation model data and soil parameters into the Deepsoil 6.1 software. Analyzes were made for the boreholes with the determined earthquake records and liquefaction maps were created according to the earthquake ground motion levels (DD) specified in TBDY (2018).

3.1 Determination of Liquefaction Potentials

In order to show the sequence of operations required to perform the liquefaction analysis, the borehole located at Plot 232/5 and 39.4286 latitude 29.9864 longitude coordinates in Gaybiefendi neighborhood is shown as an example. The described steps were applied to all boreholes and in line with the results, liquefaction maps were created in the neighborhoods.

Soil type, groundwater level, SPT number, plasticity index and fine soil ratio values were taken from the boreholes report. Using these values, the necessary soil parameters were calculated (Table 9). Table 10 was created by calculating the necessary data for the pore pressure generation models used according to the soil type. First the pore water pressure analysis was defined in the Deepsoil software (Figure 8).

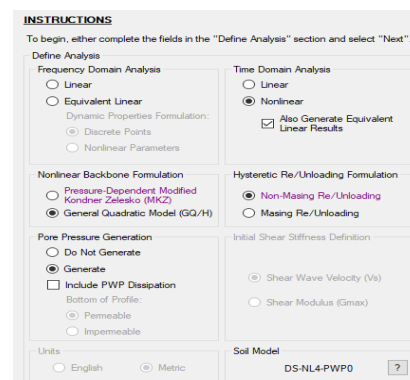


Figure 8. Definition of pore water pressure analysis in Deepsoil 6.1 software.

Chart 9. Soil parameter values of the borehole with 39.4286 / 29.9864 coordinates.

Depth (m)	N ₃₀	V _s (m/s)	Soil Type	Fine Soil Ratio (under sieve 200 numbered) (%)	Density (gr/cm ³)	Effective Stress (kN/m ²)	(N ₁) ₆₀	Plasticity Index	N ₆₀	OCR	K _o	C _u	Angle of Internal Friction ° (φ)
1,50	11	177,49	SM	31,40	1,89	13,9057	10,52	NP	6,19	1,00	0,43	1,700	34,50
3,00	11	177,49	SM	38,60	1,89	41,717	9,58	NP	6,19	1,00	0,44	1,548	33,84
4,50	9	160,03	SM	38,60	1,94	62,5377	7,26	17,4	5,74	1,00	0,47	1,265	32,05
6,00	7	140,57	SC	41,50	1,94	76,3677	5,71	17,4	4,99	1,00	0,49	1,144	30,68
7,50	8	150,59	SC	29,30	1,94	90,1977	6,00	18	5,70	1,00	0,49	1,053	30,96
9,00	5	118,16	SC	43,20	1,94	104,028	3,49	20,2	3,56	1,00	0,53	0,980	28,36
10,50	12	185,64	SM	43,20	1,94	117,858	8,29	20,2	9,00	1,00	0,46	0,921	32,88
12,00	16	215,34	SM	23,70	1,94	131,688	10,46	NP	12,00	1,00	0,43	0,871	34,46
13,50	8	150,59	SM	23,70	1,94	145,518	4,97	NP	6,00	1,00	0,50	0,829	29,97
15,00	19	235,31	SM	49,20	1,94	159,348	11,29	NP	14,25	1,00	0,43	0,792	35,03
16,50	10	168,97	SM	49,20	1,94	173,178	5,70	NP	7,50	1,00	0,49	0,760	30,68
18,00	13	193,46	SC	44,60	1,94	187,008	7,13	23,4	9,75	1,00	0,47	0,731	31,94
19,50	7	140,57	SC	44,60	1,94	200,838	3,70	23,4	5,25	1,00	0,52	0,706	28,61

* The groundwater level is at 3 meters.

Chart 10. The pore pressure generation model parameters of the borehole with 39.4286 / 29.9864 coordinates.

Depth (m)	Vs (m/s)	Soil Type	Fine Soil Ratio (under sieve 200 numbred) (%)	PI	OCR	Model		f: 2	p: 1	F	s	γ: 0,06	v: 1	-
						Dobry & Matasovic: 1	Matasovic & Vucetic: 2							
1,5														
3,0														
4,5	160,0281	SM	38,6	17,4	1	2	0,1657	0,5729	7,6451	-14,714	6,38	0,6922	0,1	
6,0	140,5652	SC	41,5	17,4	1	2	0,1657	0,5729	7,6451	-14,714	6,38	0,6922	0,1	
7,5	150,5919	SC	29,3	18	1	1	2	1	1,6045	1,5328	0,06	1		
9,0	118,1614	SC	43,2	20,2	1	2	0,1470	0,5633	7,6451	-14,714	6,38	0,6922	0,1	
10,5	185,6371	SM	43,2	20,2	1	2	0,1470	0,5633	7,6451	-14,714	6,38	0,6922	0,1	
12,0	215,3442	SM	23,7	NP	1	1	2	1	0,9217	1,4941	0,06	1		
13,5	150,5919	SM	23,7	NP	1	1	2	1	1,6045	1,4941	0,06	1		
15,0	235,312	SM	49,2	NP	1	1	2	1	0,8033	1,6328	0,06	1		
16,5	168,9691	SM	49,2	NP	1	1	2	1	1,3422	1,6328	0,06	1		
18,0	193,4648	SC	44,6	23,4	1	2	0,1306	0,5540	7,6451	-14,714	6,38	0,6922	0,1	
19,5	140,5652	SC	44,6	23,4	1	2	0,1306	0,5540	7,6451	-14,714	6,38	0,6922	0,1	

* The groundwater level is at 3 meters.

After the definition phase of the analysis, soil parameter data (Table 9) and pore pressure generation model data (Table 10) were entered into the software for each 1,5 meters section of the borehole and the soil profile was obtained. Darendeli 2001 was used for reference curves in the software.

11 earthquakes were selected for earthquake records (Table 7). Peak ground acceleration (PGA) data (Table 8) for neighborhoods were obtained from the Turkey Earthquake Map (AFAD) for ground motion levels defined in TBDY (2018). Selected earthquakes were scaled with PGA data and a total of 44 earthquake records were created. Each borehole was analyzed with these 44 earthquake records

As a result of DD-1, DD-2, DD-3 and DD-4 earthquake analysis of the borehole with 39.4286 / 29.9864 coordinates, the pore water pressure ratios obtained from the Deepsoil software are given in Figures 9, 10, 11, 12, respectively. The pore water pressure ratio values vary between 0-1 and the closer it is to 1, the higher the risk of liquefaction.

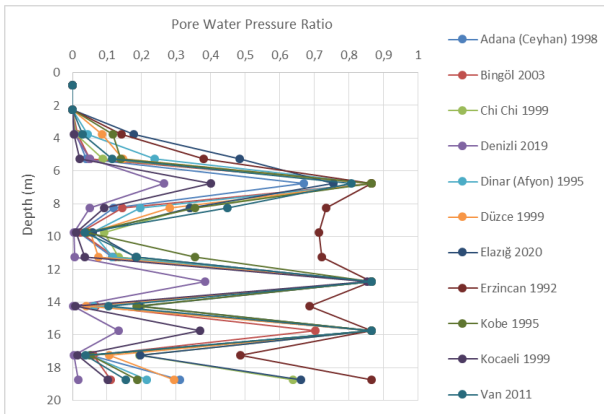


Figure 9. Pore water pressure ratios as a result of the DD-1 analysis of the borehole with 39.4286 / 29.9864 coordinates.

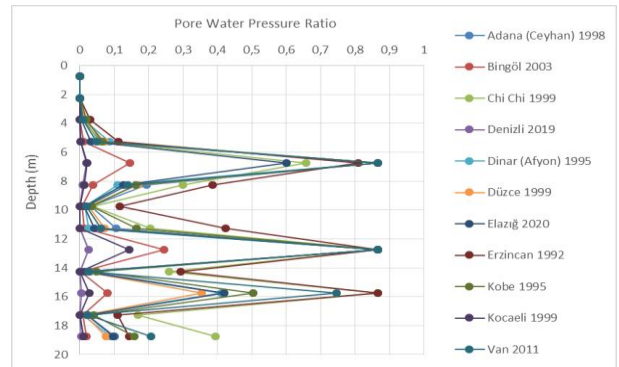


Figure 10. Pore water pressure ratios as a result of the DD-2 analysis of the borehole with 39.4286 / 29.9864 coordinates.

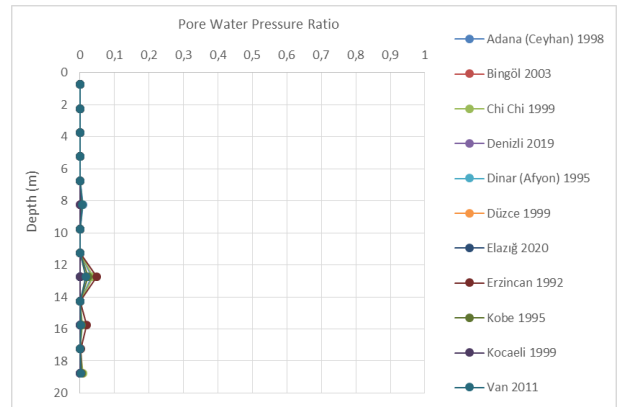


Figure 11. Pore water pressure ratios as a result of the DD-3 analysis of the borehole with 39.4286 / 29.9864 coordinates.

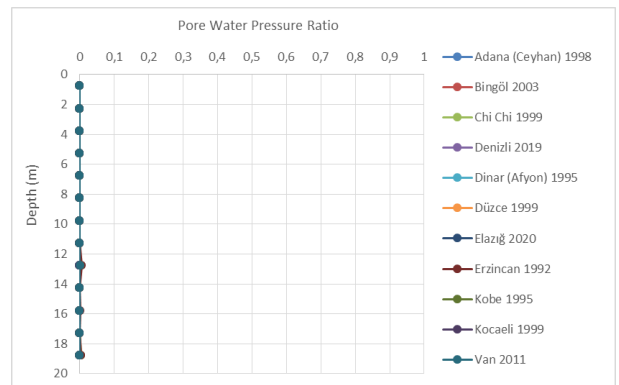


Figure 12. Pore water pressure ratios as a result of the DD-4 analysis of the borehole with 39.4286 / 29.9864 coordinates.

Upon completion of the analysis of the borehole, the graphs of the pore water pressure ratios were created for DD-1, DD-2, DD-3 and DD-4. The maximum pore water pressure ratio value was taken for each DD. In this borehole, values of 0,865 for DD-1, 0,865 for DD-2, 0,049 for DD-3 and 0,005 for DD-4 were found and these analysis steps were

performed for each boreholes and liquefaction maps of the neighborhoods were created.

3.2 Creation of Liquefaction Map

As a result of the analysis, the maximum pore water pressure ratio value at each ground motion level (DD) was taken for the boreholes. Liquefaction maps were obtained for the neighborhoods by using geographic information systems (The boundaries of the neighborhoods were obtained from the General Directorate of Land Registry and Cadastre).

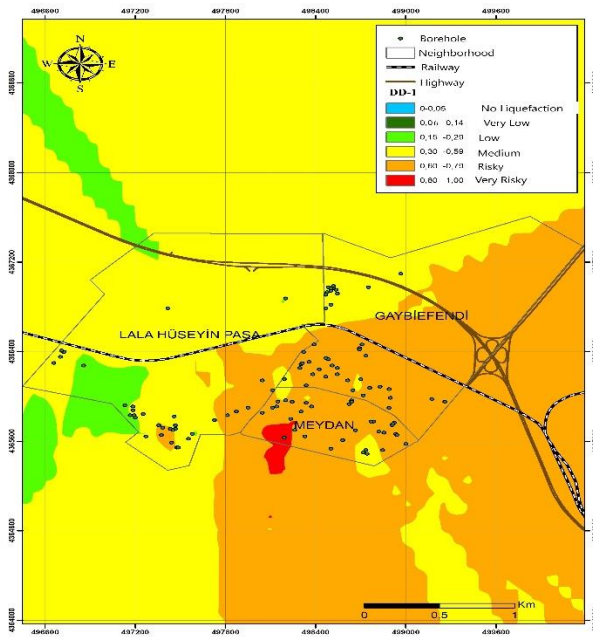


Figure 13. Liquefaction map for DD-1.

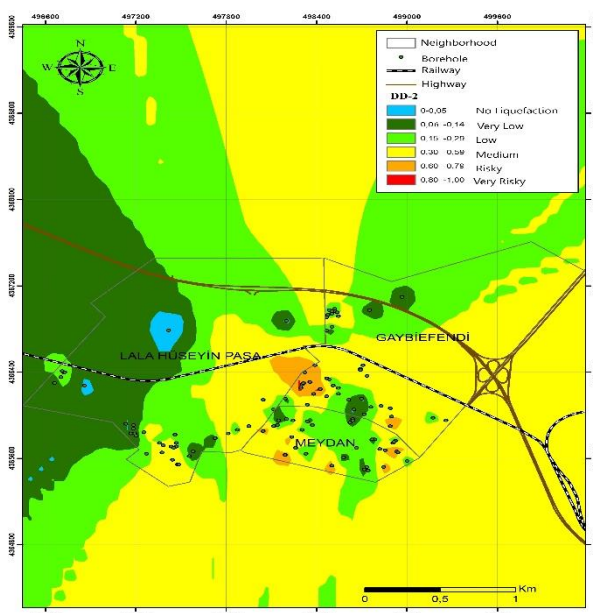


Figure 14. Liquefaction map for DD-2.

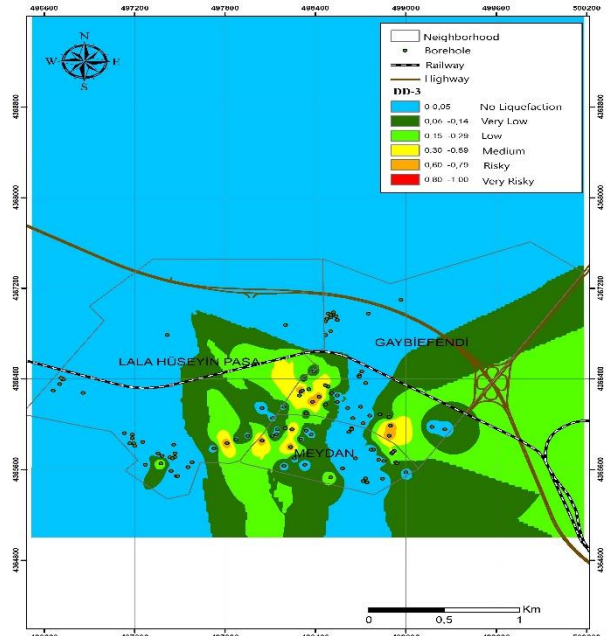


Figure 15. Liquefaction map for DD-3.

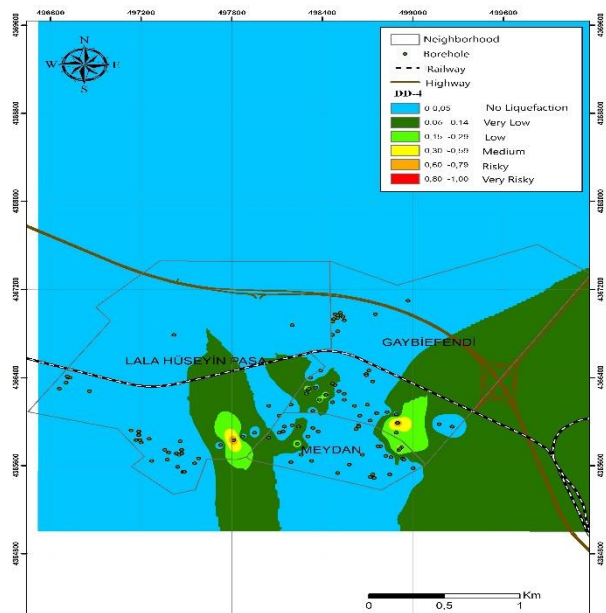


Figure 16. Liquefaction map for DD-4.

The blue parts on the maps represent the regions between 0 - 5% of the liquefaction risk.

4. Discussion and Conclusion

By calculating the average of the analysis results, average liquefaction risks were created for the neighborhoods.

- According to DD-1 analysis liquefaction results; The average liquefaction risk is 48% in Lala Hüseyin Paşa neighborhood, 63% in Gaybiefendi neighborhood and 68% in Meydan neighborhood. There are regions with a liquefaction risk of more than 80% in the Meydan neighborhood (Figure 13).
- According to DD-2 analysis liquefaction results; The average liquefaction risk is 23% in Lala Hüseyin Paşa Neighborhood, 40% in Gaybiefendi neighborhood and 35% in Meydan neighborhood. There are regions with the liquefaction risk is less than 5% in Lala Hüseyin Paşa neighborhood (Figure 14).
- According to DD-3 analysis liquefaction results; The average liquefaction risk is 4% in Lala Hüseyin Paşa neighborhood, 15% in Gaybiefendi neighborhood and 12% in Meydan neighborhood (Figure 15).
- According to DD-4 analysis liquefaction results; The average liquefaction risk is 3% in Lala Hüseyin Paşa neighborhood, 5% in Gaybiefendi neighborhood and 5% in Meydan neighborhood (Figure 16).
- The average groundwater level is at 4 m in Lala Hüseyin Paşa neighborhood, at 3 m in Gaybiefendi neighborhood and at 4,5 m in Meydan neighborhood. The fact that the groundwater level is so close to the surface increases the risk of liquefaction of the neighborhoods. SPT data is generally high in Lala Hüseyin Paşa neighborhood so liquefaction potential is low compared to Meydan and Gaybiefendi neighborhoods.

- The liquefaction maps created will help to take the necessary precautions in the neighborhoods. It is recommended to take measure in settlements where the risk of liquefaction is high.

5. References

- Afacan, K. B., 2019. Estimation of Excess Pore Pressure Generation and Nonlinear Site Response of Liquefied Areas. *Geotechnical Engineering-Advances in Soil Mechanics and Foundation Engineering*, **26**, 1-21.
- Darendeli, M. B., 2001. Development of A New Family of Normalized Modulus Reduction and Material Damping Curves. *Architectural and Environmental Engineering*, The University of Texas, Austin, Texas.
- Gücek, S., 2020. Arazi Deneilerine Dayalı Zemin Büyütmesi ve Sıvılaşma Analizleri: Afyonkarahisar-Uydu Kent Yerleşim Alanı Örneği (Ph. D. Thesis), Afyon Kocatepe University Institute of Science and Technology, Afyonkarahisar, 162.
- Hansbo, S., *Jordmateriallära*, 1975, Almqvist Wiksell Förlag AB, Stockholm, 218.
- Hashash, Y.M.A., Musgrove, M.I., Harmon, J.A., Groholski, D.R., Phillips, C.A., vd., 2016. DEEPSOIL 6.1, User Manual.
- Hashash, Y.M.A., Musgrove, M.I., Harmon, J.A., Ilhan, O., Xing, G., Numanoglu, O., Groholski, D.R., Phillips, C.A., and Park, D. 2020. "DEEPSOIL 7.0, User Manual". Urbana, IL, Board of Trustees of University of Illinois at Urbana-Champaign.
- Hatanaka, M. and Uchida, A., 1996. Empirical correlation between penetration resistance and internal friction angle of sandy soils, *Soils and Foundations*, **36**, 1-9.
- İyisan, R., 1996. Zeminlerde kayma dalgası hızı ile penetrasyon deney sonuçları arasındaki bağıntılar, *Technical Journal*, **7**, 32.
- Kabak, S., 2021. Kütahya İl Merkezinde Belirli Bir Bölge Zemininin Sıvılaşma Potansiyelinin Belirlenmesi (Master Thesis), Afyon Kocatepe University Institute of Science and Technology, Afyonkarahisar, 120.
- Liao, S.S., and Whitman, R.V., 1986. Overburden Correction Factors for SPT In Sand, *Journal Of Geotechnical Engineering*, ASCE, **112**, 373-377.

Matasovic, N., Vucetic, M., 1995. Generalized Cyclic Degradation-Pore Pressure Generation Model for Clays, *ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, **121**, 33-42.

Matasovic, N., Vucetic, M., Cyclic Characterization of Liquefiable Sands, 1993. *ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, **119**, 1805-1822.

Okay, A. İ., Kaslılar-Ozcan, A., İmren, C., Boztepe-Güney, A., Demirbağ, E., ve Kuscu, İ. 2000. Active Faults And Evolving Strike-Slip Basin In The Marmara Sea, Northwest Turkey: A Multichannel Seismic Reflection Study, *Tectonophysics*, **321**, 189-218.

Sezer, L. İ., 2010. Kütahya Yöresinin Depremselliği, *Ege Journal of Geography*, **19**, 35-52.

Terzaghi, K., Peck, R. B., Mesri, G., 1996. Soil Mechanics In Engineering Practice. John Wiley-Sons.

Turkish Building Earthquake Code (TBDY), Disaster and Emergency Management Presidency, Official Newspaper, Date: 18 March 2018, 30364.

Internet References

<https://parselorgu.tkgm.gov.tr/> , Date of access: January 3, 2021.

<https://deprem.afad.gov.tr/depremkatalogu#> , Date of access: January 2, 2021.

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018’de Bina Doğal Titreşim Periyodunun Belirlenmesi İçin Verilen Ampirik Formülün Donatısız Yığma Binalar İçin İrdelenmesi

Burak ÖZŞAHİN¹

¹ Kırklareli Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Kırklareli.

e-posta: burak.ozsahin@klu.edu.tr ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-6022-8897>

Geliş Tarihi: 20.02.2022

Kabul Tarihi: 07.08.2022

Öz

Depreme dayanıklı yapı tasarımında binaların doğal titreşim periyodlarının belirlenmesi önemli bir husustur. Binaların doğal titreşim periyodlarının uzun hesaplara gerek olmadan bina türü ve bina yüksekliğine bağlı olarak hızlı bir şekilde elde edilmesi için önerilmiş ampirik formüller çeşitli kaynaklarda ve yönetmeliklerde verilmektedir. Bu çalışmada Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 (TBDY 2018)’de belirli koşullar altında bina periyod hesabı için önerilen ampirik formül donatısız yığma binalar için irdelenmiştir. Bu amaçla çalışmada Türkiye’deki yığma bina stoğunu temsil edebilecek örnek donatısız yığma bina modellerinin doğal titreşim periyodları, farklı duvar kalınlıkları, kat adedi, kat yüksekliği ve hareketli yük değerleri için analitik olarak ve TBDY 2018’de önerilen ampirik formül ile elde edilmiştir. TBDY 2018’de önerilen ampirik formülle elde edilen periyodlar ile analitik olarak örnek donatısız yığma bina modelleri için elde edilen periyodlar ve farklı deprem yönetmeliklerinde önerilen ampirik formüllerle elde edilen periyodlar karşılaştırılmıştır. Örnek donatısız yığma bina modelleri için TBDY 2018 ampirik periyod formülü kullanılarak hesaplanan deprem yükleri, analitik periyod değerleri kullanılarak hesaplanan deprem yükleri ile karşılaştırılmıştır. Donatısız yığma binalar için TBDY 2018’de verilen ampirik formülle elde edilen periyod değerlerinin, farklı deprem yönetmeliklerinde verilen ampirik formül periyod değerleri ile analitik olarak elde edilen periyod değerlerinden daha büyük olduğu görülmüştür.

Anahtar kelimeler

Yığma binalar; Türkiye bina deprem yönetmeliği; Doğal titreşim periyodu; Ampirik periyod formülü

Examination of the Empirical Formula for Determining the Fundamental Natural Period of Buildings in Turkish Earthquake Code 2018 for Unreinforced Masonry Buildings

Abstract

Estimation of fundamental natural period of the building is an important issue in earthquake-resistant design. The empirical formulas are suggested by different authors and seismic codes to predict the fundamental natural period of buildings quickly depending on the type and height of building without the need for long calculations. In this study, empirical formula suggested to be applied the fundamental natural period of buildings under certain conditions in Turkish Earthquake Code 2018 (TEC 2018), were examined for unreinforced masonry buildings. For this purpose, the fundamental natural period of unreinforced masonry building models, which can represent the masonry buildings stock in Türkiye, obtained for different wall thickness, number of stories, story heights and moving loads both with analytically and with empirical formulas in TEC 2018. For unreinforced masonry building models, the periods obtained from the empirical formula given in TEC 2018 were compared with the periods obtained analytically and the periods obtained with the empirical formulas given in different earthquake codes. The earthquake loads of the unreinforced masonry building models calculated using the TEC 2018 empirical period formula were compared with the earthquake loads calculated using analytical periods. It has been observed that the fundamental periods obtained with the empirical formula given in TEC 2018 for unreinforced masonry buildings are greater than the fundamental periods obtained analytically and with empirical formulas given in different earthquake codes.

Keywords

Masonry buildings; Turkish earthquake code; Fundamental periods; Empirical period formula

1. Giriş

Binaların doğal titreşim periyodunun belirlenmesi, depreme dayanıklı tasarım ve deprem sırasında bina yapısal davranışının değerlendirilmesinin önemli bir parçasıdır. Bu davranış binanın kütesine, rijitliğine, dayanımına bağlı olup binanın düzensizliği, kat ve açıklık sayısı, binada bulunan çıkmalar, kesit boyutları, binaya etkiyen yüklerin büyüklüğü, donatı oranı ve yapısal elemanlarda meydana gelen çatlaklar gibi birçok yapısal parametreden etkilenir (Draganiç vd. 2010, Crowley and Pinho 2006).

Bina tasarımı için gerekli olan doğal titreşim periyodu ampirik, analitik ve deneysel yöntemler ile elde edilebilir. Deprem yönetmeliklerinde verilen ampirik formüller basittir ancak gerçek bina özelliklerini dikkate almadıkları için çok yaklaşıktırlar. Bunun yanında özdeğer analizi ve Rayleigh yöntemi gibi analitik yöntemler binanın periyodunun etkilendiği bilinen yapısal parametrelerin çoğunu dikkate alabilmektedir. Bununla birlikte analitik yöntemler önemli ölçüde çaba ve uzmanlık gerektirir ve genellikle yapısal analiz yazılımlarına ihtiyaç duyulur (Aninthaneni and Dhakal, 2016). Binanın doğal titreşim periyodunu uzun hesaplara gerek kalmaksızın doğrudan veren ampirik formüller, genellikle bina türü, yüksekliği, kat sayısına bağlı olup deprem sırasında ölçülen titreşim periyodları üzerinden regresyon analizi ile elde edilmiştir (Börekçi 2019, Crowley and Pinho 2006).

Sönümsüz elastik bir sistemin serbest titreşimi sırasında toplam enerjisinin herhangi bir zaman anında değişmediği prensibine dayanan, binaların doğal titreşim periyodu hesabında yaygın olarak kullanılan Rayleigh yöntemi hakkında ayrıntılı bilgiye Leissa (2005) ve Nassani (2014) kaynaklarından ulaşılabilir.

Mevcut binaların doğal frekans, hakim periyod, mod şekilleri ve sönüm oranı gibi dinamik karakteristiklerinin belirlenmesi için çevresel titreşim analiz yöntemi kullanılmaktadır. Deneysel analiz yöntemi olan çevresel titreşim analiz yönteminde çevresel etkinin binada oluşturduğu titreşimler ivmeölçerlerle ölçülüp, toplandıktan sonra elde edilen sinyaller frekans ve zaman

ortamında işlenerek binaya ait dinamik karakteristikler bulunmaktadır. Çevresel titreşim analizi hakkında ayrıntılı bilgiye Aldemir vd. (2017), Aldemir vd. (2018), Aras vd. (2020), Güneş ve Anıl (2017) kaynaklarından ulaşılabilir.

Düzensizlik içermeyen veya çok az düzensizliğe sahip, yüksekliği az, çok karmaşık olmayan binaların deprem yükü hesabında kullanılan eşdeğer deprem yükü yöntemine göre binaya etkiyecek deprem yükü, binanın doğal titreşim periyodu ya da birinci mod periyodu ile direkt ilgili olup, bu tür binalar tek serbestlik dereceli olarak kabul edilebilir (Börekçi 2019, Aksoylu ve Arslan 2019a). Yüksekliği fazla olmayan düzenli binalara etkiyecek deprem yükünün hesabında, binanın doğal titreşim periyoduna bağlı olarak belirlenen bina tasarım ivme değeri ile binanın kütlesi çarpılır. Binaya etkiyecek deprem yükü periyodun bir fonksiyonu olup, deprem yükünün belirli bir doğrulukta hesaplanabilmesi, bina periyodunun belirli bir doğrulukta elde edilmesine bağlıdır (Aksoylu ve Arslan 2019a).

Depreme dayanıklı yapı analizi ve tasarımı, her ülkenin kendi koşullarına göre hazırlanan deprem yönetmelikleri ile sağlanmaktadır. Deprem yönetmelikleri, deprem mühendisliği alanında, bilim ve teknolojiye gelişmeler göz önüne alınarak zaman zaman revize edilmekte veya yenilenmektedir (İncetaş ve Tanrıku 2002). Türkiye'de TBDY 2018'in yürürlüğe girmesi ile birlikte artık yeni yapılacak binaların tasarımı ve mevcut binaların değerlendirilmesinde bu yönetmeliğin kullanımı zorunlu hale gelmiştir. TBDY 2018 ile birlikte bina taşıyıcı sistemlerinin tasarımına ilişkin DBYBHY 2007'ye göre yeni kural değişiklikleri yürürlüğe girmiştir (TBDY 2018, DBYBHY 2007). TBDY 2018'de diğer bina türlerinde olduğu gibi yığma binaların deprem hesabında, kullanılan spektral ivme, deprem yükü azaltma katsayısı gibi parametreler ve malzeme hesap değerlerinde önemli değişiklikler olmuştur (Kuran vd. 2020).

TBDY 2018'de belirli şartlar altında bina periyodunun belirlenmesinde ampirik periyot formülünün kullanılabileceği belirtilmektedir. DBYBHY 2007'de olmayan ampirik periyot formülü

TBDY 2018’de belirtilen şartların sağlanması durumunda Rayleigh periyod hesabı yerine kullanılabilir. Binaların deprem yükü hesabında oldukça önemli olan bina periyodu için önerilen ampirik formülün uygulanabilir olup olmadığına yönelik inceleme ve çalışmaların yapılması oldukça önemlidir (Aksoylu ve Arslan 2019b). Literatür incelendiğinde TBDY 2018, TBDY 2018 ile DBYBHY 2007’ün karşılaştırılması ile ilgili sınırlı sayıda çalışma (Aksoylu ve Arslan 2021, Kuran vd. 2020, Tunç ve Tanafer 2016, Özşahin 2021a, Aksoylu vd. 2020, Özşahin 2021b, Koçer vd. 2018, Özkat ve Kuruşçu, 2019, Amani vd. 2020, Sucuoğlu 2019) yapılmış olmasına rağmen TBDY 2018 ampirik periyod formülü ile bina periyod hesabıyla ilgili çalışmaların yok denecek kadar az (Aksoylu ve Arslan 2019a, Aksoylu ve Arslan 2019b) olduğu ve bu çalışmalarda betonarme çerçeve ve betonarme perdeli çerçeve bina periyodlarının ampirik periyod formülü ile hesabı incelenmiştir.

Bu çalışmada, Türkiye’deki yığma bina stoğunu temsil ettiği düşünülen donatısız yığma bina örneklerinin doğal titreşim periyodu Rayleigh yöntemi ve TBDY 2018’de önerilen ampirik formülle elde edilerek, TBDY 2018’de önerilen ampirik formülün depreme dayanıklı donatısız yığma bina tasarımı için bir başlangıç varsayımı olarak yeterli olup olmadığı araştırılmıştır. Çalışmanın temel amacı TBDY 2018’de belirli şartların sağlanması durumunda kullanılması önerilen ampirik periyod formülünün Rayleigh periyod formülüne göre değişimini inceleyerek ampirik formül periyod değerinin ne derece güvenilir ve ekonomik çözüme yönelik olduğunun tartışılmasıdır. Bunun için donatısız yığma bina örneklerinin doğal titreşim periyodları, farklı duvar kalınlıkları, kat adetleri, kat yükseklikleri ve hareketli yük değerleri için analitik modelde Rayleigh yöntemiyle ve TBDY 2018 ampirik formülü ile elde edilmiş, TBDY 2018 ampirik formül periyodu, Rayleigh yöntemi ve diğer deprem yönetmeliklerinin ampirik formül periyodlarıyla karşılaştırılarak TBDY 2018 ampirik periyod formülünün uygunluğu donatısız yığma binalar için araştırılmıştır. TBDY 2018 ampirik formülü periyod değerleri, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYBHY 1998), Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik

(DBYBHY 2007), Avrupa Birliği Yönetmeliği Eurocode 8, Amerikan Yönetmeliği ASCE 7-16 ve UBC 97, Kore Yönetmeliği AİK 2009, İran Yönetmeliği ICPSRDB 2007, İsrail Yönetmeliği SI 413 ve Kanada Yönetmeliği NBCC 2010 ampirik formül periyod değerleri ile karşılaştırılmıştır. Aynı zamanda farklı zemin sınıfları için örnek donatısız yığma bina modellerinin TBDY 2018 ampirik periyod formülü kullanılarak hesaplanan deprem yükleri, analitik periyod değerleri kullanılarak hesaplanan deprem yükleri ile karşılaştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1 Literatürde Önerilen Ampirik Doğal Titreşim Periyodu Formülleri

Eşdeğer deprem yükü yönteminde binaya etki eden deprem yükleri binanın 1. doğal titreşim moduna ait periyoda bağlı olarak belirlenmektedir. Bu sebeple güvenilir sismik analiz, tasarım ve değerlendirme için gerçekçi bina periyodunu belirlemek oldukça önemlidir. Deprem etkisi altında bir yapının göstereceği davranış yapının kütleline, dayanımına ve rijitliğine bağlı olup, yapı düzensizliği, kat ve açıklık sayısı, kesit boyutları, dolgu duvar özellikleri, yapıya etkiyen yüklerin büyüklüğü, donatı oranı ve kesitlerde meydana gelen çatlaklardan etkilenir (Draganiç vd. 2010, Crowley and Pinho 2006). Tüm bu etmenler dikkate alındığında periyod hesabı zorlaştığı için deprem yönetmeliklerinde periyod hesabı için yaklaşık yöntemler verilmektedir. Deprem yönetmeliklerinde gerçek periyod değerlerine oldukça yakın sonuçlar veren, Rayleigh yöntemi olarak bilinen periyod formülleri kullanılmaktadır. Deprem yönetmeliklerinde ve çeşitli kaynaklarda binaların doğal titreşim periyodunun belirlenmesi için önerilen yaklaşık ampirik formüller, genellikle bina yüksekliği, bina türü ve kat adetine bağlıdır. Deprem yönetmeliklerinde yaygın olarak karşımıza çıkan, Rayleigh yöntemine dayalı olarak oluşturulmuş yarı deneysel ampirik periyod formülünün genel hali Denklem 1’de verilmiştir. Denklem 1’de, α ve x yapı türü ve malzemesine bağlı katsayı, H ise bina yüksekliğidir.

$$T = \alpha \cdot H^x \quad (1)$$

Çalışma kapsamında donatısız yığma binalar için TBDY 2018'de önerilen ampirik doğal titreşim periyod formülü örnek yığma bina modelleri için irdelendiğinden Çizelge 1'de TBDY 2018 ve diğer deprem yönetmeliklerinde binalar için önerilen ampirik periyod formülleri özet olarak verilmiştir. Türkiye'de uzun yıllar yürürlükte kalan, TBDY 2018

ile birlikte yürürlükte kalmış olan Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007 (DBYBHY 2007) ile Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik 1998 (ABYBHY 1998)'de önerilmiş olan ampirik periyod formülleri de karşılaştırmada fikir vermesi açısından incelenmiştir.

Çizelge 1. Deprem yönetmeliklerinde donatısız yığma binaların periyod hesabı için verilen ampirik formüller

Ülke	Yönetmelik	Ampirik Formül	Ampirik Formüldeki Katsayılar ve Açıklamalar
Türkiye	ABYBHY 1998	$T_1 = C_t \cdot H_N^{3/4}$	Birinci ve ikinci deprem bölgelerinde $H_N \leq 25$ m koşulunu sağlayan binalar ile üçüncü ve dördüncü deprem bölgelerinde eşdeğer deprem yükünün uygulandığı binalarda kullanılabilir. H_N : Tabii zemin üzerinden itibaren toplam bina yüksekliği, $C_t=0,05$ (Donatısız Yığma Binalar için)'dir.
Türkiye	DBYBHY 2007	$T_1 = 0,1 \cdot N$	Bodrum katlar hariç katsayısı $N > 13$ olan binalarda kullanılabilir. N : Bodrum katlar hariç binanın kat sayısıdır.
Türkiye	TBDY 2018	$T_{PA} = C_t \cdot H_N^{3/4}$	Deprem tasarım sınıfı $DTS=1, 1a, 2, 2a$, bina yükseklik sınıfı $BYS \geq 6$ olan binalarda ve deprem tasarım sınıfı $DTS=3, 3a, 4, 4a$ olan tüm binalarda kullanılabilir. H_N : Bina tabanından itibaren ölçülen bina yüksekliği, $C_t=0,07$ (Donatısız Yığma Binalar için)'dir.
Avrupa Birliği	EC8-Eurocode 8	$T = C_t \cdot H^{3/4}$	Yüksekliği 40 m'ye kadar olan binalarda kullanılabilir. H : temelden veya rijit bodrum kat seviyesinden itibaren binanın toplam yüksekliği, $C_t=0,05$ (Donatısız Yığma Binalar için)'dir.
Amerika Birleşik Devletleri	ASCE 7-16	$T_a = 0,1 \cdot N$ $T_a = C_t \cdot H_N^x$	Bina kat sayısının $N < 12$ olan binalarda kullanılabilir. N : Bodrum katlar hariç binanın kat sayısı, H_N : Temelden veya rijit bodrum kat seviyesinden itibaren binanın toplam yüksekliği, $C_t=0,0488$ ve $x=0,75$ (Donatısız yığma binalarda)'dir.
Amerika Birleşik Devletleri	UBC 97	$T = C_t \cdot H_N^{3/4}$	H_N : Temelden veya rijit bodrum kat seviyesinden itibaren binanın toplam yüksekliği, $C_t=0,0488$ (Donatısız Yığma Binalar için)
Kore	AIK 2009	$T_a = 0,1 \cdot N$ $T_a = C_t \cdot h_n^{3/4}$	Bina kat sayısının $N < 12$ olan binalarda kullanılabilir. N : bodrum katlar hariç binanın kat sayısı, h_n : Bina tabanından itibaren bina yüksekliği, $C_t=0,049$ (Donatısız Yığma Binalar için)'dur.
İran	ICPSRDB 2007	$T = 0,05 \cdot H^{3/4}$	H : Temel seviyesinden itibaren toplam bina yüksekliğidir. Binada çatı katı bulunması durumunda çatı katının ağırlığı normal kat ağırlığının %25'inden fazla ise çatı katı yüksekliği toplam bina yüksekliğine (H) eklenecektir.
İsrail	SI 413	$T = 0,05 \cdot H^{3/4}$	H : Temel seviyesinden itibaren toplam bina yüksekliğidir.
Kanada	NBCC 2010	$T_a = 0,05 \cdot h_n^{3/4}$	h_n : Toplam bina yüksekliğidir.

2.2 Analitik Çalışma

Bu çalışmada, farklı duvar kalınlığı, kat adeti, kat yüksekliği ve hareketli yük değerlerine sahip örnek donatısız yığma bina modellerinin doğal titreşim periyodları Çizelge 1'de verilen TBDY 2018 ampirik formülü, diğer deprem yönetmeliklerinin ampirik formülleri ve Denklem 2'de verilen TBDY 2018 Rayleigh periyod formülü kullanılarak elde edilip, karşılaştırılmıştır.

$$T_p^{(x)} = 2\pi \left(\frac{\sum_{i=1}^N m_i \cdot d_{fi}^{(x)2}}{\sum_{i=1}^N F_{fi}^{(x)} \cdot d_{fi}^{(x)}} \right)^{1/2} \quad (2)$$

Denklem 2'de m_i : i 'inci katın toplam kütlesi, d_{fi} : i 'inci kata etki ettirilen fiktif yükten oluşan yer değiştirme, F_{fi} : i 'inci kata etki ettirilen fiktif yüküdür.

TBDY 2018'de DTS=1, 1a, 2, 2a ve BYS≥6 olan binalarda ve DTS=3, 3a, 4, 4a olan binaların tamamında hakim doğal titreşim periyodunun doğrudan T_{PA} , ampirik periyodu olarak alınabileceği belirtilmektedir.

TBDY 2018'de yığma binalar, donatısız yığma binalar, donatılı yığma binalar, kuşatılmış yığma binalar ve donatılı panel sistemli binalar olarak 4'e ayrılmaktadır. Çalışma kapsamında Türkiye'de yaygın uygulaması olan donatısız yığma binalar incelenmiştir. Literatürde binaların doğal titreşim periyodunu doğrudan elde etmek için önerilen ampirik formüller binanın kat adeti ile bina yüksekliğinin bir fonksiyonu olduğu için çalışmada farklı kat planı ve açıklıklara sahip örnek donatısız yığma bina modellerinde kat adeti 1-2, kat yüksekliği 2.80-2.90-3.00-3.10-3.20m, duvar kalınlığı 240-260-280-300mm ve hareketli yük değeri 2.0-3.5 kN/m² olarak değiştirilmiştir (Çizelge 2).

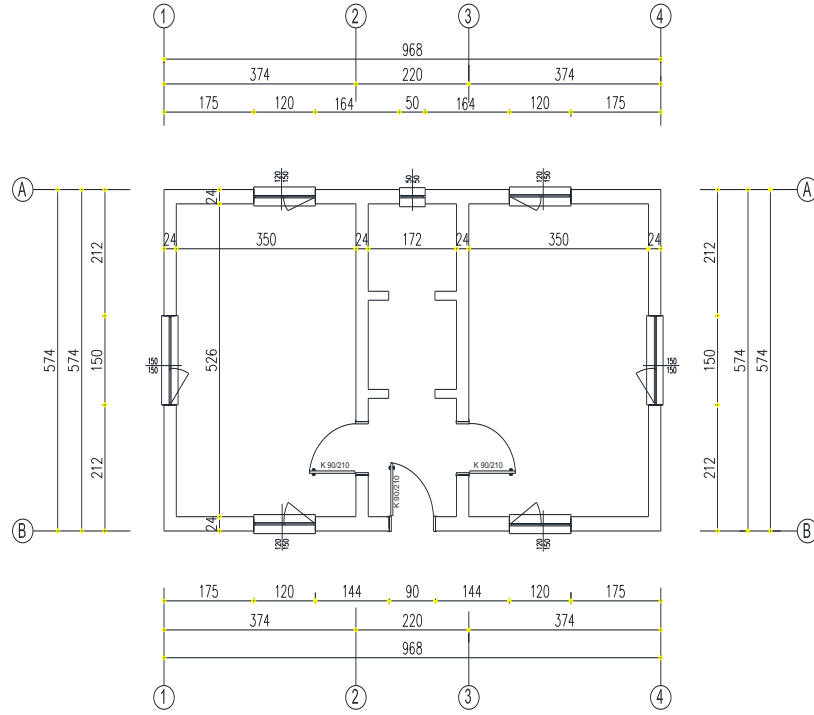
Çalışma kapsamında zemin sınıflarını belirlemek için arazi ve laboratuvar çalışmaları yapılmadığı için Türkiye Deprem Tehlike Haritası 2019 (TDTH 2019) spektral değerlerinin belirlenmesinde en sert zeminden en yumuşak zemine kadar zemin koşulları dikkate alınarak, deprem yer hareketi düzeyi DD2 için örnek donatısız yığma binaların eşdeğer deprem

yükleri hesaplanmıştır. TBDY 2018 ampirik periyod formülü ve Rayleigh yöntemi ile analitik olarak bulunan periyod değerleri kullanılarak örnek donatısız yığma bina modellerinin farklı zemin sınıfları için hesaplanan eşdeğer deprem yükleri karşılaştırılmıştır.

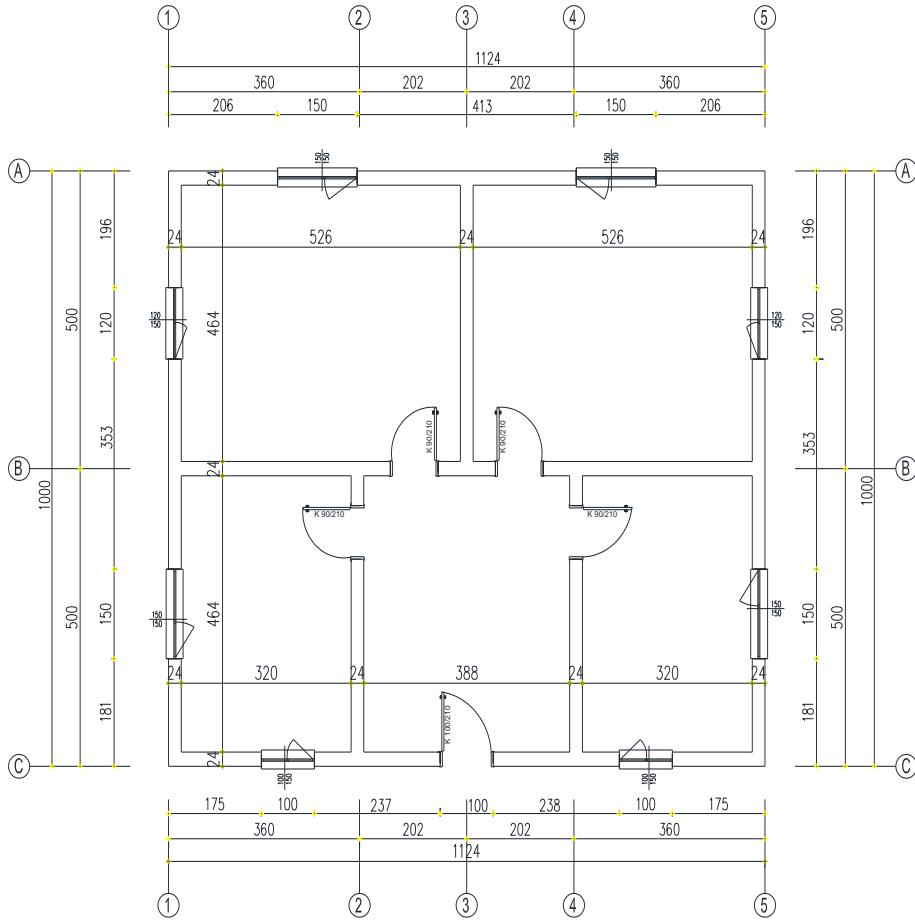
Çalışma kapsamında incelenen örnek donatısız yığma bina modellerinin kat planları Şekil 1-4'de verilmiştir. Şekil 1-4'de verilen örnek donatısız yığma bina modellerinin tasarımı TS 498, TS 500 ve TBDY 2018 yönetmeliklerine göre yapılmıştır. Örnek donatısız yığma bina modellerinin tasarımında dikkate alınan tasarım parametreleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Donatısız yığma bina modellerinin tasarım parametreleri

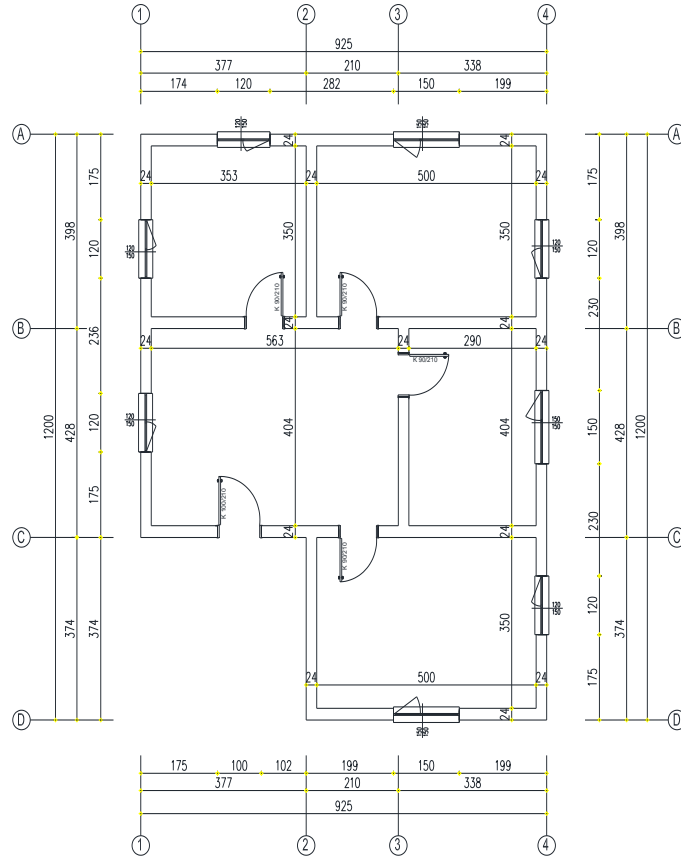
Parametre	YBM1, YBM2, YBM3, YBM4
Bina Türü	Donatısız Yığma Bina
Kat Sayısı (N)	Değişken (1 katlı veya 2 katlı)
Kat Yüksekliği (h_{kat})	Değişken (2,80-2,90-3,00-3,10-3,20 m)
Bina Yüksekliği (H_N)	Değişken (Kat sayısı ve kat yüksekliğine bağlı) ≤7m
Duvar Kalınlığı (t_{duv})	Değişken (240-260-280-300 mm)
Bina Hareketli Yüğü (Q)	Değişken (2,0 kN/m ² -3,5 kN/m ²)
Hatıl Boyutu	$t_{duv} \times 400$ mm
Döşeme Türü ve Boyutları	Kirişli plak döşeme (Odalarda 120mm, Balkonda 150mm)
Beton Sınıfı	C25/30
Çelik Sınıfı	S420
Bina Önem Katsayısı (I)	1,0
Deprem Yüğü Eksantrisitesi	%5
Hareketli Yük Katılım Katsayısı (n)	0,3
Deprem Yer Hareket Düzeyi (DD)	DD-2
Bina Kullanım Sınıfı (BKS)	3
Deprem Tasarım Sınıfı (DTS)	S_{DS} 'ye bağlı olarak değişmektedir.
Bina Yükseklik Sınıfı (BYS)	8 ($H_N \leq 7$ m)
Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R)	2,5
Dayanım Fazlalığı Katsayısı (D)	1,5
Spektral İvme Katsayıları (S_s, S_i)	Türkiye Deprem Tehlike Haritası (TDTH)'dan okunmuştur.
En Büyük Yer İvmesi (PGA)	ZA, ZB, ZC, ZD ve ZE
Yerel Zemin Sınıfı	Tuğla
Kargir Birim Cinsi	15 kN/m ³
Kargir Birim Ağırlığı	Grup 1
Kargir Birim Türü	10 N/mm ²
Kargir Birim Basınç Dayanımı (f_b)	Genel Amaçlı Harç
Harç Sınıfı	M2.5-M9
Harç Basınç Dayanımı (f_m)	3,6 N/mm ²
Duvar Karakteristik Basınç Dayanımı (f_k)	0,20 N/mm ²
Duvar Başlangıç Kesme Dayanımı (f_{vko})	2700 N/mm ² ($E=750.f_k$)
Duvar Elastisite Modülü (E)	1080 N/mm ² ($G=0.4E$)
Duvar Kayma Modülü (G)	



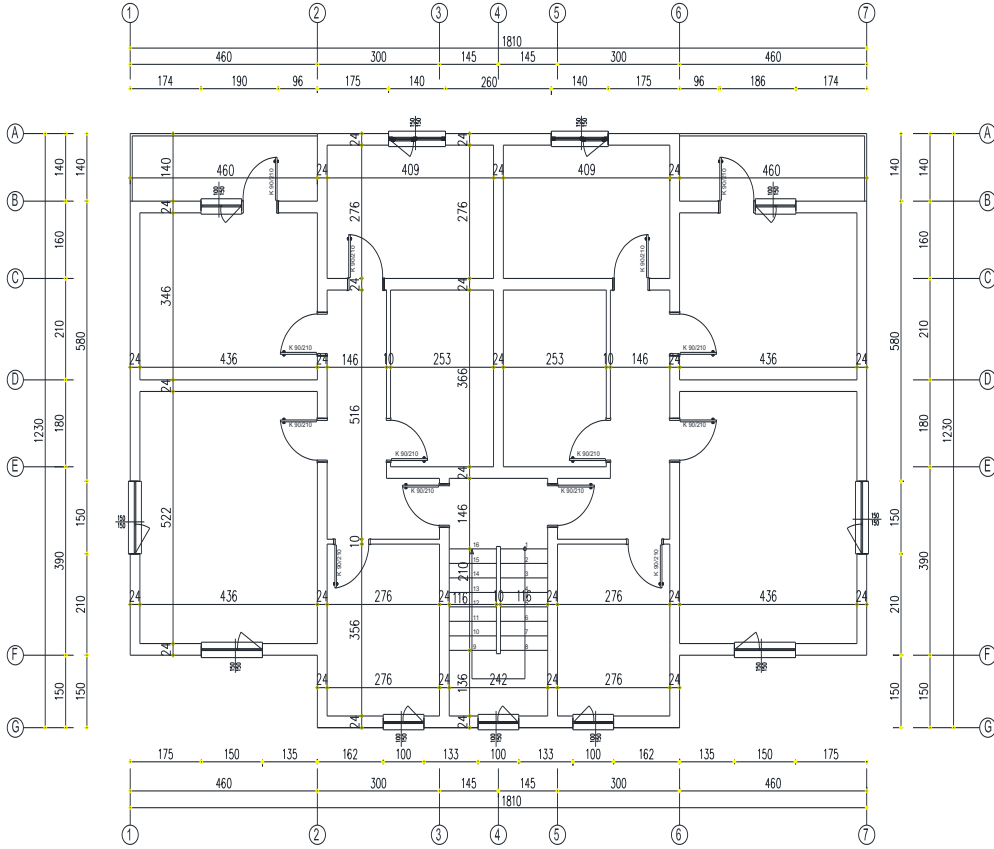
Şekil 1. Örnek donatısız yığma bina modeli 1 (YBM1) kat planı (ölçeksiz)



Şekil 2. Örnek donatısız yığma bina modeli 2 (YBM2) kat planı (ölçeksiz)



Şekil 3. Örnek donatısız yağma bina modeli 3 (YBM3) kat planı (ölçeksiz)

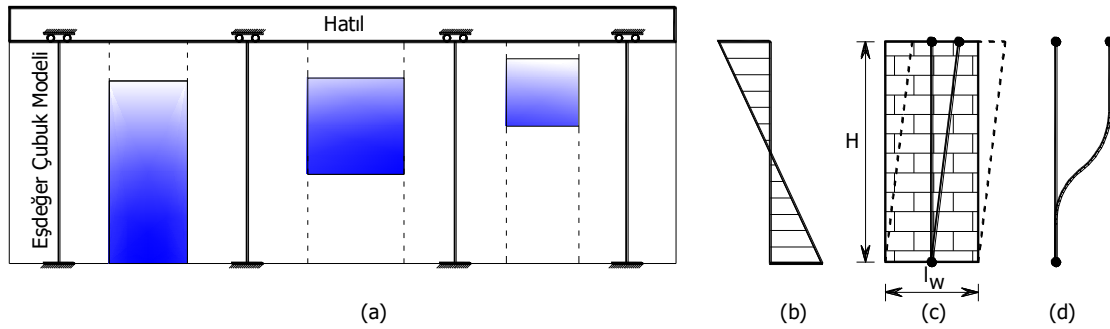


Şekil 4. Örnek donatısız yağma bina modeli 4 (YBM4) kat planı (ölçeksiz)

3. Bulgular

TBDY 2018'e göre yığma binalarda yapısal çözümleme, sonlu elemanlar veya eşdeğer çubuk yöntemlerinden biri kullanılarak yapılabilir. Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapılacak çözümlemede, taşıyıcı duvarlar ayrıntılı mikro modelleme, basitleştirilmiş mikro modelleme veya makro modelleme teknikleri kullanılarak modellenebilir. Eşdeğer çubuk yöntemi kullanılarak yapılacak çözümlemede, yığma duvarların rijitliği

kayma ve eğilme deformasyonları dikkate alınarak hesaplanacaktır. Çalışmada yapısal çözümlemede eşdeğer çubuk yöntemi kullanılmıştır. Duvar serbest yüksekliği (H), döşeme üst kotundan döşeme (varsa hatıl) alt kotuna kadar olan mesafe ve duvar uzunlukları (l_w), boşluklar arasında duvar parçasının uzunluğu olarak alınmıştır. Dikdörtgen kesitli bir duvar parçası için elastik rijitlik her iki ucun ankastre olduğu kabulü ile eğilme ve kayma rijitlikleri dikkate alınarak (tam boy modeli) Denklem 3 kullanılarak hesaplanmıştır (TBDY 2018; RYTEİE 2019) (Şekil 5).



Şekil 5: Yığma bina davranışı a) Eşdeğer çubuk (tam boy) modeli b) Moment diyagramı c) Kayma ötelenmesi d) Eğilme ötelenmesi

$$k_{duv} = \frac{1}{\frac{H^3}{12E_{duv}I} + \frac{1,2H}{G_{duv}A}} \quad (3)$$

ABYBHY 1998 ve DBYBHY 2007'de tasarım için periyod hesaplarında kesitlerde meydana gelen çatlama dikkate alınmazken, TBDY 2018'de taşıyıcı sistem elemanlarının türüne göre değişik oranlarda çatlama ve rijitlik kayıpları önerilmektedir. Çatlama ve rijitlik kayıplarının dikkate alınması bina periyodunda, dolayısıyla tasarım deprem yükünde ve deplasmanlarında değişime neden olmaktadır. TBDY 2018'e göre örnek donatısız yığma bina modellerinin taşıyıcı duvar etkin rijitlikleri, brüt rijitliklerin %50'si kadar azaltılarak belirlenmiştir. Çalışmada incelenen örnek donatısız yığma bina modellerinin periyodları, Çizelge 2'de verilen farklı kat adeti, kat yüksekliği, duvar kalınlığı ve hareketli yük değerleri ayrı ayrı, toplamda 320 model için analitik olarak Rayleigh yöntemi ile bulunmuştur. Analitik olarak bulunan periyod değerlerinin tamamının verilmesi durumunda çalışmanın sayfa sayısı çok artacağı için örnek olması açısından 1 katlı donatısız yığma bina modeli 1 (YBM1) için bulunan

periyod değerleri Çizelge 3'te verilmiştir. Çizelge 3'te verilen örnek donatısız yığma bina modeli periyodları, incelenen donatısız yığma bina (duvar) boyutları X ve Y doğrultularında birbirinden farklı olduğu için her iki doğrultu için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Çizelge 3'te örnek donatısız yığma bina model adlarının kısaltmalarında M harfinin yanındaki sayı model numarasını, K harfinin yanındaki sayı kat adetini, D harfinin yanındaki sayı cm cinsinden duvar kalınlığını, H harfinin yanındaki sayı m cinsinden kat yüksekliğini, ikinci H harfinin yanındaki sayı kN/m² cinsinden hareketli yükü ifade etmektedir. Örneğin M1K1D24H2.8H2.0 model kısaltması duvar kalınlığı 24 cm, yüksekliği 2.80 m, hareketli yükü 2.0 kN/m² olan 1 katlı 1 nolu donatısız yığma bina modelini belirtmektedir.

Çalışmada örnek donatısız yığma bina modellerinin tamamında kat yüksekliği, bina yüksekliği, bina düşey yüklerindeki artışla birlikte periyodların arttığı, duvar kalınlığı ile duvar boyundaki (binanın rijitliğindeki) artışla birlikte periyodların azaldığı görülmüştür (Çizelge 3).

TBDY 2018'e göre donatısız yığma binaların, bina yükseklik sınırı $BYS=8$ olup, deprem tasarım sınıfı

DTS=1, 1a, 2, 2a için bina yüksekliği $H_N \leq 7.00$ m ve periyotlu olup, çalışma kapsamında incelenen örnek
DTS= 3, 3a, 4, 4a için bina yüksekliği $H_N \leq 10.50$ m'dir. donatısız yığma bina modellerinin periyotları 0.08-
Bu sebeple donatısız yığma binalar genellikle düşük 0.20 s arasında değişmektedir (Çizelge 3).

Çizelge 3. 1 katlı donatısız yığma bina modeli 1 (YBM1) TBDY 2018 doğal titreşim periyodları

Model Adı	Kat Sayısı (N)	Kat Yüksekliği (h_{kat}) m	Bina Yüksekliği (H_N) m	Duvar Kalınlığı (t_{duv}) mm	Hareketli Yük (Q) kN/m^2	Rayleigh Yöntemi	
						T_x s	T_y s
M1K1D24H2.8H2.0	1	2.8	2.8	240	2.0	0.085	0.064
M1K1D26H2.8H2.0	1	2.8	2.8	260	2.0	0.083	0.063
M1K1D28H2.8H2.0	1	2.8	2.8	280	2.0	0.082	0.062
M1K1D30H2.8H2.0	1	2.8	2.8	300	2.0	0.081	0.061
M1K1D24H2.8H3.5	1	2.8	2.8	240	3.5	0.086	0.065
M1K1D26H2.8H3.5	1	2.8	2.8	260	3.5	0.085	0.064
M1K1D28H2.8H3.5	1	2.8	2.8	280	3.5	0.083	0.063
M1K1D30H2.8H3.5	1	2.8	2.8	300	3.5	0.082	0.062
M1K1D24H2.9H2.0	1	2.9	2.9	240	2.0	0.089	0.067
M1K1D26H2.9H2.0	1	2.9	2.9	260	2.0	0.088	0.066
M1K1D28H2.9H2.0	1	2.9	2.9	280	2.0	0.086	0.065
M1K1D30H2.9H2.0	1	2.9	2.9	300	2.0	0.085	0.064
M1K1D24H2.9H3.5	1	2.9	2.9	240	3.5	0.091	0.068
M1K1D26H2.9H3.5	1	2.9	2.9	260	3.5	0.089	0.067
M1K1D28H2.9H3.5	1	2.9	2.9	280	3.5	0.088	0.066
M1K1D30H2.9H3.5	1	2.9	2.9	300	3.5	0.087	0.065
M1K1D24H3.0H2.0	1	3.0	3.0	240	2.0	0.094	0.070
M1K1D26H3.0H2.0	1	3.0	3.0	260	2.0	0.092	0.069
M1K1D28H3.0H2.0	1	3.0	3.0	280	2.0	0.091	0.068
M1K1D30H3.0H2.0	1	3.0	3.0	300	2.0	0.090	0.067
M1K1D24H3.0H3.5	1	3.0	3.0	240	3.5	0.095	0.071
M1K1D26H3.0H3.5	1	3.0	3.0	260	3.5	0.094	0.070
M1K1D28H3.0H3.5	1	3.0	3.0	280	3.5	0.092	0.069
M1K1D30H3.0H3.5	1	3.0	3.0	300	3.5	0.091	0.068
M1K1D24H3.1H2.0	1	3.1	3.1	240	2.0	0.098	0.073
M1K1D26H3.1H2.0	1	3.1	3.1	260	2.0	0.097	0.072
M1K1D28H3.1H2.0	1	3.1	3.1	280	2.0	0.096	0.071
M1K1D30H3.1H2.0	1	3.1	3.1	300	2.0	0.094	0.070
M1K1D24H3.1H3.5	1	3.1	3.1	240	3.5	0.100	0.074
M1K1D26H3.1H3.5	1	3.1	3.1	260	3.5	0.099	0.073
M1K1D28H3.1H3.5	1	3.1	3.1	280	3.5	0.097	0.072
M1K1D30H3.1H3.5	1	3.1	3.1	300	3.5	0.096	0.071
M1K1D24H3.2H2.0	1	3.2	3.2	240	2.0	0.103	0.076
M1K1D26H3.2H2.0	1	3.2	3.2	260	2.0	0.102	0.075
M1K1D28H3.2H2.0	1	3.2	3.2	280	2.0	0.100	0.074
M1K1D30H3.2H2.0	1	3.2	3.2	300	2.0	0.099	0.073
M1K1D24H3.2H3.5	1	3.2	3.2	240	3.5	0.105	0.077
M1K1D26H3.2H3.5	1	3.2	3.2	260	3.5	0.104	0.076
M1K1D28H3.2H3.5	1	3.2	3.2	280	3.5	0.102	0.075
M1K1D30H3.2H3.5	1	3.2	3.2	300	3.5	0.101	0.074

Örnek donatısız yığma bina modellerinin, Çizelge 1'de verilen farklı deprem yönetmeliklerinde önerilen ampirik formüller kullanılarak bulunan periyotları Çizelge 4-5'te verilmiştir.

Çizelge 4. 1 katlı yığma bina modellerinin farklı yönetmelik ampirik formül doğal titreşim periyodları

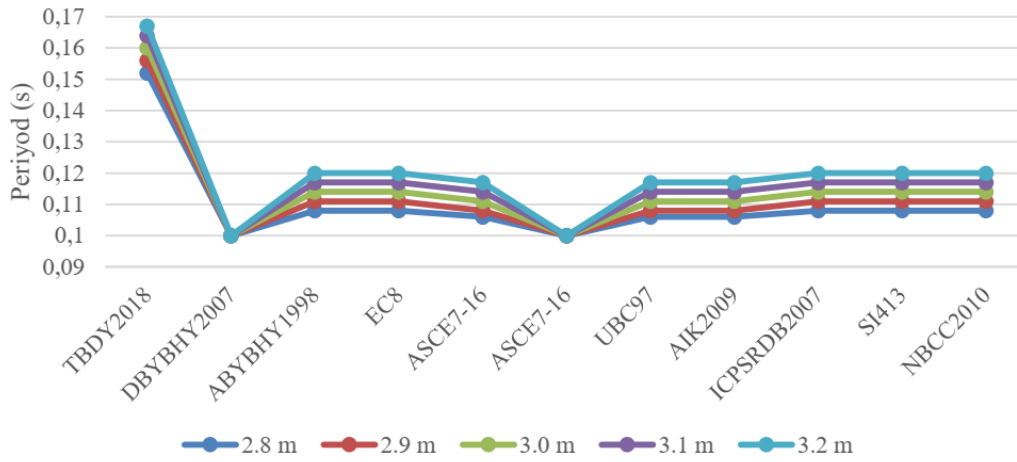
Yönetmelik	Ampirik Formül	Kat Adedi (N)	Kat Yüksekliği (h _{kat})		Bina Yüksekliği (H _N)		Periyot (T)
			m	m	m	s	
TBDY 2018	$T_{PA}=0,07 \cdot H_N^{3/4}$	1	2.80		2.80		0.152
DBYBHY 2007	$T_1=0,1 \cdot N$	1	2.80		2.80		0.100
ABYBHY 1998	$T_1=0,05 \cdot H_N^{3/4}$	1	2.80		2.80		0.108
EC-8	$T=0,05 \cdot H^{3/4}$	1	2.80		2.80		0.108
ASCE 7-16	$T_a=0,0488 \cdot H_N^{0,75}$	1	2.80		2.80		0.106
ASCE7-16	$T_a=0,1 \cdot N$	1	2.80		2.80		0.100
UBC 97	$T=0,0488 \cdot H_N^{0,75}$	1	2.80		2.80		0.106
AIK 2009	$T_a=0,049 \cdot h_n^{3/4}$	1	2.80		2.80		0.106
ICPSRDB 2007	$T=0,05 \cdot H^{3/4}$	1	2.80		2.80		0.108
SI 413	$T=0,05 \cdot H^{3/4}$	1	2.80		2.80		0.108
NBCC 2010	$T=0,05 \cdot H^{3/4}$	1	2.80		2.80		0.108
TBDY 2018	$T_{PA}=0,07 \cdot H_N^{3/4}$	1	2.90		2.90		0.156
DBYBHY 2007	$T_1=0,1 \cdot N$	1	2.90		2.90		0.100
ABYBHY 1998	$T_1=0,05 \cdot H_N^{3/4}$	1	2.90		2.90		0.111
EC-8	$T=0,05 \cdot H^{3/4}$	1	2.90		2.90		0.111
ASCE 7-16	$T_a=0,0488 \cdot H_N^{0,75}$	1	2.90		2.90		0.108
ASCE7-16	$T_a=0,1 \cdot N$	1	2.90		2.90		0.100
UBC 97	$T=0,0488 \cdot H_N^{0,75}$	1	2.90		2.90		0.108
AIK 2009	$T_a=0,049 \cdot h_n^{3/4}$	1	2.90		2.90		0.109
ICPSRDB 2007	$T=0,05 \cdot H^{3/4}$	1	2.90		2.90		0.111
SI 413	$T=0,05 \cdot H^{3/4}$	1	2.90		2.90		0.111
NBCC 2010	$T=0,05 \cdot H^{3/4}$	1	2.90		2.90		0.111
TBDY 2018	$T_{PA}=0,07 \cdot H_N^{3/4}$	1	3.00		3.00		0.160
DBYBHY 2007	$T_1=0,1 \cdot N$	1	3.00		3.00		0.100
ABYBHY 1998	$T_1=0,05 \cdot H_N^{3/4}$	1	3.00		3.00		0.114
EC-8	$T=0,05 \cdot H^{3/4}$	1	3.00		3.00		0.114
ASCE 7-16	$T_a=0,0488 \cdot H_N^{0,75}$	1	3.00		3.00		0.111
ASCE7-16	$T_a=0,1 \cdot N$	1	3.00		3.00		0.100
UBC 97	$T=0,0488 \cdot H_N^{0,75}$	1	3.00		3.00		0.111
AIK 2009	$T_a=0,049 \cdot h_n^{3/4}$	1	3.00		3.00		0.112
ICPSRDB 2007	$T=0,05 \cdot H^{3/4}$	1	3.00		3.00		0.114
SI 413	$T=0,05 \cdot H^{3/4}$	1	3.00		3.00		0.114
NBCC 2010	$T=0,05 \cdot H^{3/4}$	1	3.00		3.00		0.114
TBDY 2018	$T_{PA}=0,07 \cdot H_N^{3/4}$	1	3.10		3.10		0.164
DBYBHY 2007	$T_1=0,1 \cdot N$	1	3.10		3.10		0.100
ABYBHY 1998	$T_1=0,05 \cdot H_N^{3/4}$	1	3.10		3.10		0.117
EC-8	$T=0,05 \cdot H^{3/4}$	1	3.10		3.10		0.117
ASCE 7-16	$T_a=0,0488 \cdot H_N^{0,75}$	1	3.10		3.10		0.114
ASCE7-16	$T_a=0,1 \cdot N$	1	3.10		3.10		0.100
UBC 97	$T=0,0488 \cdot H_N^{0,75}$	1	3.10		3.10		0.114
AIK 2009	$T_a=0,049 \cdot h_n^{3/4}$	1	3.10		3.10		0.114
ICPSRDB 2007	$T=0,05 \cdot H^{3/4}$	1	3.10		3.10		0.117
SI 413	$T=0,05 \cdot H^{3/4}$	1	3.10		3.10		0.117
NBCC 2010	$T=0,05 \cdot H^{3/4}$	1	3.10		3.10		0.117
TBDY 2018	$T_{PA}=0,07 \cdot H_N^{3/4}$	1	3.20		3.20		0.167
DBYBHY 2007	$T_1=0,1 \cdot N$	1	3.20		3.20		0.100
ABYBHY 1998	$T_1=0,05 \cdot H_N^{3/4}$	1	3.20		3.20		0.120
EC-8	$T=0,05 \cdot H^{3/4}$	1	3.20		3.20		0.120
ASCE 7-16	$T_a=0,0488 \cdot H_N^{0,75}$	1	3.20		3.20		0.117
ASCE7-16	$T_a=0,1 \cdot N$	1	3.20		3.20		0.100
UBC 97	$T=0,0488 \cdot H_N^{0,75}$	1	3.20		3.20		0.117
AIK 2009	$T_a=0,049 \cdot h_n^{3/4}$	1	3.20		3.20		0.117
ICPSRDB 2007	$T=0,05 \cdot H^{3/4}$	1	3.20		3.20		0.120
SI 413	$T=0,05 \cdot H^{3/4}$	1	3.20		3.20		0.120
NBCC 2010	$T=0,05 \cdot H^{3/4}$	1	3.20		3.20		0.120

Çizelge 5. 2 katlı yığma bina modellerinin farklı yönetmelik ampirik formül doğal titreşim periyodları

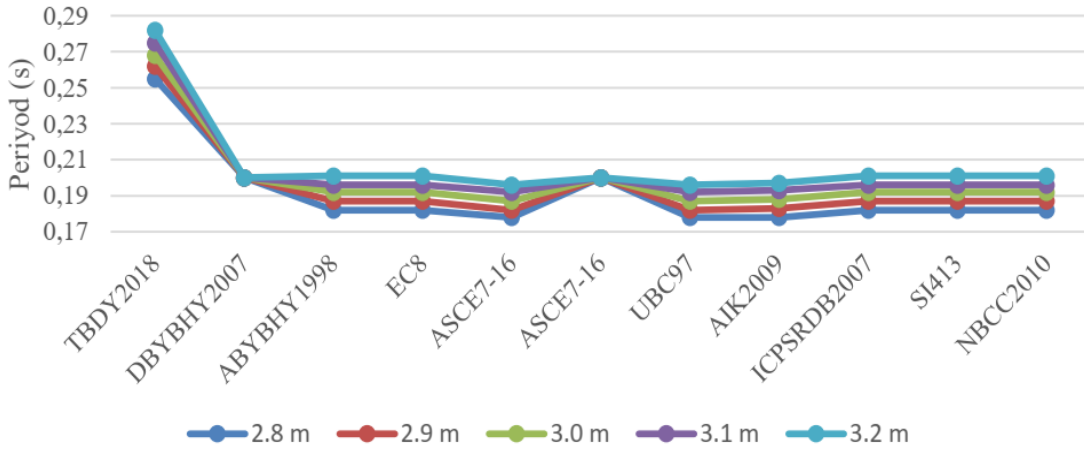
Yönetmelik	Ampirik Formül	Kat Adedi (N)	Kat Yüksekliği (h _{kat})	Bina Yüksekliği (H _N)	Periyot (T)
			m	m	s
TBDY 2018	$T_{PA}=0,07 \cdot H_N^{3/4}$	2	2.80	5.60	0.255
DBYBHY 2007	$T_1=0,1 \cdot N$	2	2.80	5.60	0.200
ABYBHY 1998	$T_1=0,05 \cdot H_N^{3/4}$	2	2.80	5.60	0.182
EC-8	$T=0,05 \cdot H^{3/4}$	2	2.80	5.60	0.182
ASCE 7-16	$T_a=0,0488 \cdot H_N^{0,75}$	2	2.80	5.60	0.178
ASCE7-16	$T_a=0,1 \cdot N$	2	2.80	5.60	0.200
UBC 97	$T=0,0488 \cdot H_N^{0,75}$	2	2.80	5.60	0.178
AIK 2009	$T_a=0,049 \cdot h_n^{3/4}$	2	2.80	5.60	0.178
ICPSRDB 2007	$T=0,05 \cdot H^{3/4}$	2	2.80	5.60	0.182
SI 413	$T=0,05 \cdot H^{3/4}$	2	2.80	5.60	0.182
NBCC 2010	$T=0,05 \cdot H^{3/4}$	2	2.80	5.60	0.182
TBDY 2018	$T_{PA}=0,07 \cdot H_N^{3/4}$	2	2.90	5.80	0.262
DBYBHY 2007	$T_1=0,1 \cdot N$	2	2.90	5.80	0.200
ABYBHY 1998	$T_1=0,05 \cdot H_N^{3/4}$	2	2.90	5.80	0.187
EC-8	$T=0,05 \cdot H^{3/4}$	2	2.90	5.80	0.187
ASCE 7-16	$T_a=0,0488 \cdot H_N^{0,75}$	2	2.90	5.80	0.182
ASCE7-16	$T_a=0,1 \cdot N$	2	2.90	5.80	0.200
UBC 97	$T=0,0488 \cdot H_N^{0,75}$	2	2.90	5.80	0.182
AIK 2009	$T_a=0,049 \cdot h_n^{3/4}$	2	2.90	5.80	0.183
ICPSRDB 2007	$T=0,05 \cdot H^{3/4}$	2	2.90	5.80	0.187
SI 413	$T=0,05 \cdot H^{3/4}$	2	2.90	5.80	0.187
NBCC 2010	$T=0,05 \cdot H^{3/4}$	2	2.90	5.80	0.187
TBDY 2018	$T_{PA}=0,07 \cdot H_N^{3/4}$	2	3.00	6.00	0.268
DBYBHY 2007	$T_1=0,1 \cdot N$	2	3.00	6.00	0.200
ABYBHY 1998	$T_1=0,05 \cdot H_N^{3/4}$	2	3.00	6.00	0.192
EC-8	$T=0,05 \cdot H^{3/4}$	2	3.00	6.00	0.192
ASCE 7-16	$T_a=0,0488 \cdot H_N^{0,75}$	2	3.00	6.00	0.187
ASCE7-16	$T_a=0,1 \cdot N$	2	3.00	6.00	0.200
UBC 97	$T=0,0488 \cdot H_N^{0,75}$	2	3.00	6.00	0.187
AIK 2009	$T_a=0,049 \cdot h_n^{3/4}$	2	3.00	6.00	0.188
ICPSRDB 2007	$T=0,05 \cdot H^{3/4}$	2	3.00	6.00	0.192
SI 413	$T=0,05 \cdot H^{3/4}$	2	3.00	6.00	0.192
NBCC 2010	$T=0,05 \cdot H^{3/4}$	2	3.00	6.00	0.192
TBDY 2018	$T_{PA}=0,07 \cdot H_N^{3/4}$	2	3.10	6.20	0.275
DBYBHY 2007	$T_1=0,1 \cdot N$	2	3.10	6.20	0.200
ABYBHY 1998	$T_1=0,05 \cdot H_N^{3/4}$	2	3.10	6.20	0.196
EC-8	$T=0,05 \cdot H^{3/4}$	2	3.10	6.20	0.196
ASCE 7-16	$T_a=0,0488 \cdot H_N^{0,75}$	2	3.10	6.20	0.192
ASCE7-16	$T_a=0,1 \cdot N$	2	3.10	6.20	0.200
UBC 97	$T=0,0488 \cdot H_N^{0,75}$	2	3.10	6.20	0.192
AIK 2009	$T_a=0,049 \cdot h_n^{3/4}$	2	3.10	6.20	0.193
ICPSRDB 2007	$T=0,05 \cdot H^{3/4}$	2	3.10	6.20	0.196
SI 413	$T=0,05 \cdot H^{3/4}$	2	3.10	6.20	0.196
NBCC 2010	$T=0,05 \cdot H^{3/4}$	2	3.10	6.20	0.196
TBDY 2018	$T_{PA}=0,07 \cdot H_N^{3/4}$	2	3.20	6.40	0.282
DBYBHY 2007	$T_1=0,1 \cdot N$	2	3.20	6.40	0.200
ABYBHY 1998	$T_1=0,05 \cdot H_N^{3/4}$	2	3.20	6.40	0.201
EC-8	$T=0,05 \cdot H^{3/4}$	2	3.20	6.40	0.201
ASCE 7-16	$T_a=0,0488 \cdot H_N^{0,75}$	2	3.20	6.40	0.196
ASCE7-16	$T_a=0,1 \cdot N$	2	3.20	6.40	0.200
UBC 97	$T=0,0488 \cdot H_N^{0,75}$	2	3.20	6.40	0.196
AIK 2009	$T_a=0,049 \cdot h_n^{3/4}$	2	3.20	6.40	0.197
ICPSRDB 2007	$T=0,05 \cdot H^{3/4}$	2	3.20	6.40	0.201
SI 413	$T=0,05 \cdot H^{3/4}$	2	3.20	6.40	0.201
NBCC 2010	$T=0,05 \cdot H^{3/4}$	2	3.20	6.40	0.201

Çalışmada incelenen farklı deprem yönetmeliklerinin önerdiği ampirik formüller kullanılarak farklı kat yüksekliklerine sahip donatısız yığma bina modelleri için bulunan periyod değerlerinin karşılaştırılması, 1 katlı donatısız yığma bina modelleri için grafik olarak Şekil 6'da ve 2 katlı örnek yığma bina modelleri için grafik olarak Şekil 7'de verilmiştir. Şekil 6 incelendiğinde, TBDY 2018'de önerilen ampirik formülün, çalışmada incelenen diğer deprem yönetmeliklerinde önerilen ampirik formüllere göre daha büyük (daha uzun) periyod değerleri verdiği ve diğer deprem

yönetmeliklerinin ampirik formül periyodlarının birbirine yakın değerler aldığı görülmektedir. Farklı kat yüksekliklerine sahip 1 katlı örnek donatısız yığma bina modelleri için TBDY 2018 ampirik formül periyodlarının, DBYBHY 2007 ampirik formül periyodlarının 1.60 katı, ABYBHY 1998, ICPSRDB 2007, Sİ 314, NBCC 2010 ve Eurocode 8 yönetmeliklerinin ampirik formül periyodlarının 1.40 katı, UBC 97 ve AIK 2009 yönetmeliklerinin ampirik formül periyodlarının 1.44 katı ve ASCE7-16 yönetmeliği ampirik formül periyodlarının 1.44 ve 1.60 katı olduğu görülmektedir.



Şekil 6. 1 katlı donatısız yığma bina modelleri için ampirik formül periyod değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 7. 2 katlı donatısız yığma bina modelleri için ampirik formül periyod değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 7 incelendiğinde TBDY 2018'de önerilen ampirik formülün, 1 katlı yığma bina modellerinde olduğu gibi diğer deprem yönetmeliklerinde önerilen ampirik periyod formüllerine göre daha büyük (daha uzun) periyod değerleri verdiği ve diğer deprem yönetmeliklerinin ampirik formül periyodlarının birbirine yakın değerler aldığı

görülmektedir. Farklı kat yüksekliklerine sahip 2 katlı örnek donatısız yığma bina modelleri için TBDY 2018 ampirik formül periyodlarının, DBYBHY 2007 ampirik formül periyodlarının 1.34 katı, ABYBHY 1998, ICPSRDB 2007, Sİ 413, NBCC 2010 ve Eurocode 8 yönetmeliklerinin ampirik formül periyodlarının 1.40 katı, UBC 97 ve AIK 2009 yönetmeliklerinin

ampirik formül periyodlarının 1.44 katı ve ASCE7-16 yönetmeliği ampirik formül periyodlarının 1.34 ve 1.44 katı olduğu görülmektedir.

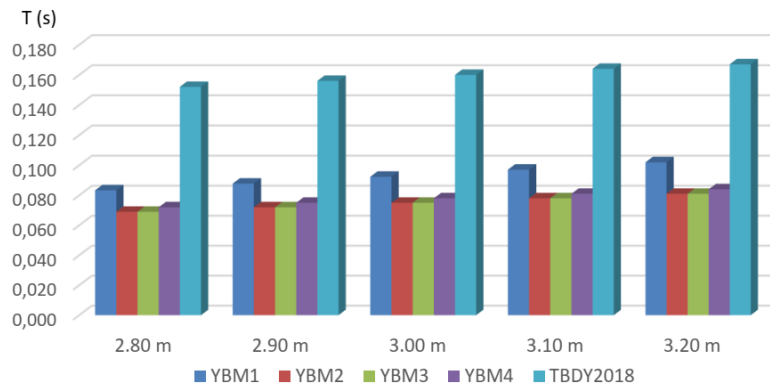
Çalışmada incelenen farklı deprem yönetmeliklerinin önerdiği ampirik periyod formülleri aynı teorik alt yapıya bağlı olarak çıkarılmasına rağmen ampirik formüllerdeki farklı değişkenlere bağlı olarak aynı bina için farklı sonuçların çıktığı görülmektedir. TBDY 2018 ampirik formül periyodlarının, çalışmada incelenen diğer deprem yönetmeliklerinin ampirik formül periyodlarından belirgin şekilde farklı (büyük) değerler almasının en önemli sebebi, incelenen

diğer deprem yönetmeliklerinin ampirik periyod formüllerinde C_t katsayısının 0.05 civarında olmasına karşın TBDY 2018 ampirik periyod formülünde C_t katsayısının 0.07 olmasıdır.

Örnek donatısız yığma bina modellerinin farklı kat sayısı, kat yüksekliği, duvar kalınlığı, hareketli yük değerleri için Rayleigh formülüyle analitik olarak bulunan periyod değerlerinin ortalaması ile TBDY 2018 ampirik formül periyod değerlerinin karşılaştırması, 1 katlı donatısız yığma bina modelleri için Çizelge 6'da, grafik olarak Şekil 8'de ve 2 katlı donatısız yığma bina modelleri için Çizelge 7'de, grafik olarak Şekil 9'da verilmiştir.

Çizelge 6. 1 katlı donatısız yığma bina modellerinin periyodlarının TBDY 2018 ampirik formül periyodları ile karşılaştırılması

Model No	Kat Sayısı	Kat Yüksekliği (m)	Bina Yüksekliği (m)	Rayleigh Yöntemi Periyod Ortalama		TBDY 2018 Ampirik T_{amp} (s)	$\frac{T_x}{T_{amp}}$	$\frac{T_y}{T_{amp}}$
				Tx (s)	Ty (s)			
				YBM1	1			
YBM2	1	2.80	2.80	0.069	0.066		2.20	2.30
YBM3	1	2.80	2.80	0.069	0.068		2.20	2.24
YBM4	1	2.80	2.80	0.072	0.062		2.11	2.45
YBM1	1	2.90	2.90	0.088	0.066	0.156	1.78	2.37
YBM2	1	2.90	2.90	0.072	0.069		2.17	2.26
YBM3	1	2.90	2.90	0.072	0.071		2.17	2.20
YBM4	1	2.90	2.90	0.075	0.064		2.08	2.44
YBM1	1	3.00	3.00	0.092	0.069	0.160	1.73	2.32
YBM2	1	3.00	3.00	0.075	0.071		2.13	2.25
YBM3	1	3.00	3.00	0.075	0.074		2.13	2.16
YBM4	1	3.00	3.00	0.078	0.066		2.05	2.42
YBM1	1	3.10	3.10	0.097	0.072	0.164	1.69	2.29
YBM2	1	3.10	3.10	0.078	0.074		2.10	2.22
YBM3	1	3.10	3.10	0.078	0.077		2.10	2.13
YBM4	1	3.10	3.10	0.081	0.069		2.02	2.38
YBM1	1	3.20	3.20	0.102	0.075	0.167	1.64	2.23
YBM2	1	3.20	3.20	0.081	0.077		2.06	2.17
YBM3	1	3.20	3.20	0.081	0.080		2.06	2.09
YBM4	1	3.20	3.20	0.084	0.071		1.99	2.35



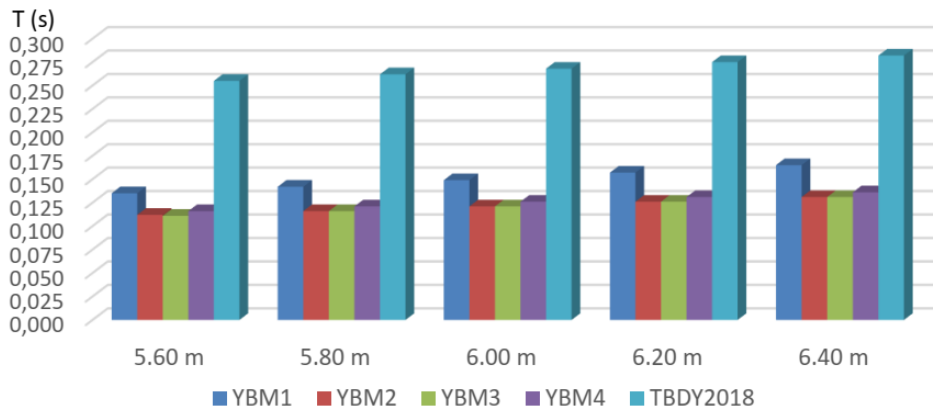
Şekil 8. 1 katlı yığma binaların ortalama periyodlarının TBDY 2018 ampirik formül periyodu ile farklı kat yükseklikleri için karşılaştırılması

TBDY 2018 ampirik formülü ile bulunan periyodlar, Rayleigh yöntemiyle analitik olarak bulunan periyodlardan farklı değerler almaktadır (Çizelge 6, 7 ve Şekil 8, 9). Aynı bina için periyodların farklı olmasının sebebi, TBDY 2018 ampirik formülün ($T_{PA}=C_t \cdot H_N^{3/4}$) sadece bina taşıyıcı sistem katsayısı (C_t) ile bina yüksekliğine (H_N) bağlı olması, binanın X ve Y boyutları yani atalet durumu, kütlesi (m), bina dayanımı, rijitliği (EI) gibi parametreleri dikkate almamasıdır.

1 katlı tüm donatısız yığma bina modellerinin TBDY 2018 ampirik formülü ile bulunan periyodların, analitik olarak bulunan periyodlara göre daha büyük değerler aldığı Çizelge 6'dan ve Şekil 8'den görülmektedir. Örneğin 1 katlı donatısız yığma bina modellerinden YBM1 için kat yüksekliğine bağlı olarak TBDY 2018 ampirik formülüyle bulunan periyodlar, analitik olarak bulunan periyodların X doğrultusunda en az 1.64 en çok 1.82 katı iken, Y doğrultusunda ise en az 2.24 en çok 2.45 katıdır.

Çizelge 7. 2 katlı donatısız yığma bina modellerinin periyodlarının TBDY 2018 ampirik formül periyodları ile karşılaştırılması

Model No	Kat Sayısı	Kat Yüksekliği (m)	Bina Yüksekliği (m)	Rayleigh Yöntemi Periyod Ortalama		TBDY 2018 Ampirik T_{amp} (s)	$\frac{T_x}{T_{amp}}$	$\frac{T_y}{T_{amp}}$
				Tx (s)	Ty (s)			
YBM1	2	2.80	5.60	0.135	0.100	0.255	1.89	2.55
YBM2	2	2.80	5.60	0.112	0.107		2.28	2.38
YBM3	2	2.80	5.60	0.111	0.110		2.30	2.32
YBM4	2	2.80	5.60	0.116	0.100		2.20	2.55
YBM1	2	2.90	5.80	0.142	0.105	0.262	1.85	2.50
YBM2	2	2.90	5.80	0.116	0.111		2.26	2.36
YBM3	2	2.90	5.80	0.116	0.115		2.26	2.28
YBM4	2	2.90	5.80	0.121	0.103		2.17	2.54
YBM1	2	3.00	6.00	0.149	0.109	0.268	1.80	2.46
YBM2	2	3.00	6.00	0.121	0.116		2.21	2.31
YBM3	2	3.00	6.00	0.121	0.120		2.21	2.23
YBM4	2	3.00	6.00	0.126	0.107		2.13	2.50
YBM1	2	3.10	6.20	0.157	0.114	0.275	1.75	2.41
YBM2	2	3.10	6.20	0.126	0.120		2.18	2.29
YBM3	2	3.10	6.20	0.126	0.125		2.18	2.20
YBM4	2	3.10	6.20	0.131	0.111		2.10	2.48
YBM1	2	3.20	6.40	0.165	0.119	0.282	1.71	2.37
YBM2	2	3.20	6.40	0.131	0.125		2.15	2.26
YBM3	2	3.20	6.40	0.131	0.130		2.15	2.17
YBM4	2	3.20	6.40	0.136	0.115		2.07	2.45



Şekil 9. 2 katlı yığma binaların ortalama periyodlarının TBDY 2018 ampirik formül periyodu ile farklı kat yükseklikleri için karşılaştırılması

Çizelge 7 ve Şekil 9 incelendiğinde iki katlı tüm donatısız yığma bina modellerinde TBDY 2018 ampirik periyod formülüyle bulunan periyodların değerlerinin, analitik olarak bulunan periyodlara göre büyük değerler aldığı görülmektedir. Örneğin 2 katlı donatısız yığma bina modellerinden YBM1 için kat yüksekliğine bağlı olarak TBDY 2018 ampirik formülüyle bulunan periyodlar, analitik olarak bulunan periyodlarının X doğrultusunda en az 1.71 en çok 1.89 katı iken, Y doğrultusunda en az 2.37 en çok 2.55 katıdır.

Çalışmada incelenen diğer ülkelerin deprem yönetmeliklerinin ampirik periyod formülleri, TBDY 2018 ampirik periyod formülüne göre Rayleigh yöntemi periyod değerlerine daha yakın sonuçlar vermektedir.

Deprem sırasında binaya etkiyecek olan spektral ivme değerleri binanın periyoduna bağlı olarak tasarım ivme spektrum grafiği üzerinden hesaplanmaktadır. TBDY 2018 tasarım ivme spektrumu göz önüne alındığında belirli bir küçük bölgenin dışında spektral ivme değerleri periyod ile ters orantılıdır, yani ampirik formül ile bulunan büyük (uzun) periyodlar için hesaplanan deprem yüklerinin, analitik olarak bulunan periyodlar için hesaplanan deprem yüklerinden daha küçük

değerler alması güvensiz tarafta kalması beklenmektedir.

Periyod hesaplarında elde edilen sonuçların farklılığı deprem hesabında baz alınan tasarım depreminin farklı seviyede olmasına neden olabileceği için çalışmada ayrıca, TBDY 2018'de ampirik formül ve Rayleigh periyodları için deprem yükleri de incelenmiştir. Örnek donatısız yığma bina modellerinin deprem yükü ZA, ZB, ZC, ZD ve ZE yerel zemin sınıfları için ayrı ayrı hesaplanarak, karşılaştırılmıştır. Örnek donatısız yığma bina modellerinin eşdeğer deprem yüklerinin hesabı, Türkiye Deprem Tehlike Haritaları 2019 (TDTH 2019)'a göre depremselliği fazla olan Sakarya Merkezi ve depremselliği görece daha az olan Kırklareli Merkezi için yapılmıştır. Kırklareli ve Sakarya Merkezi için TDTH 2019'dan okunan spektral ivme katsayıları ve spektrum köşe periyodları Çizelge 8'de verilmiştir. Çalışma kapsamında eşdeğer deprem yükü hesabı sonucu bulunan tüm deprem yüklerinin verilmesi sayfa sayısını çok arttıracığı için örnek olması açısından 2 katlı donatısız yığma bina modeli 1 (YBM1)'in Kırklareli Merkezi için hesaplanan eşdeğer deprem yüklerinin ortalama değerleri Çizelge 9'da verilmiştir.

Çizelge 8. Örnek yığma bina modellerin TBDY 2018 spektral ivme katsayıları ve spektrum köşe periyodları

Zemin Sınıfı	Kırklareli					Sakarya				
	S _{D5}	S _{D1}	T _A	T _B	T _L	S _{D5}	S _{D1}	T _A	T _B	T _L
ZA	0.311	0.102	0.066	0.329	6.0	0.982	0.273	0.056	0.278	6.0
ZB	0.350	0.102	0.058	0.292	6.0	1.105	0.273	0.049	0.247	6.0
ZC	0.506	0.192	0.076	0.380	6.0	1.474	0.512	0.069	0.347	6.0
ZD	0.579	0.300	0.104	0.518	6.0	1.239	0.668	0.108	0.539	6.0
ZE	0.782	0.505	0.129	0.646	6.0	1.127	0.899	0.160	0.798	6.0

Çizelge 9. 2 katlı donatısız yığma bina modeli 1 (YBM1)'in Kırklareli Merkezi için hesaplanan eşdeğer deprem yükleri

Zemin Sınıfı	Deprem Yüğü (kN)	Kat Yüksekliği (m)				
		2.80 m	2.90 m	3.00 m	3.10 m	3.20 m
ZA	V _{tort}	216.295	220.512	224.841	228.732	232.548
	V _{tampirik}	176.416	179.925	183.610	186.994	190.316
ZB	V _{tort}	237.669	242.071	246.614	250.636	254.570
	V _{tampirik}	190.323	193.965	197.813	201.315	204.748
ZC	V _{tort}	361.175	368.609	376.203	383.138	389.950
	V _{tampirik}	300.784	307.030	313.545	319.589	325.534
ZD	V _{tort}	427.789	442.667	452.586	461.882	471.049
	V _{tampirik}	375.062	383.497	392.195	400.412	408.520
ZE	V _{tort}	559.070	579.608	599.129	619.764	640.589
	V _{tampirik}	532.638	545.193	558.058	570.339	582.483

Donatısız yığma bina modellerin TBDY 2018'de önerilen ampirik formülle ve Rayleigh yöntemiyle analitik olarak bulunan periyod değerleri kullanılarak hesaplanan eşdeğer deprem yüklerinin Kırklareli Merkezi için karşılaştırılması Çizelge 10'da, Sakarya Merkezi için karşılaştırılması Çizelge 11'de verilmiştir. TBDY 2018 ampirik formül periyod değerleri ile analitik periyod değerleri için hesaplanan eşdeğer deprem yüklerinin % cinsinden

karşılaştırılmasında Denklem 4 kullanılmıştır (Çizelge 10, 11).

$$\frac{V_{t_{amp}} - V_{t_{ort}}}{V_{t_{amp}}} \times 100 \quad (4)$$

Denklem 4'te $V_{t_{amp}}$: Ampirik formül periyod değeri için eşdeğer deprem yükü, $V_{t_{ort}}$ = Rayleigh yöntemi periyod değeri için eşdeğer deprem yükü ortalamasıdır.

Çizelge 10. Donatısız yığma bina modellerinin farklı periyod değerleri kullanılarak Kırklareli Merkezi için hesaplanan eşdeğer deprem yükü değerlerinin oranı

Model Adı	Kat Sayısı	Kat Yüksekliği (m)	Bina Yüksekliği (m)	(V _{tamp} -V _{ort})/V _{tamp} Oranları (%)				
				Zemin Grubu				
				ZA	ZB	ZC	ZD	ZE
M1K1	1	2.80	2.80	-11.07	-13.35	-5.94	11.74	25.97
M1K1	1	2.90	2.90	-12.16	-13.32	-7.12	9.01	23.19
M1K1	1	3.00	3.00	-12.15	-13.28	-8.25	6.35	20.48
M1K1	1	3.10	3.10	-12.10	-13.22	-9.33	3.78	17.84
M1K1	1	3.20	3.20	-11.91	-13.00	-10.23	1.39	15.37
M1K2	2	2.80	5.60	-18.37	-19.84	-16.67	-12.32	-4.43
M1K2	2	2.90	5.80	-18.33	-19.79	-16.65	-13.33	-5.77
M1K2	2	3.00	6.00	-18.25	-19.69	-16.59	-13.30	-6.77
M1K2	2	3.10	6.20	-18.15	-19.57	-16.51	-13.26	-7.95
M1K2	2	3.20	6.40	-18.05	-19.44	-16.43	-13.22	-9.07
M2K1	1	2.80	2.80	-13.09	-14.32	-5.34	15.16	29.52
M2K1	1	2.90	2.90	-13.06	-14.39	-7.76	12.61	26.95
M2K1	1	3.00	3.00	-13.31	-14.55	-9.76	10.49	24.82
M2K1	1	3.10	3.10	-13.38	-14.62	-11.29	8.13	22.42
M2K1	1	3.20	3.20	-13.32	-14.55	-11.94	5.98	20.22
M2K2	2	2.80	5.60	-19.44	-21.00	-17.64	-14.10	-3.09
M2K2	2	2.90	5.80	-19.66	-21.21	-17.85	-14.29	-5.22
M2K2	2	3.00	6.00	-19.63	-21.18	-17.84	-14.31	-7.56
M2K2	2	3.10	6.20	-19.78	-21.32	-17.99	-14.45	-9.68
M2K2	2	3.20	6.40	-19.86	-21.39	-18.08	-14.54	-11.48
M3K1	1	2.80	2.80	-12.94	-14.15	-6.00	14.45	28.79
M3K1	1	2.90	2.90	-13.01	-14.23	-8.38	11.93	26.26
M3K1	1	3.00	3.00	-13.08	-14.30	-10.65	9.51	23.81
M3K1	1	3.10	3.10	-13.16	-14.37	-11.78	7.20	21.46
M3K1	1	3.20	3.20	-13.10	-14.30	-11.74	5.08	19.30
M3K2	2	2.80	5.60	-19.31	-20.85	-17.52	-14.00	-3.50
M3K2	2	2.90	5.80	-19.39	-20.93	-17.61	-14.10	-6.00
M3K2	2	3.00	6.00	-19.37	-20.89	-17.60	-14.11	-8.30
M3K2	2	3.10	6.20	-19.45	-20.97	-17.69	-14.21	-10.56
M3K2	2	3.20	6.40	-19.54	-21.04	-17.78	-14.31	-12.11
M4K1	1	2.80	2.80	-11.54	-14.41	-4.88	14.45	29.99
M4K1	1	2.90	2.90	-12.52	-14.56	-6.99	13.42	27.83
M4K1	1	3.00	3.00	-13.47	-14.72	-8.32	11.29	25.62
M4K1	1	3.10	3.10	-13.54	-14.78	-9.58	8.89	23.20
M4K1	1	3.20	3.20	-13.55	-14.79	-10.36	7.03	21.30
M4K2	2	2.80	5.60	-29.00	-21.21	-17.82	-13.24	-2.35
M4K2	2	2.90	5.80	-19.85	-21.43	-18.03	-14.19	-4.48
M4K2	2	3.00	6.00	-19.89	-21.46	-18.08	-14.50	-6.66
M4K2	2	3.10	6.20	-20.04	-21.60	-18.22	-14.64	-8.41
M4K2	2	3.20	6.40	-20.18	-21.74	-18.37	-14.79	-9.49

Çizelge 11. Donatısız yiğma bina modellerinin farklı periyod değerleri kullanılarak Sakarya Merkezi için hesaplanan eşdeğer deprem yükü değerlerinin oranı

Model Adı	Kat Sayısı	Kat Yüksekliği (m)	Bina Yüksekliği (m)	(V _{tamp} -V _{ort})/V _{tamp} Oranları (%)				
				Zemin Grubu				
				ZA	ZB	ZC	ZD	ZE
M1K1	1	2.80	2.80	-13.84	-15.08	-11.71	14.24	35.76
M1K1	1	2.90	2.90	-13.81	-15.08	-10.51	11.49	35.16
M1K1	1	3.00	3.00	-13.76	-15.08	-11.60	8.82	34.52
M1K1	1	3.10	3.10	-13.70	-15.08	-11.63	6.23	31.89
M1K1	1	3.20	3.20	-13.47	-15.08	-11.44	3.82	29.39
M1K2	2	2.80	5.60	-20.46	-15.08	-17.73	-10.94	8.24
M1K2	2	2.90	5.80	-20.40	-15.08	-17.70	-12.21	5.42
M1K2	2	3.00	6.00	-20.29	-15.08	-17.63	-12.91	-3.37
M1K2	2	3.10	6.20	-20.16	-15.08	-17.54	-12.88	0.33
M1K2	2	3.20	6.40	-20.03	-15.08	-17.45	-12.84	-1.38
M2K1	1	2.80	2.80	-14.85	-15.08	-11.40	17.69	39.22
M2K1	1	2.90	2.90	-14.92	-15.08	-12.64	15.13	38.90
M2K1	1	3.00	3.00	-15.08	-15.08	-12.78	13.00	38.92
M2K1	1	3.10	3.10	-15.15	-15.08	-12.86	10.63	36.56
M2K1	1	3.20	3.20	-15.07	-15.08	-12.80	8.47	34.37
M2K2	2	2.80	5.60	-21.65	-15.08	-18.76	-13.44	11.01
M2K2	2	2.90	5.80	-21.87	-15.08	-18.98	-13.87	8.80
M2K2	2	3.00	6.00	-21.82	-15.08	-18.96	-13.89	6.36
M2K2	2	3.10	6.20	-21.97	-15.08	-19.11	-14.03	4.14
M2K2	2	3.20	6.40	-22.03	-15.08	-19.19	-14.02	1.82
M3K1	1	2.80	2.80	-14.67	-15.08	-12.03	16.98	38.53
M3K1	1	2.90	2.90	-14.75	-15.08	-12.49	14.45	38.22
M3K1	1	3.00	3.00	-14.82	-15.08	-12.56	12.02	37.92
M3K1	1	3.10	3.10	-14.89	-15.08	-12.64	9.69	35.59
M3K1	1	3.20	3.20	-14.81	-15.08	-12.58	7.57	33.44
M3K2	2	2.80	5.60	-21.50	-15.08	-18.63	-13.59	10.57
M3K2	2	2.90	5.80	-21.58	-15.08	-18.72	-13.69	7.98
M3K2	2	3.00	6.00	-21.53	-15.08	-18.71	-13.70	5.57
M3K2	2	3.10	6.20	-21.60	-15.08	-18.79	-13.80	3.19
M3K2	2	3.20	6.40	-21.67	-15.08	-18.88	-13.89	0.92
M4K1	1	2.80	2.80	-14.94	-15.08	-9.83	18.17	39.66
M4K1	1	2.90	2.90	-15.10	-15.08	-10.82	15.95	39.69
M4K1	1	3.00	3.00	-15.25	-15.08	-11.78	13.81	39.71
M4K1	1	3.10	3.10	-15.32	-15.08	-13.00	11.40	37.32
M4K1	1	3.20	3.20	-15.33	-15.08	-13.02	9.53	35.44
M4K2	2	2.80	5.60	-21.87	-15.08	-18.96	-11.84	11.78
M4K2	2	2.90	5.80	-22.09	-15.08	-19.71	-12.80	9.57
M4K2	2	3.00	6.00	-22.12	-15.08	-19.21	-13.84	7.30
M4K2	2	3.10	6.20	-22.25	-15.08	-19.36	-14.21	5.04
M4K2	2	3.20	6.40	-22.39	-15.08	-19.50	-14.35	2.88

Çizelge 10 ve 11 incelendiğinde Kırklareli Merkezi ve Sakarya Merkezi için TBDY 2018 ampirik formülü ve analitik periyod değerleri için hesaplanan eşdeğer deprem yükleri arasında farklılıklar olduğu görülmektedir. Kırklareli Merkezi için 1 katlı yiğma bina modellerinin TBDY 2018 ampirik formül periyotları kullanılarak hesaplanan eşdeğer deprem yükleri (V_{tamp}), analitik periyotlar kullanılarak hesaplanan eşdeğer deprem yüklerinin ortalamasından (V_{ort}) ZA yerel zemin sınıfında

ortalama %12.78, ZB yerel zemin sınıfında ortalama %14.60, ZC yerel sınıfında ortalama %8,78 küçük iken, ZD yerel zemin sınıfında ortalama %9.40 ve ZE yerel zemin sınıfında %23.72 büyüktür. Kırklareli Merkezi için 2 katlı yiğma bina modellerinin eşdeğer deprem yükleri incelendiğinde TBDY 2018 ampirik formül periyotları için bulunan deprem yükleri analitik periyod deprem yüklerinden ZA yerel zemin sınıfında ortalama %19.78, ZB yerel zemin sınıfında ortalama %20.83, ZC yerel sınıfında ortalama

%17.55, ZD yerel zemin sınıfında ortalama %13.96 küçük iken, ZE yerel zemin sınıfında %7.14 büyüktür. Sakarya Merkezi için 1 katlı yığma bina modellerinin TBDY 2018 ampirik formül periyotları kullanılarak hesaplanan eşdeğer deprem yükleri ($V_{t_{amp}}$), analitik periyotlar kullanılarak hesaplanan eşdeğer deprem yüklerinin ortalamasından ($V_{t_{ort}}$) ZA yerel zemin sınıfında ortalama %14.68, ZB yerel zemin sınıfında ortalama %15.08, ZC yerel sınıfında ortalama %12.01 küçük iken, ZD yerel zemin sınıfında ortalama % 11.95 ve ZE yerel zemin sınıfında %36.51 büyüktür. Sakarya Merkezi için 2 katlı yığma bina modellerinin eşdeğer deprem yükleri incelendiğinde TBDY 2018 ampirik formül periyotları için bulunan deprem yükleri analitik periyod deprem yüklerinden ZA yerel zemin sınıfında ortalama %21.46, ZB yerel zemin sınıfında ortalama %15.08, ZC yerel sınıfında ortalama %13.34, ZD yerel zemin sınıfında ortalama %13.96 küçük iken, ZE yerel zemin sınıfında %5.31 büyüktür. İncelenen 2 katlı tüm modellerin analiz sonuçlarına göre Kırklareli Merkezi'nde tüm zemin sınıfları için, Sakarya Merkezi'nde ZE zemin sınıfının dışındaki tüm zemin sınıflarında ampirik formül periyotları kullanılarak bulunan deprem yükleri, Rayleigh yöntemi periyotları kullanılarak bulunan deprem yüklerinden daha küçüktür. İncelenen 1 katlı tüm modellerin analiz sonuçlarına göre Kırklareli ve Sakarya Merkezi'nde ZA, ZB, ZC yerel zemin sınıflarında ampirik formül periyotları kullanılarak bulunan deprem yükleri, Rayleigh yöntemi periyotları kullanılarak bulunan deprem yüklerinden daha küçük iken, ZD ve ZE yerel zemin sınıflarında daha büyüktür.

TBDY 2018'de önerilen ampirik formül ve Rayleigh periyod değerleri ile bu periyod değerleri kullanılarak örnek donatısız yığma bina modelleri için hesaplanan deprem yükleri arasındaki fark, donatısız yığma binaların doğal titreşim periyodu hesabında TBDY 2018'de önerilen ampirik formülün mevcut haliyle doğrudan kullanılmasının depreme dayanıklı yapı tasarımı açısından güvensiz sonuçlara sebep olabileceği söylenebilir.

4. Sonuç

Bu çalışmada Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 (TBDY 2018)'de belirli koşulların sağlanması durumunda binaların doğal titreşim periyod

değerlerinin bulunması için kullanılması önerilen ampirik periyod formülünün depreme dayanıklı donatısız yığma bina tasarımı ve analizi için yeterliliği irdelenmiştir. Bu amaçla farklı kat planı, kat adeti, kat yüksekliği, duvar kalınlığı ve hareketli yüke sahip donatısız yığma bina örneklerinin, deprem analizine esas doğal titreşim periyodu TBDY 2018'de önerilen ampirik formül ve Rayleigh yöntemi ile analitik olarak belirlenmiş ve karşılaştırılmıştır. Ayrıca donatısız yığma binaların periyod değerlerinin belirlenmesi için TBDY 2018'de önerilen ampirik formül ile çalışma kapsamında incelenen farklı deprem yönetmeliklerinin önerdiği ampirik formüller örnek donatısız yığma binalar için karşılaştırılmıştır.

Analiz sonuçlarına göre TBDY 2018 ampirik periyod formülü ile örnek donatısız yığma bina modelleri için bulunan periyotların, Rayleigh yöntemi periyotlarına göre daha büyük değerler aldığı görülmüştür. TBDY 2018'de önerilen ampirik periyod formülünün çalışmada incelenen farklı deprem yönetmeliklerinde önerilen ampirik periyod formüllerine göre 1 katlı bina modellerinde %40-%60, 2 katlı bina modellerinde %34-%44 arasında değişen oranlarda daha büyük (daha uzun) periyod değerleri verdiği görülmüştür.

TBDY 2018'de önerilen ampirik formülün Rayleigh formülünün yerine periyod hesabında kullanılması donatısız yığma binaların depreme dayanıklı analizi ve tasarımında güvenli olmayan yönde sonuçlar elde edilmesine neden olabileceği söylenebilir.

TBDY 2018 ampirik periyod formülü ve analitik olarak bulunan periyotlara göre Türkiye Deprem Tehlike Haritaları 2019 (TDTH 2019)'a göre depremselliği fazla olan Sakarya Merkezi ile depremselliği görece daha az olan Kırklareli Merkezinde ZA, ZB, ZC, ZD ve ZE yerel zemin sınıfları için örnek donatısız yığma bina modellerinin eşdeğer deprem yükleri hesaplanarak, birbiriyle karşılaştırılmıştır.

TBDY 2018 ampirik formülü periyod değerleri kullanılarak örnek donatısız yığma bina modellerinin hesaplanan eşdeğer deprem yüklerinin, Rayleigh yöntemi analitik periyod değerleri kullanılarak hesaplanan deprem yüklerinden ZA, ZB ve ZC yerel zemin sınıflarının tamamında, ZD ve ZE yerel zemin sınıflarının çoğunda küçük olduğu, güvensiz tarafta

kaldığı görülmüştür.

Donatısız yığma binalar için TBDY 2018 ampirik periyod formülüyle bulunan periyodlar, analitik olarak bulunan periyod değerlerinden büyük olup, deprem tasarımının temel gerekliliği olan insan hayatının korunması ve yapısal çökmenin önlenmesi bakımından güvenli tarafta olmadığı söylenebilir. Periyod değerleri ve bu periyod değerleri kullanılarak örnek donatısız yığma bina modelleri için hesaplanan deprem yükleri arasındaki farklar, TBDY 2018’de binaların doğal titreşim periyotlarının belirlenmesi için önerilen $T_{PA}=C_t \cdot H_N^{3/4}$ deneysel formülünün donatısız yığma binaların periyod hesabında doğrudan kullanılabileceği hükmü ve/veya ampirik formüldeki donatısız yığma binalar için C_t katsayısının 0.07 değerinden gözden geçirilmesi için bir başlangıç noktası olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

5. Kaynaklar

ABYYHY, 1998, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara.

AIK, 2009, Korean Building Code, Seoul, Korea.

Aldemir, A., Binici, B., Canbay, E. and Yakut A., 2017. Lateral load testing of an existing two story masonry building up to near collapse, *Bulletion of Earthquake Engineering*, **15**, 3365-3383.

Aldemir, A., Binici, B., Canbay, E. and Yakut A., 2018. In situ lateral load testing of a two-story solid clacy brick masonry building, *Journal of Performance of Constructed Facilities*, **32(5)**: 04018058.

Aninthaneni, P. K. and Dhakal R. P., 2016. Prediction of fundamental period of regular frame buildings, *Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering*, **49(2)**, 175-189.

Aras, F., Akbaş, T., Ekşi, H. and Çeribaşı S., 2020. Progressive damage analyses of masonry buildings by dynamic analyses, *International Journal of Civil Engineering*, **18**, 903-917.

ASCE7-16, 2017. Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures, American Society of Civil Engineers.

Aksoylu, C. ve Arslan, M. H., 2019a. Çerçeve türü betonarme binaların periyod hesaplarının farklı ampirik bağıntılara göre irdelenmesi, *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, **8 (2)**, 569-581.

Aksoylu, C. ve Arslan, M. H., 2019b. Çerçeve+perde türü betonarme binaların periyod hesaplarının TBDY-2019 yönetmeliğine göre ampirik olarak değerlendirilmesi, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, **24(3)**, 365-382.

Aksoylu, C., Mobark, A., Hakan Arslan, M., and Hakkı Erkan, İ. 2020. A comparative study on ASCE 7-16, TBEC-2018 and TEC-2007 for reinforced concrete buildings. *Revista de la construcción*, **19(2)**, 282-305.

Aksoylu, C. ve Arslan, M. H., 2021. 2007 ve 2019 Deprem Yönetmeliklerinde betonarme binalar için yer alan farklı deprem kuvveti hesaplama yöntemlerinin karşılaştırılması olarak irdelenmesi. *International Journal of Engineering Research and Development*, **13(2)**, 359-374.

Amani, A., S. Sağıroğlu, S. ve Doğangün, A., 2020. Örnek bir yığma bina üzerine 1998, 2007 ve 2019 Türk deprem yönetmeliklerinin karşılaştırılması olarak irdelenmesi, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, **5(1)**, 13-26.

Börekçi, M., 2019. Dolgu duvarlı betonarme binaların hakim periyodunun doğrudan formüller ile elde edilmesi, *Haliç Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, **2(2)**, 161-178.

Crowley, H. and Pinho, R., 2006. Simplified Equations for Estimating the Period of Vibration of Existing Buildings, First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, Geneva, Switzerland.

DBYBHY, 2007, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara.

Draganiç, H., Hadzima-Nyarko, M. and Moric, D., 2010. Comparison of rc frames periods with the empiric expressions given in Eurocode 8. *Technical Gazzete*, **17(1)**, 93-100.

Eurocode 8, 2004. Design of Structures for Earthquake Resistance, Part 1: General Rules, Seismic Actions and Rules for Buildings, European Standard EN1998-1, Comité Européen de Normalisation, Brussels, Belgium.

Güneş, S. ve Anıl, Ö., 2017. Operasyonel modal analiz tekniği ile yığma yapıların dinamik davranışının belirlenmesi, 4. Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Eskişehir, Türkiye.

ICPSRDB, 2007, Iranian Code of Practice for Seismic Resistant Design of Buildings, Iran.

İncetaş, S. ve Tanrıkulu, K., 2002. Binaların birinci doğal titreşim periyodunun yaklaşık olarak belirlenmesi,

- <http://fbe.cu.edu.tr/tr/makaleler/2001/binalarinbirinci.pdf>.
- Koçer, M., Nakipoğlu A., Öztürk B., Al-Hagri M. H. Ve Arslan M. H., 2018. Deprem kuvvetine esas spektral ivme değerlerinin TBDY 2018 ve TDY 2007'ye göre karşılaştırılması, *Selçuk Üniversitesi Selçuk-Teknik Dergisi*, **17(2)**, 43-58.
- Kuran, F., Mısır I. S., Aldemir O., Tuna E. ve Fırat S., 2020. 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği yığma yapılar bölümü üzerine bir değerlendirme ve donatısız yığma bina örnekleri için karşılaştırmalı analiz, *Turkish Journal of Earthquake Research* **2(1)**, 47-60.
- Leissa, A. W., 2005. The historical bases of the Rayleigh and Ritz methods, *Journal of Sound and Vibration*, **287(4)**, 961-978.
- Nassani, D. A., 2014. A simple model for calculating the fundamental period of vibration in steel structures, *APCBEE Procedia*, **9**, 393-346.
- NBCC, 2010, National Building Code of Canada”, National Research Council of Canada, Ottawa, Canada.
- Özkat, S., ve Kuruşçu, A. O., 2019. Deprem bölgelerinde yapılacak yığma yapıların tasarımı hakkında 2007 ve 2018 deprem yönetmeliklerinin karşılaştırılması, 4. Uluslararası Bilimsel Araştırmalar Kongresi (UBAK), Yalova, Türkiye.
- Özşahin, B., 2021a. Türkiye bina deprem yönetmeliği 2019'a göre Kırklareli için deprem yüklerinin değerlendirilmesi, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, **9(2)**, 836-863.
- Özşahin, B., 2021b. Edirne ili özelinde 2019 ve 2007 Türk Deprem Yönetmeliklerine göre yatay tasarım ivme spektrumlarının değişiminin incelenmesi, *Journal of Advanced Research in Natural and Applied Sciences*, **(4)**, 590-608.
- RYTEİE, 2019, Riskli Yapıların Tespit Edilmesine İlişkin Esaslar, T.C. Şehircilik ve Çevre Bakanlığı, Ankara.
- SI-413, 2009, Design Provisions for Earthquake Resistance of Structures, The Standart Institution of Israel.
- Sucuoğlu, H., 2019. 2019 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde başlıca yenilikler, *Türk Deprem Araştırma Dergisi*, **1(1)**, 63-75.
- TBDY, 2018, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, T.C Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara.
- TDTH 2019, Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması, <https://tdth.afad.gov.tr/>, T.C Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara.
- TS 498, 1997, Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 500, 2000, Betonarme Yapıların Tasarımı ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Tunç, G. ve Tanfener, T., 2016. 2007 ve 2016 Türkiye bina deprem yönetmeliklerinin örneklerle mukayesesi, 3. Ulusal Yapı Kongresi ve Sergisi Teknik Tasarım, Güvenlik ve Erişebilirlik, Ankara, Türkiye.
- UBC-97, 1997, Uniform Building Code, Structural Engineering Design Provisions, International Conference of Building Officials, ICBO, Whittier, CA., USA.

AKÜ FEMÜBİD 22 (2022) 045701 (893-898)

AKU J. Sci. Eng. 22 (2022) 045701 (893-898)

DOI: 10.35414/akufemubid.1024368

Araştırma Makalesi / Research Article

Alüminyum Dış Kafesli Burçlarda Yüzey Pürüzlülüğünün Çıkma Yüklerine Etkisi

Murat GÜNEY¹, Cihan KABOĞLU²¹ Orjin Automotive, Bursa. / Bursa Teknik Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Bursa² Bursa Teknik Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, BursaSorumlu yazar e-posta: muratguney@orjinautomotive.com ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-6005-9595>
cihan.kaboglu@btu.edu.tr ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-6249-0565>

Geliş Tarihi: 16.11.2021

Kabul Tarihi: 10.08.2022

Öz

Bilyalama yöntemi parçalar üzerinde pürüzlülüğü arttırmak, atık gerilmeleri önlemek, yorulma ve çatlak oluşumu gibi durumları engellemek için yapılan bir işlemdir. Çaplama işlemi ise süspansiyon sistemini oluşturan parçalardan birisi olan burçların üretimi sonrasında oluşan ölçü farklılıklarını engellemek ve burcu uygun ölçüye getirmek için uygulanan bir yöntemdir. Bu çalışmada, alüminyum dış kafese sahip olan burçlarda bilyalama ve çaplama işlemleri farklı sıralamalar ve farklı parametreler ile gerçekleştirilerek yüzey pürüzlülükleri farklı burçlar elde edilmiştir. Elde edilen burçlar ile gerçekleştirilen montaj işlemleri sonrasında, salıncak üzerindeki çıkma yükleri incelenerek kayıt altına alınmıştır. Artan yüzey pürüzlülüğüne bağlı olarak burçların yuvalarında kayma esnasında karşılaşılabilecek sürtünme kuvvetleri arttığı için çıkma yüklerinde artış beklenmektedir. Çıkma yükleri incelendiğinde artan yüzey pürüzlülüğünün çıkma yüklerini arttırdığı gözlemlenmiştir.

Anahtar kelimeler

Bilyalama; Çaplama;
Bilya çapı; Çıkma yükü;
Burç

The Effect of Surface Roughness on Push-Out Force in Aluminum Outer Cage Bushings

Abstract

Shot peening is a process that used to increase surface roughness, decrease residual stress and prevent fatigue and crack propagation. On the other hand, gauging is a process to prevent differences between bush dimensions that used in the suspension system. In this study, shot peening and gauging are applied with different sequence and parameters to get bushes with various surface roughness. After assembly process of these bushes, push out forces are recorded. The push out force increases with respect to increasing surface roughness.

Keywords

Shot peening; Gauging;
Diameter of ball; Push-
out force; Bushing

1. Giriş

Araçları oluşturan birçok karmaşık yapının arasında en önemli görevlerden birini süspansiyon sistemi üstlenmektedir. Bu sistem hareketsiz halde, hareket halinde veya farklı yol koşullarında araçların tekerleri üzerinde durmasını veya uygun koşullarda güvenli bir şekilde hareket etmesini sağlamaktadır. Araç süspansiyon sistemini oluşturan parçalardan biri olan salıncak veya tabla olarak adlandırılan parça, araç şasisi ile ön tekerlerin birbiri ile bağlantısını sağlamaktadır. Salıncakın araç ağırlığından gelen dik kuvveti, tekerlerden gelen dik ve yanal kuvvetleri başarılı bir şekilde karşılaması gerekmektedir.

Araçlarda kullanılan salıncaklar hem sürüş güvenliğini hem de sürüş esnasında gerekli konforu sağlaması amacıyla farklı birçok bileşenden oluşmaktadırlar. Genel olarak salıncak gövdesi, burçlar ve rotilden oluşan salıncaklara ait görsel Şekil 1’de gösterildiği gibidir.



Şekil 1. Araçlarda Kullanılan Salıncak

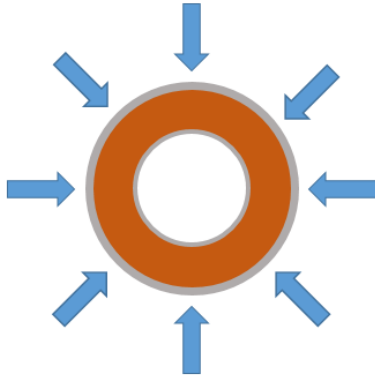
© Afyon Kocatepe Üniversitesi

Salıncağı oluşturan bileşenlerden birisi olan burç, araç şasisinin gereklilikleri doğrultusunda farklı malzemelerden üretilebilmektedir. Üretilmiş olan burçların malzemeleri farklı olsa bile gerekli performansları sağlaması gerekmektedir. Bu performansı sağlayabilmeleri için burç üretimi gerçekleştirilir iken yüzey yıkama, yağ temizliği, vulkanizasyon, çaplama, bilyalama gibi bir dizi işlemlerin gerçekleştirilmesi gereklidir. Alüminyum dış kafese sahip olan araç salıncak burçlarının inceleneceği bu çalışmada, dış kafesin sahip olacağı yüzey pürüzlülüklerinin salıncak montajı sonrasında çıkma yüklerine etkisi ortaya koyulacaktır. Akgünoğlu vd. (2019)'da SolidWorks programı yardımı ile modelledikleri burç ve salıncaklarda çaplama operasyonunun parçanın çıkma yüklerine etkisini incelemişlerdir. Bu çalışmada parçalar arası 179 mikron sıklığın uygun olduğunu saptamışlardır. Nam vd. (2015) havacılık sektöründe kullanılan alüminyum parçalarda oluşabilecek çatlak ve yorulmaların önüne geçmek amacıyla nozül mesafesi, basınç, açı değeri, süre ve sertlik değerlerini değiştirerek yaptıkları bilyalama operasyonunun parça dayanımı üzerine etkisini incelemişlerdir. Belirtilen değişkenler ile yapılan denemeler sonrasında en uygun bilyalama parametreleri 50mm nozül mesafeli, 4 kg/cm^2 basınç değeri, 60° açı ile parça üzerine 130 saniye boyunca gönderilen bilyalar sonucunda elde edilmiştir. Alüminyum implantlarda farklı bilyalama sürelerine göre parçaların korozyon oranlarını incelemişlerdir ve uygun bilyalama süresini 2 dakika olarak saptamışlardır (Iswanto *et al.* 2020). Otomotiv ve havacılık sektöründe kullanılan AA2024 alüminyum malzemenin çinko bilyalar yardımı ile farklı süreler altında sertlik değerlerinin değişimini incelemişlerdir. En yüksek sertlik değeri için 180 saniye bilyalama operasyonu gerekliliğini ortaya koymuşlardır (Cho *et al.* 2012). Zagar ve Grum (2013) EN AW 7075 alüminyum malzemenin farklı sıcaklık değerlerinde bilyalama işlemi sonrasında sertlik değerlerinde ve atık gerilmelerindeki farklılıkları gözlemlemişlerdir. En yüksek sertlik değerlerine ve en az atık gerilme değerlerine 145°C değerinde ulaşmışlardır.

Salıncağa montajı gerçekleştirilen burçlarda deformasyon oluşmadan önce veya yerinden çıkmadan belirli yük değerlerini karşılamaları gerekmektedir. Bu kapsamda ortalama 0.4mm sıklık değerine sahip olan sac salıncak ve alüminyum dış kafesli burç üzerinde farklı özelliklerde bilyalama ve çaplama operasyonları sonrasında salıncaktan çıkma yüklerine olan etkileri incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Sac kalitesi EN 10111:2008 olan salıncağın sahip olduğu kalibre çapına montajı gerçekleştirilen EN AW 6005 kalite dış kafese sahip olan alüminyum burcun yapılan operasyonlar sonrasında sahip olduğu farklı yüzey pürüzlülüklerinde çıkma yüklerine olan etkisini incelemek için burçlar üretilmiştir. Burç hammaddesi olarak kullanılan EN AW 6005 kalite alüminyumun kimyasal bileşenleri, ağırlık yüzdeleri olarak, 0.50-0.90 silisyum, 0.35 demir, 0.30 bakır, 0.50 mangan, 0.40-0.70 magnezyum, 0.30 krom, 0.20 çinko, 0.10 titanyum, geri kalan yüzde olarak da alüminyumdan oluşmaktadır. Çaplama ve bilyalama operasyonlarının sıralaması ve bilyalama esnasında kullanılan bilya çapları değiştirilerek üretilen burçlarla montaj sonrasında çıkma testleri gerçekleştirilmiştir. Çaplama operasyonu, burç üretimi gereği parçada meydana gelen ovalliğin azaltılması ve burcun nihai ölçüsüne getirilmesi için gerçekleştirilen fiziksel bir operasyondur. Çaplama esnasında burcun dış kafesine plastik şekil verilerek burç istenilen ölçülerde üretilmiş olur. Bu operasyon ile ilgili olarak herhangi bir standart olmamasının yanında ürünün dış çapına göre çaplama ölçüleri değişkenlik gösterebilmektedir. Çaplama operasyonu simetrik olarak kapanan çeneler yardımı ile ya da üretilen burcun konik bir kalıp içerisinden geçirilmesiyle gerçekleştirilebilir.



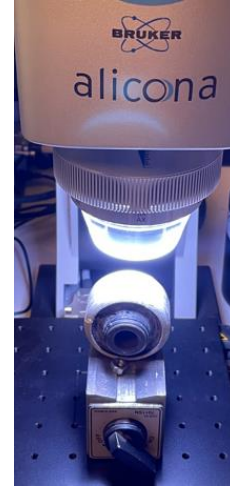
Şekil 2. Çaplama Operasyonuna Ait Görsel

Bilyalama operasyonu ise parça yüzeyine, küre veya küreye yakın geometrik özellikte, belirli şartlar altında gönderilen parçaların ürün üzerinde plastik deformasyon oluşturması ile gerçekleştirilir. Bu operasyon parça yüzey pürüzlülüğünün artırılıp hem sürtünme değerlerinde hem de korozyon, parça üzerindeki atık gerilmeler ve yorulma değerlerinde iyileştirme sağlamak amacıyla gerçekleştirilmektedir. Bilyalama operasyonu için genel olarak kullanılan ISO 26910-1: 2009(E) standardına göre, parçalar üzerine gönderilen küre veya küreye yakın geometrik özellikte olan sert parçalar metal, cam veya seramik olabilmektedirler.

3. Bulgular

Yapılan çalışmada bilyalama operasyonunda metal hammaddeli bilyalar, basınç 6 bar olarak sabit tutularak S110 ($\emptyset 0.30\text{mm}-\emptyset 0.60\text{mm}$) ve S230 ($\emptyset 0.60\text{mm}-\emptyset 0.90\text{mm}$) özelliklerinde 6 ± 1 dakika süre ile parçalar üzerine gönderilerek operasyon gerçekleştirilmektedir. Bilyalama operasyonunda kullanılan S110 özelliğindeki bilyaların çapları 0.30-0.60 mm aralarında değişirken, S230 özelliğindeki bilyaların çapları ise 0.60-0.90 mm arasında değişmektedir. Önce bilyalama daha sonra çaplama operasyonu uygulanan, önce çaplama sonra bilyalama uygulanan ve bilya çapı artırılarak önce çaplama sonra bilyalama yapılan burçların yüzey pürüzlülük ölçümleri ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri, ISO 25178-600 standardına uygun ölçüm yapabilen Bruker Alicona isimli yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazında Şekil 2’de gösterildiği gibi gerçekleştirilmiştir. Parçalarda, belirli bir alan üzerindeki yüzey topografyasına göre ölçüm yaparak belirlenen alanda milyonlarca veriyi

bir araya getirip, ortalama olarak yüksekliğini hesaplayan bu cihazda yüzey pürüzlülük değerleri standartlara uygun olarak ölçülmüştür.



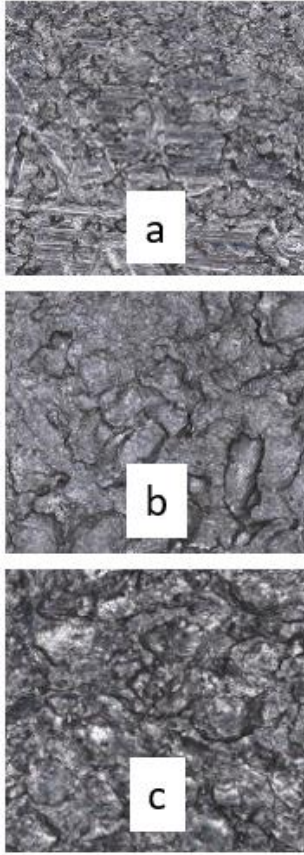
Şekil 3. İşlem Uygulanan Burçların Yüzey Pürüzlülük Ölçümleri

Yüzey pürüzlülük ölçümü gerçekleştirilirken, seçilen belirli bir alan (yaklaşık olarak 50mmx50mm) üzerinde toplamda 15 milyona yaklaşan bir veri ile ortalama yükseklik değerleri (S_a) ölçülmüştür. Belirtilen alan üzerinde yapılan ölçümler dikkate alındığında mikrometre cinsinden yüzey pürüzlülükleri Çizelge 1’de gösterildiği gibi elde edilmiştir.

Çizelge 1. Yapılan İşlemler Sonrası Yüzey Pürüzlülük Değerleri

Operasyonlar	Yüzey Pürüzlülüğü ($S_a-\mu\text{m}$)	Standart Sapma
Bilyalama + Çaplama	7.858	9.968
Çaplama + Bilyalama S110 ($\emptyset 0.30-\emptyset 0.60\text{mm}$)	11.522	14.444
Çaplama + Bilyalama S230 ($\emptyset 0.60-\emptyset 0.90\text{mm}$)	13.609	16.975

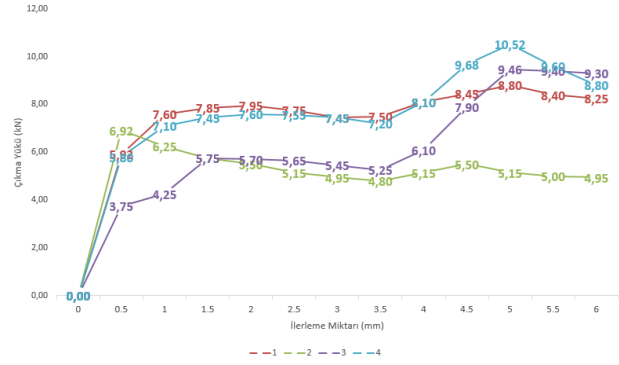
Ayrıca yüzey pürüzlülüğü ölçülen cihazın seçilen alanın topografik görüntülerini verme özelliği de kullanılarak görüntüler alınmıştır. Bilyalama ve çaplama, çaplama ve bilyalama (S110), çaplama ve bilyalama (S230) şeklinde uygulanan işlemler sonrası alınan görüntüler sırasıyla Şekil 4’te gösterilmiştir.



Şekil 4. Yüzeylerin Topografik Görüntüleri

Alınan görüntüler incelendiğinde yüzeylerde oluşan girinti ve çıkıntıların a ile gösterilen şekilden c ile gösterilen şekle doğru daha derinleştiği ve birim alanda daha yoğunlaştığı gözlemlenmektedir. Bu görüntüler de a ile gösterilen şekilden c ile gösterilen şekle doğru gidildikçe yüzey pürüzlülüğünün arttığını desteklemektedir. Ayrıca yüzeyler üzerinde yapılan sertlik değeri ölçümleri sonrasında bilya büyüklüğü artışı sonrası; yani $\varnothing 0.30$ - $\varnothing 0.60$ çaplarında olan S110 bilyalar sonrası sertlik 60HB civarlarında iken, $\varnothing 0.60$ - $\varnothing 0.90$ çaplarında olan S230 bilyalar kullanıldığında sertlik 65HB değerlerine çıkmıştır. Yaklaşık %8 oranında sertlik artışı da saptanmıştır.

Yüzey pürüzlülük ölçümleri sonrasında burçların salıncaklara montajları gerçekleştirilmiştir. Öncelikle bilyalama sonrasında çaplama yapılan ve önce çaplama sonrasında bilyalama yapılan burçlara ait çıkma yükü grafikleri Şekil 5'te sırasıyla gösterilmiştir.



Şekil 5. Bilyalama + Çaplama ve Çaplama + Bilyalama Operasyonları Sonrası Çıkma Yüğü Grafikleri

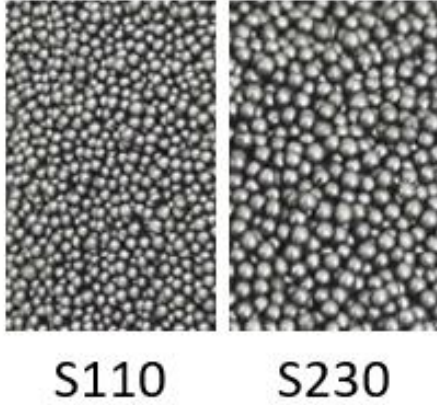
Bu sonuçlar incelendiğinde çıkma testi esnasında benzer yükler elde edilmiş olup, sonuçlar Çizelge 2'de detaylı şekilde gösterilmiştir. Çizelgede verilen çıkma yükleri, her bir parça için grafiğin en yüksek noktasına sahip olan değerlerdir.

Çizelge 2. Bilyalama + Çaplama ve Çaplama + Bilyalama Operasyonları Sonrası Çıkma Yüğü Değerleri

Operasyonlar	Numara	Burç Çapı	Salıncak Çapı	Çıkma Yüğü (kN)	Ortalama Çıkma Yüğü (kN)	Standart Sapma (kN)
Bilyalama + Çaplama	1-Turuncu	$\varnothing 56.1$ 0- $\varnothing 56.0$	$\varnothing 55.7$ 5- $\varnothing 55.8$ 5	8.80 kN	7.86 kN	1.329 kN
	2-Gri	$\varnothing 56.0$ 0- $\varnothing 56.0$	$\varnothing 55.7$ 5- $\varnothing 55.8$ 5	6.92 kN		
Çaplama + Bilyalama	3-Sarı	$\varnothing 56.1$ 0- $\varnothing 56.3$ 0	$\varnothing 55.7$ 5- $\varnothing 55.8$ 5	9.46 kN	9.99 kN	0.749 kN
	4-Mavi	$\varnothing 56.1$ 0- $\varnothing 56.3$ 0	$\varnothing 55.7$ 5- $\varnothing 55.8$ 5	10.52 kN		

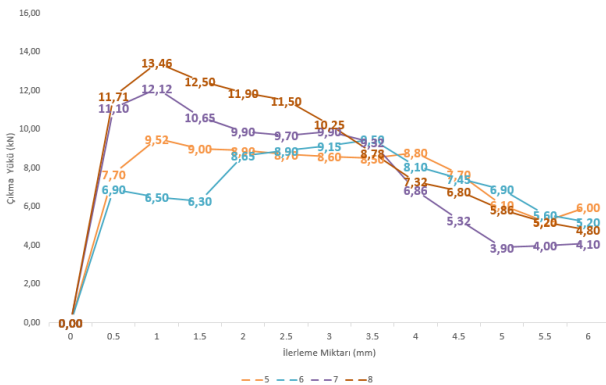
Test sonuçları incelendiğinde çaplama + bilyalama operasyonunun çıkma yüklerini daha yüksek değerlere taşımaya sonrasında uygun operasyon olarak çaplama + bilyalama operasyonu seçilmiştir. Ancak bilyalama operasyonunda kullanılan bilyaların farklı çaplarda olmasının hem yüzey pürüzlülüğüne hem de çıkma yüklerine etkisini incelemek adına çaplama operasyonu sonrası farklı bilya çaplarında bilyalar seçilerek bilyalama

operasyonu gerçekleştirilmiştir. Bilyalama işlemi S110 ve S230 olarak adlandırılan ve standart olarak metal hammaddeli olup çapları belirli değerler arasında değişkenlik gösteren bilyalar kullanılarak yapılmıştır. S110 kodlu bilyaların çapları 0.30mm ile 0.60mm arasında değişirken, S230 kodlu bilyaların çapları ise 0.60mm ile 0.90mm arasında değişmektedir. Bilyalama işleminde kullanılan metal bilyalara ait görseller Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6. Farklı Çaptaki Bilya Görselleri

Yapılan bilyalama operasyonu sonrasında montajı gerçekleştirilen burçların çıkma değerleri kaydedilmiştir. S110 (Ø0.30mm-Ø0.60mm) ve S230 (Ø0.60mm-Ø0.90mm) çaplarındaki bilyalar ile gerçekleştirilen bilyalama operasyonu sonrasında parçaların çıkma yükü grafikleri Şekil 7'de gösterildiği şekliyle elde edilmiştir.



Şekil 7. Farklı Çaplarda Bilya Kullanılarak Elde Edilen Çıkma Yükü Grafikleri

Farklı çaplarda bilyalar kullanılarak yapılan bilyalama işlemi sonrasında elde edilen çıkma yükleri Çizelge 3'te detaylı şekliyle gösterilmiştir. Yine bu çizelgedeki değerler, grafiklerin en üst noktalarına sahip olan değerlerdir.

Çizelge 3. Çaplama + S110 ve S230 Bilyalar ile Gerçekleştirilen Bilyalama Operasyonları Sonrası Çıkma Yükleri

Operasyonl ar	Numar a	Burç Çapı	Salınc ak Çapı	Çıkm a Yükle ri	Ortala ma Çıkma Yükle ri	Standart Sapma
Çaplama+ Bilyalama S110 (Ø0.30-Ø0.60mm)	5-Yeşil	Ø56.1	Ø55.7	9.52 kN	9.51 kN	0.001 kN
		0-	5-			
		Ø56.3	Ø55.8			
Çaplama+ Bilyalama S230 (Ø0.60-Ø0.90mm)	6-Mavi	Ø56.1	Ø55.7	9.50 kN	12.79 kN	0.947 kN
		0-	5-			
		Ø56.3	Ø55.8			
Çaplama+ Bilyalama S230 (Ø0.60-Ø0.90mm)	7-Sarı	Ø56.1	Ø55.7	12.12 kN	12.79 kN	0.947 kN
		0-	5-			
		Ø56.3	Ø55.8			
Çaplama+ Bilyalama S230 (Ø0.60-Ø0.90mm)	8-Koyu Yeşil	Ø56.1	Ø55.7	13.46 kN	12.79 kN	0.947 kN
		0-	5-			
		Ø56.3	Ø55.8			

4. Tartışma ve Sonuç

Gerçekleştirilen çalışma sonrasında alüminyum dış kafese sahip olan burçlarda yapılan fiziksel işlemlerin ardından burçların çıkma yüküne olan etkileri gözlemlenmiştir. Yapılan bu işlemlerin sıralaması, burçlarda meydana gelen sürtünme kuvvetlerini etkilediği için çıkma yüklerinde de farklı etkiler yaratmıştır.

Önce bilyalama sonra çaplama operasyonu gerçekleştirildiğinde, bilyalama sonrası oluşan pürüzlü yüzey çaplama sonrası pürüzlülüğünü bir miktar kaybetmektedir. Ancak bilyalama operasyonu çaplamadan sonra yapılır ise çaplama sonrası yüzeyde azalan pürüzlülük, bilyalama ile %45 oranlarında artış göstermektedir. Bu durumun sonucu olarak burç çıkma yükleri de %27 oranında artış göstermiştir. Bu sebeple uygun çıkma yükü değeri elde edebilmek için önce çaplama daha sonra bilyalama işlemi gerçekleştirilmelidir

Çalışmada gerçekleştirilen çaplama ve bilyalama operasyonlarına ek olarak, bilyalama işleminde sadece bilya çapını değiştirerek yapılan çalışmalarda, bilya çapında artış olduğunda yüzeyde meydana gelen girinti ve çıkıntılarının daha derin

oluşması ve yüzey pürüzlülüğünün %18 seviyelerinde artış göstermesi sayesinde çıkma yükleri de bununla paralel olarak %34 oranında artış kaydetmiştir.

Teşekkür

Çalışmanın parça temini, ölçümleri, montaj aşamaları ve çıkma yükü değerlerinin elde edilmesi Orjin Automotive katkılarıyla gerçekleştirilmiştir.

5. Kaynaklar

Akgünoğlu, A., & Erzincanlı, F., 2019. Salıncak Kolu Burçlarının Yüksek Çıkma Yükünü Etkileyen Parametrelerin İncelenmesi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, **7(1)**, 729–747.

Cho, K.T., Song, K., Oh, S.H., Lee, Y.K., Lim, K.M., Lee, W.B., 2012. Surface hardening of aluminum alloy by shot peening treatment with Zn based ball. *Materials Science and Engineering: A*, **543**, 44–49.

Dülek, E., Orman, Ş., Karataş, Ç., Sarıtaş, S., 2005. Bilyalı Dövme Parametrelerinin Ç1020 Çeliğinin Yorulma Dayanımına Etkisi ve Oluşan Kalıcı Gerilmenin Katman Kaldırma Yöntemi ile Araştırılması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, **20(3)**, 289-295.

Efe, Y., Karademir, I., Husem, F., Maleki, E., Karimbaev, R., Amanov, A., Unal, O., 2020. Enhancement in microstructural and mechanical performance of AA7075 aluminum alloy via severe shot peening and ultrasonic nanocrystal surface modification. *Applied Surface Science*, **528(0)**, 146922.

Goodarzi, A., Khajepour, A., 2017. Vehicle Suspension System Technology and Design, Editor: Khajepour A., Waterloo, Kanada, 6-9.

Iswanto, P.T., Yaqin, R.I., Akhyar, Sadida, H.M., 2020. Influence of shot peening on surface properties and corrosion resistance of implant material AISI 316L. *Metabk*, **59(3)**, 309-312.

Nam, Y.S., Jeong, Y.I., Shin, B.C., Byun, J.H., 2015. Enhancing surface layer properties of an aircraft aluminum alloy by shot peening using response surface methodology. *Materials & Design*, **83**, 566–576.

Oguri, K., 2011. Fatigue life enhancement of aluminum alloy for aircraft by Fine Particle Shot Peening (FPSP). *Journal of Materials Processing Technology*, **211(8)**, 1395–1399.

Öncü, İ.C., Dova, A., 2018. Titreşim Sönümlenme Elemanı Olan Kauçuk Burçta Çaplama İşleminin Ömre Etkisinin Sonlu Elemanlar Analizi ve Deneysel Çalışma İle İncelenmesi. *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, **6-2**, 11-18.

Žagar, S., Grum, J., 2013. Surface Modification Analysis after Shot Peening of AA 7075 in Different States. *Materials Science Forum*, **768–769**, 519–525.

Žagar, S., Markoli, B., Naglič, I., Šturm, R., 2021. The Influence of Age Hardening and Shot Peening on the Surface Properties of 7075 Aluminium Alloy. *Materials*, **14(9)**, 2220.

İnternet Kaynakları

1- <https://www.cedengineering.com>, (28.06.2021)

AKÜ FEMÜBİD 22 (2022) 045702 (899-910)

AKU J. Sci.Eng. 22 (2022) 045702 (899-910)

DOI: 10.35414/ akufemubid.1112777

Araştırma Makalesi / Research Article

Sentetik Mika Takviyeli Poli-tetra-flor-etilen Polimer Kompozitin Tribolojik Özelliklerine Uygulanan Yükün ve Kayma Hızının Etkisinin Belirlenmesi

Ahmet MASLAVİ¹, Hüseyin ÜNAL², Alim KAŞTAN^{*3}¹Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye.²Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye.³*Düden Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi, Kepez/Antalya, Türkiye.

e-posta: ahmad.abdulkarim@ogr.sakarya.edu.tr

e-posta: unal@subu.edu.tr

* Sorumlu yazar e-posta: kastanalim@gmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9571-0640>ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0521-6647>ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6514-3796>

Geliş Tarihi: 06.05.2022

Kabul Tarihi: 23.08.2022

Öz

Saf PTFE endüstride düşük basınç keçeleri olarak kullanıldığında aşırı aşınma göstermektedir. Bu aşınma problemini azaltmak için sentetik mika (SM) takviyeli poli-tetra-flor-etilen (PTFE) polimer kompoziti alternatif malzeme olarak seçilmiş ve tribolojik performansları araştırılmıştır. Tribolojik deneyler çelik disk üzerinde kompozit pim olacak şekilde dizayn edilmiş aşınma test cihazında gerçekleştirilmiştir. Deneylerde 10, 20, 40 ve 100 N olmak üzere dört farklı yük ve iki hız (0.5 ve 1.5 m/s) kullanılmıştır. Deneyler sonucunda sentetik mika takviyeli PTFE kompozitin (PTFE-SM) sürtünme katsayısı, pim ve çelik disk sıcaklığı ile spesifik aşınma hızı belirlenmiştir. Uygulanan yükün ve hızın artması ile pim ve çelik disk yüzey sıcaklıkları artarken spesifik aşınma hızı da artmış fakat sürtünme katsayısı azalmıştır. Kompozitin en düşük ve en yüksek sürtünme katsayısı değerleri sırasıyla 0.17 ve 0.25 olarak tespit edilmiştir. Benzer şekilde spesifik aşınma hızı aralığı olarak en düşük $0.217 \times 10^{-15} \text{ m}^2/\text{N}$ ve en yüksek $25 \times 10^{-15} \text{ m}^2/\text{N}$ olarak belirlenmiştir. Kompozitin aşınma yüzey incelemeleri optik mikroskop ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Mikroyapı incelemeleri sonucunda çelik disk yüzeyinde ince film tabakası oluştuğu belirlenirken 100 N yük ve 1.5 m/s kayma hızında kompozit pim yüzeyinde çatlaklar olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler

PTFE; Sentetik mika;
Aşınma hızı; Sürtünme
katsayısı; Kompozit

Determination of the Effect of Applied Load and Sliding Speed on the Tribological Properties of Synthetic Mica Reinforced Poly-Tetra-Fluoro-Ethylene Polymer Composite

Abstract

Pure PTFE shows extreme wear when used in industry as low pressure seals. In order to reduce this wear problem, synthetic mica (SM) reinforced poly-tetra-fluoro-ethylene (PTFE) polymer composite was used as an alternative material and its tribological performances were investigated. In this study, tribological performances of synthetic mica (SM) reinforced poly-tetra-fluoro-ethylene (PTFE) polymer composite were investigated. Tribological experiments were carried out in a composite pin-on-steel disc (P-o-D) wear test device designed as a composite pin on a steel disc. Four different loads of 10, 20, 40 and 100 N and two sliding speeds (0.5 and 1.5 m/s) were used in the experiments. As a result of the experiments, the friction coefficient, pin and steel disc temperature and specific wear rate of the synthetic mica reinforced PTFE composite (PTFE-SM) were determined. As the applied load and sliding speed increased, the pin and steel disc surface temperatures increased, while the specific wear rate increased, but the friction coefficient decreased. The lowest and highest friction coefficient values of the composite were determined as 0.17 and 0.25, respectively. Similarly, the minimum specific wear rate range was determined as $0.217 \times 10^{-15} \text{ m}^2/\text{N}$ and the highest $25 \times 10^{-15} \text{ m}^2/\text{N}$. Wear surface examinations of the composite were carried out using optical microscope and scanning electron microscope (SEM). As a result of the microstructure investigations, it was determined that a thin film

Keywords

PTFE; Synthetic mica;
Wear rate; Friction
coefficient; Composite

layer was formed on the surface of the steel disc, and cracks were observed on the surface of the composite pin at the load of 100 N and a sliding speed of 1.5 m/s.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi.

1. Giriş

Havacılık, uzay, otomobil, makine ve gıda alanlarında teknolojinin hızlı gelişimi ile birlikte yüksek performanslı polimerler ve polimer kompozitler metalik malzemelerin yerini almaya başlamışlardır (Song *et al.* 2012). Polimer kompozitler, polimer modifikasyonu için çok önemlidir. Çünkü kolaylıkla işlenebilirler ve değişken özelliklere sahip malzemelerin üretilmesi için sınırsız olanaklar sunarlar (Rudresh *et al.* 2017).

Poli-tetra-flor-etilen (PTFE), 20.000-200.000 tekrar eden tetra-flor-etilen (CF₄) biriminden oluşan düz doğrusal zincirli bir polimer olup beyaz renkli yumuşak bir yapıya sahiptir (Friedrich and Schlarb 2008). Genellikle piyasada toz formunda satılan PTFE, termoplastik özellik gösteren bir polimer olup 327 °C'de yüksek ergime sıcaklığına sahip bir polimerdir. Herhangi bir katkı maddesi gerektirmeden endüstriyel ürünler üretilebilir ve mamul olarak tek başına kullanılabilir. Ayrıca birçok uygulamada katkı malzemesi olarak ta kullanılmaktadır (Xanthos 2010). PTFE polimeri, ısıya ve birçok kimyasala dayanıklılık göstermekle birlikte az nem alma ve iyi dielektrik özellikler göstermektedir. PTFE polimerinin sürtünme katsayısı diğer polimer malzemelere göre oldukça düşüktür ve kimyasal yapısı 260 °C üzerine çıktığında bozulmaya başlamaktadır (Bozan vd. 2014). PTFE, yüksek ısıya dayanıklı conta, keçe, bant, vana, boru, laboratuvar cihazları, filtre, diyafram, kablo yalıtkanı, izolatör, düşük sürtünmeli yataklar, burçlar, köprü ve binalar için kayar yataklar, mutfak araç ve gereçleri, pnömatik ve hidrolik makinaların bazı parçalarının aksamlarında kullanılır (Hatipoğlu 2014). Bunlara ilaveten PTFE polimeri, sızdırmazlık uygulamaları için de birçok avantaja sahiptir. Yüksek ısıl kararlılık, birçok kimyasala direnç, düşük sürtünme katsayısı, kendi kendini yağlama özelliği ve yüksek ergime sıcaklığına sahiptir. PTFE, kuru ortam şartlarında çalışırken bile, herhangi bir yapışma etkisine maruz kalmadığından dinamik sızdırmazlık uygulamalarında kullanım için ideal bir malzemedir (www.fluorotec.com)



Şekil 1. PTFE keçeler

PTFE polimerinin farklı çalışma ortamlarında kullanılabilmesi ve endüstrinin beklediği özellikleri sağlayabilmesi için bünyesine cam elyaf, karbon elyaf, grafit, bronz, molibden di-sülfid ve mika gibi bazı katkı maddeleri katılır. Mika katkılardan sentetik mika diğer katkı malzemelerine göre bazı farklılıklar göstermektedir.

Sentetik mika, bazı kimyasalların yüksek sıcaklıkta eritilmesi ve soğutulması sonucunda kristalize edilerek üretilir. Mikanın tek kristalinin moleküler formülü $KMg_3(AlSi_3O_{10})F_2$ 'dir. Şeffaf kristalin yapıya sahip olan sentetik mika beyaz renktedir. Sentetik mika, farklı yöntemlerle işlenerek ısıya dayanıklı çeşitli ürünlere dönüştürülebilir. Aynı zamanda elektriksel yalıtım, ısıya dayanıklılık, asit ve alkali kararlılığı gibi üstün özelliklere sahiptir. Ayrıca yüksek elastiklik, tokluk, kayganlık gibi diğer bazı özellikleri de çok iyi olan sentetik mikanın kaplanması kolaydır ve diğer malzemelere iyi yapışır. Sentetik mika doğal mikaya göre daha yüksek sıcaklığa dayanıklıdır. Örneğin 1000 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda uzun süre çalışabilir. Herhangi bir organik yapıştırıcı eklemeyen mika pulları birbirine yüzey kuvvetiyle yapışabilir, daha yüksek ergime sıcaklığı ve renksizlik derecesine sahiptir. Sentetik mikanın küçük kristal pullar halinde öğütülüp farklı boyutlara göre sınıflandırılması ile plastik, kauçuk ve boya vb. gibi endüstrinin ihtiyacı olan değişik yerlerde kullanılabilen bir dolgu maddesi üretilir (Hualing and Jun 2008). PTFE içerisine çeşitli dolgu maddelerinin

ilave edilmesi ile özelliklerinin bir kısmı veya tamamı iyileştirilebilir.

Literatürde PTFE polimeri ve PTFE polimer ana matrisine katılan bazı katkı malzemelerinden oluşan PTFE esaslı kompozitler ile ilgili daha önce yapılmış birçok çalışmaya rastlanmıştır. Rudresh *et al.* 2017, Alam *et al.* 2022, Wang *et al.* 2010, Riddar and Rudolphi 2014, Shojaei and Gholamalipour 2011, Heipl and Murrenhoff 2015, Okularczyk and Baranowski 2009, Soon *et al.* 2009, Ünal vd. 2010, Charfi *et al.* 2021, Sui *et al.* 1999, Khedkar *et al.* 2002, Zhang *et al.* 2008, Oshita *et al.* 2017, Meng 2020, Ünal ve Mimaroglu 2007, Ünal ve Yetkin 2010, Deaconescu and Deaconescu 2020, Kadioğlu 2003 tarafından yapılan bazı araştırmalar bunlardan bazılarıdır. Ancak sentetik mika katkılı PTFE esaslı kompozitler konusunda çok az literatüre rastlanmıştır. Wang *et al.* (2010) sentetik mika katkılı polipropilen kompozitlerin mekanik özellikleri incelemişlerdir. Çalışmaları sonucunda polipropilen polimerine ilave edilen sentetik mika katkısının kompozitin mukavemetini çok az artırdığını darbe mukavemeti değerlerini ise önemli oranda azalttığını gözlemlemişlerdir. Souza *et al.* 2014, Souza *et al.* 2012. Souza *et al.* 2013 polilaktik asit (PLA) polimerinin termal, reolojik ve termo-mekanik özelliklerine sentetik mika katkısının etkisini incelemişlerdir. Çalışmaları sonucunda mika katkının PLA esaslı kompozitin termal stabilitesini artırdığını yani camsı geçiş sıcaklığını artırdığını,

depolama ve kayıp modülü gibi termo-mekanik değerlerini artırdığını tespit etmişlerdir. Yapılan literatür araştırmalarında PTFE polimeri ve sentetik mika katkının tribolojik davranışları üzerine herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmada sentetik mika takviyeli poli-tetra-flor-etilen polimer kompozitin aşınma ve sürtünme davranışlarına uygulanan yükün ve kayma hızının etkisini incelemek amaçlanırken aynı zamanda literatürde görülen eksikliğe ışık tutmak amaçlanmıştır. Triboloji deneylerinde kayma hızı olarak 0.5 ve 1.5 m/s kayma hızları kullanılırken 10N, 20 N,40 N ve 100 N gibi dört farklı yük kullanılmıştır. Deneyler sonucunda kayma hızının ve uygulanan yüklerin sürtünme katsayısı ve aşınma hızına etkileri incelenmiştir. Disk ve pim aşınma yüzeyleri optik mikroskop ve taramalı elektron mikroskobu kullanılarak incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Malzeme

Aşınma deneylerinde kullanılan sentetik mika takviyeli poli-tetra-flor-etilen polimer kompoziti Fluorosint 207 ticari koduyla 10 mm çapında ve 1000 mm uzunluğunda çubuk formunda Mitsubishi Chemical Advanced Materials firmasından ABD'den temin edilmiştir. Tribolojik deneylerde kullanılan sentetik mika takviyeli poli-tetra-flor-etilen kompozitinin fiziksel, mekanik ve termal özellikleri çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Sentetik mika takviyeli PTFE kompozitin fiziksel, mekanik ve termal özellikleri

Malzeme Özellik	Birimi	PTFE-SM Birimi	Test standardı
Yoğunluk	2.30	g/cm ³	ASTM D792
Su emme, (23 °C'de) doyma	0.20	%	ASTM D570(2)
Çekme mukavemeti	10.3	MPa	ASTM D638
Elastiklik modülü (çekmede)	1450	MPa	ASTM D638
Kopmadaki % uzama	>50	%	ASTM D638
Eğme mukavemeti	13.8	MPa	ASTM D790
Elastiklik modülü (eğmede)	2410	MPa	ASTM D790
İzod çentik darbe mukavemeti	0.534	j/cm	ASTM D256 Tip A
Sertlik	50	Rockwell R	ASTM D785
Ergime sıcaklığı	327	°C	ASTM D3418
Maksimum sürekli çalışma sıcaklığı 20000saat	260	°C	-

2.2. Aşınma Testleri

Triboloji deneyleri, oda sıcaklığında ve kuru kayma şartlarında Şekil 2'de resimleri verilen pim-disk aşınma test cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Aşınma deneylerinde 6 mm çapında ve 50 mm uzunluğunda test numuneleri kullanılmaktadır. 10 mm çapındaki PTFE esaslı sentetik mika katkılı polimer kompoziti 6 mm çapına düşürmek için revolver torna tezgahı kullanılmıştır. Karşı disk malzeme olarak AISI 304 paslanmaz çelik disk

kullanılmıştır. Çelik disk malzemesi 90 mm çapında ve 5 mm kalınlığında olacak şekilde önce kesilmiş sonra alın ve silindirik yüzey tornalaması yapılmış ve daha sonrasında ise düzlem yüzey taşlama cihazında taşlanmıştır. Taşlama yapılan diskin yüzey pürüzlülüğü ölçülmüş ve yüzey pürüzlülüğü ortalama 0,35-0,48 µm olarak ölçülmüştür. Her bir aşınma deneyi öncesinde çelik disk ve polimer kompozit pim yüzeyleri asetonla temizlenip kurutulmuştur.



Şekil 2. Pim-disk aşınma test cihazı

Çizelge 2'de triboloji deneylerinde kullanılan sentetik mika katkılı PTFE polimer kompozit malzemeler için aşınma test proses şartları verilmiştir. Her bir aşınma deneyi öncesinde polimer kompozit pim ağırlığı (m_1) ve aşınma deneyi sonrası pim ağırlığı (m_2) 0,0001 g hassasiyetli hassas terazi kullanılarak ölçülmüş ve ağırlık kaybı Δm yani ($m_1 - m_2$) tespit edilmiştir. PTFE esaslı kompozit

malzemenin aşınma oranı (Wr) ise aşağıda verilen Eşitlik (1)'deki formül kullanılarak hesaplanmıştır. Formülde, S ; kayma yolunu (m), ρ ; PTFE kompozitin yoğunluğunu (g/cm^3) ve F ise; uygulanan yükü (N) göstermektedir.

$$Wr = \frac{\Delta m}{S * \rho * F} \quad (1)$$

Çizelge 2. Aşınma deneyi proses parametreleri

Malzeme	Test Sıcaklığı (°C)	Kayma yolu (m)	Nem (%)	Uygulanan Yük (N)	Kayma hızı (m/s)
PTFE-SM	22±1	2000	52±3	10	
				20	0.5
				40	1.5
				100	

Polimer kompozit numunelerin sürtünme katsayısı değerlerinin ölçümleri için pim-disk aşınma cihazı

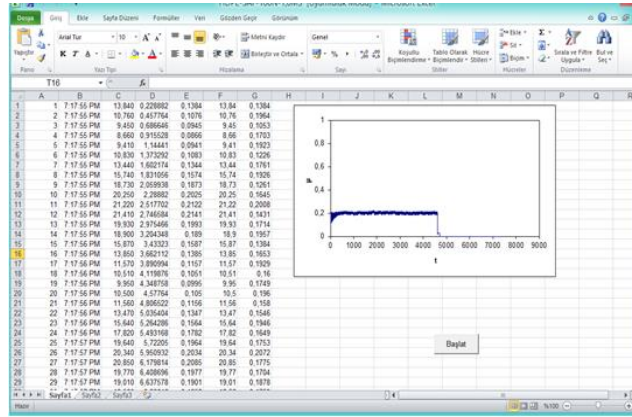
dizayn edilmiştir. Aşınma deney cihazı, makinenin ana gövdesi üzerine monte edilmiş 2.2 kW gücünde

bir elektrik motoru, bir yük kolu, bir elektronik yük hücresi (load-cell) ve verilerin alındığı bir masaüstü bilgisayardan oluşmuştur. Aşınma cihazının ana gövdesinde dönen bir disk vardır. Bu disk, aşınma cihazına enerji veren güçlü bir elektrik motoru sayesinde dönmektedir. Diskin üzerinde deneyde kullanılan paslanmaz çelik disk M10 bir vida yardımıyla bağlanmaktadır. Deneylerde kullanılacak sentetik mika katkılı PTFE polimer kompozit pim numunesi 6 mm çapa ve 50 mm uzunluğuna getirilmiş olup aşınma test düzeneğinde olan kola bağlanır. Aşınma cihazı çalıştırıldıktan sonra kola bağlanan PTFE kompozit pim numunesi disk üzerine yavaşça bırakılır. Pim numunesinin hareket halindeki diske temas etmesi sonucu oluşan sürtünmeyle birlikte numune bağlı olan kol aparatı dönüş yönüne göre hareket eder. Bu harekete yanal kuvvet olarak adlandırılır. Bu yanal kuvvet aşınma cihazına bağlı olan bir yük hücresi ile ölçülüp bilgisayara aktarılarak excel programında kaydedilir. Aşınma cihazı, aşınma yapılacak olan deneyler için dakikada yaklaşık 999 veri alınabilecek şekilde ayarlanmıştır. Deney süresince yanal yükü ölçen

minimum 17.000 veri alınmıştır. Ölçülen yanal yük verileri bilgisayarda Excel programında bir sütuna kaydedilmiştir. Daha sonra yanal yük verileri deney sırasında kullanılan yüke bölünerek sürtünme katsayısı hesaplanmıştır. Excell programında sürtünme katsayısı-zaman ilişkisi grafikleri Şekil 3'te gösterildiği gibi elde edilmiştir. Deneylerde kullanılan PTFE kompozit pim malzemesi ile paslanmaz çelik disk arasındaki sürtünme katsayısı (μ), ölçülen yanal kuvvetin uygulanan normal kuvvete oranı olup, Eşitlik (2)'de verilen formül ile hesaplanmıştır. Formülde μ : sürtünme katsayısını, F_s : sürtünme kuvvetini (N) ve F_N ise normal kuvveti (N) göstermektedir.

$$\mu = \frac{F_s}{F_N} \quad (2)$$

Pim yüzey sıcaklıkları kızılötesi termometre ile deney süresince ölçülerek bilgisayara kaydedilmiştir. Çelik disk yüzey pürüzlülüğü ölçümü için PCE-RT 2300 marka cihaz kullanılmıştır.



Şekil 3. Aşınma deneyinden excell formatında elde edilen sürtünme katsayısı-zaman grafiği

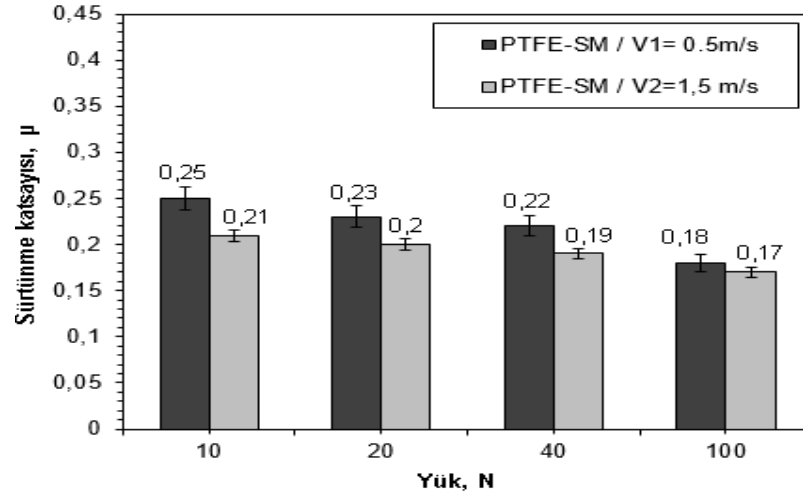
3. Bulgular ve Tartışma

Şekil 4'te sentetik mika takviyeli PTFE polimer kompozitin sürtünme katsayısının farklı yük ve hızlardaki değişimi verilmiştir. Aşındırma yükünün ve kayma hızının artması ile sürtünme katsayısında azalma görülmüştür. En yüksek sürtünme katsayısı 0.5 m/s hızda 0.25, en düşük sürtünme katsayısı ise 1.5 m/s hızda 0.17 olarak hesaplanmıştır. 0.5 m/s kayma hızında aşındırma yükünün %100 arttırılması ile sürtünme katsayısında %8, %400 arttırılması ile %12 ve %1000 arttırılması ile %28 azalma olmuştur.

Kayma hızının 1.5 m/s olduğu deneylerde ise aşındırma yükünün %100 arttırılması ile sürtünme katsayısında %5, %400 arttırılması ile %9 ve %1000 arttırılması ile %19 azalma görülmüştür. Benzer yüklerde yapılan deney sonuçları incelendiğinde daha yüksek hızlarda yapılan deneyler de yükün artması ile sürtünme katsayısında daha az azalma olduğu söylenebilir. 10 N aşındırma yükü altında yapılan deneyde kayma hızı 0.5 m/s'den 10 m/s'ye arttırılması ile sürtünme katsayısı değerinde 0.4, 20 N yükte 0.3, 40 N yükte 0.3 ve 100 N yükte ise 0.1 azalma olmuştur. Sui et al. (1999) PTFE contaların

sürtünme ve aşınma davranışları üzerine yapmış oldukları çalışmada 2000-6000 rpm arasındaki dönüş hızlarında artan temas gerilimi ve kayma hızı ile sürtünme katsayısında azalma olduğunu belirtmişlerdir. Zhang *et al.* (2008) PTFE düşük yüzey enerjisi ve zayıf sürünme direncinden dolayı uygulanan aşındırma kuvveti ile matristen kolaylıkla ayrılır ve kopan parçalar karşı disk yüzeyinde sürekli transfer film tabakası oluşturulduğunu ifade

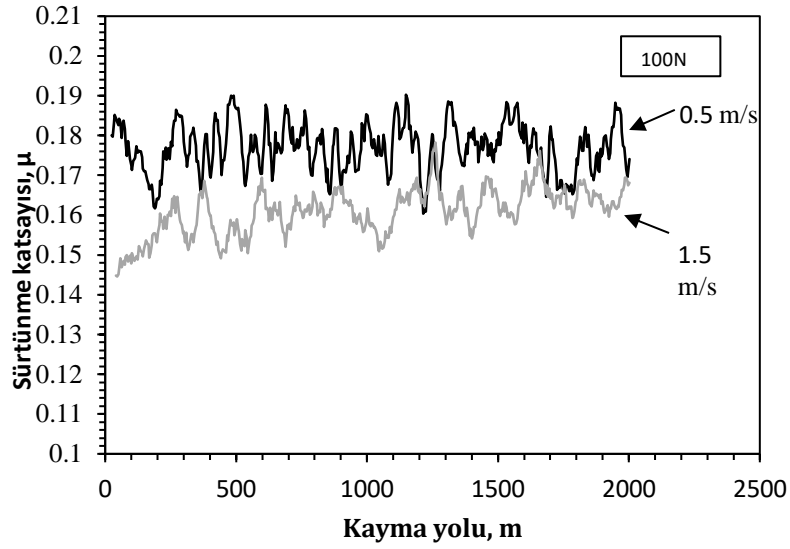
etmişlerdir. Ünal ve Mimaroglu (2010) saf PTFE ve PTFE+%20GFR kompozitlerin aşınma davranışını incelemişlerdir. Saf PTFE'nin 40 N aşındırma yükünde 0.14 civarında olan sürtünme katsayısının PTFE+%20GFR kompozitlerinde ise 0.12 değerine düştüğünü belirtmişlerdir. Ayrıca sürtünme katsayısının artan yük ile birlikte azaldığını belirtmişlerdir.



Şekil 4. Sentetik mika takviyeli PTFE polimer kompozitin sürtünme katsayısının aşındırma yükü- kayma hızı ilişkisi

Şekil 5'te sentetik mika takviyeli PTFE polimer kompozitin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi görülmektedir. Genel olarak polimer malzemelerin sürtünme grafikleri başlangıç aşaması ve sürtünmenin daha stabil olduğu ikinci aşamadan oluşmaktadır. 0.5 m/s kayma hızında yapılan deneyin ilk başlangıcında sürtünme katsayısı daha kararsız ve sürtünme katsayısı grafiğinin pikleri daha geniştir. 400 m'den sonra sürtünme grafiğinin piklerinin daraldığı görülmektedir. Bu durum sürtünme yüzeyinde oluşan koruyucu film tabakasından kaynaklanmaktadır. Şekil 9'da çelik disk yüzeyinde oluşan koruyucu film tabakası açık olarak görülmektedir. Sürtünme katsayısı kayma yolu boyunca 0.165-0.185 aralığında değişkenlik göstermiştir. 1.5 m/s kayma hızında yapılan deneyin sürtünme katsayısı grafikten de anlaşıldığı üzere 0.5 m/s hıza göre daha düşüktür. Deney

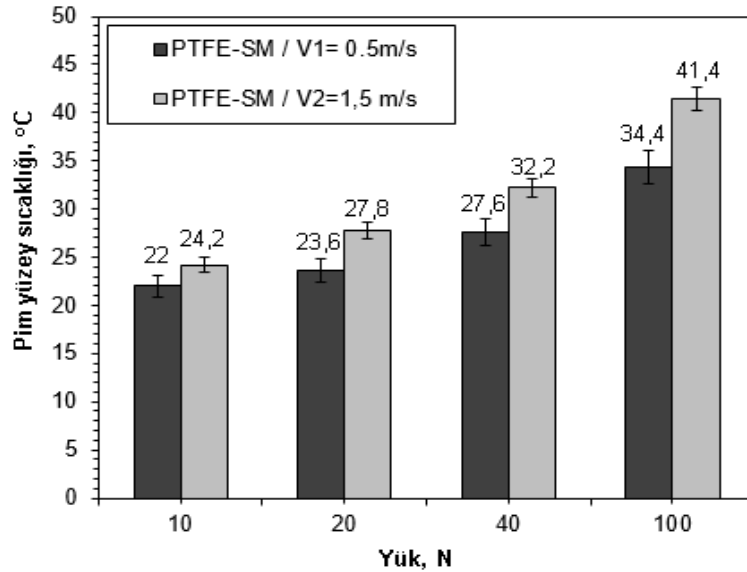
başlangıcında sürtünme katsayısı 0.145 değerinde ölçülmüş deney süresince 0.17 değerine kadar yükselen pikler görülse de ortalama sürtünme katsayısı 0.16 civarında ölçülmüştür. İlk 300 m kayma yolundan sonra sürtünme katsayısı piklerinin benzer şekilde oluştuğu gözlemlenmiştir. Khedkar *et al.* (2002) PTFE ve kompozitleri üzerine yapmış oldukları çalışmada 500 m kayma yolundan sonra sürtünme katsayısının çok fazla değişmeyip neredeyse stabil kaldığını belirtmişlerdir. Katkısız PTFE'nin sürtünme katsayısının 0.12 iken %75PTFE+%20 cam elyaf +%5MoS₂'nin 0.1 civarına gerilediğini rapor etmişlerdir. Oshita *et al.* (2017) sentetik mikanın katman aralığının genişlemesiyle, dinamik sürtünme katsayısının yaklaşık 0.5'ten 0.10-0.11 aralığına gerileyerek önemli ölçüde azaldığını ifade etmişlerdir. Ayrıca tribolojik testlerde sürtünme katsayısı 0.07-0.09 aralığında olan MoS₂'ye yakın yağlayıcılık etkisi gösterdiğini ifade etmişlerdir.



Şekil 5. Sentetik mika takviyeli PTFE polimer kompozitin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi

Şekil 6'da sentetik mika takviyeli PTFE polimer kompozitin pim sıcaklığının yük ile değişimi görülmektedir. Kayma hızının 0.5 m/s olduğu deneyde aşındırma yükü 10 N iken pim sıcaklığı 22 °C, 20 N iken 23.6 °C, 40 N iken 27.6 °C ve 100 N iken ise 34.4 °C değerine ulaşmıştır. Kayma hızının 1.5 m/s olduğu deneyde de benzer şekilde sıcaklık artışları görülmüş. Aşındırma yükü 10 N iken pim sıcaklığı 22.4 °C, 20 N iken 27.8 °C, 40 N iken 32.2 °C ve 100 N iken ise 41.4 °C olarak ölçülmüştür. Genel olarak kayma hızının artması ile pim sıcaklığının arttığı söylenebilir. Aşındırma yükünün sabit tutulup kayma hızının artırılması ile pim yüzey sıcaklığının arttığı tespit edilmiştir. 10 N aşındırma yükü altında 0.5 m/s kayma hızında pim yüzey sıcaklığı 22 °C iken, kayma hızının 1.5 m/s hıza çıkarılması ile pim yüzey sıcaklığı 2.2 °C artarak 22.2 °C olmuştur. Pim yüzey

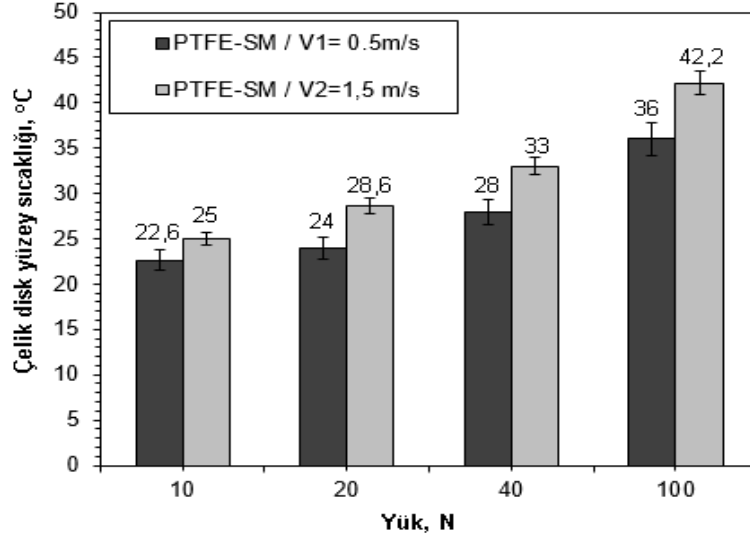
sıcaklığındaki artışın kayma hızının 0.5 m/s'den 1.5 m/s hıza çıkarılması ile 20 N aşındırma yükünde 4.2 °C, 40 N aşındırma yükünde 4.6 °C ve 100 N yükte ise 7 °C olduğu tespit edilmiştir. Bu duruma aşındırma yükünün artması ile disk yüzeyine pim tarafından uygulanan kuvvetin artmasının sebep olduğu düşünülmektedir. Meng *et al.* (2020) yüksek yoğunluklu polietilen içerisine ilave ettikleri sentetik mikanın polietilenin termal özelliklerini geliştirdiğini rapor etmişlerdir. Sentetik mikanın katkısız yüksek yoğunluklu polietilenin ergime sıcaklığını 1.7 °C, kristallik oranını da %4.8 arttırdığını rapor etmişlerdir. Kompozitlerin termal stabilitesinin artırmasının nedenleri, yüksek sıcaklık altında difüzyon sonucunda bozulmanın engellenmesi ve kompozitlerin kristalinitesinin artmasıdır.



Şekil 6. Sentetik mika takviyeli PTFE polimer kompozitin pim sıcaklığının yük ile değişimi ilişkisi

Şekil 7'de sentetik mika takviyeli PTFE polimer kompozitin pim çalıştığı çelik disk yüzey sıcaklığının yük ile değişimi görülmektedir. Pim yüzey sıcaklığında olduğu gibi disk yüzey sıcaklığı da artan hıza ve aşındırma yüküne bağlı artış göstermiştir. Disk sıcaklığı en düşük 0.5 m/s hızda ve 10 N aşındırma yükünde, en yüksek ise 1.5 m/s kayma hızında ve 100 N aşındırma yükünün uygulandığı deneyde gerçekleşmiştir. 1.5 m/s hızda

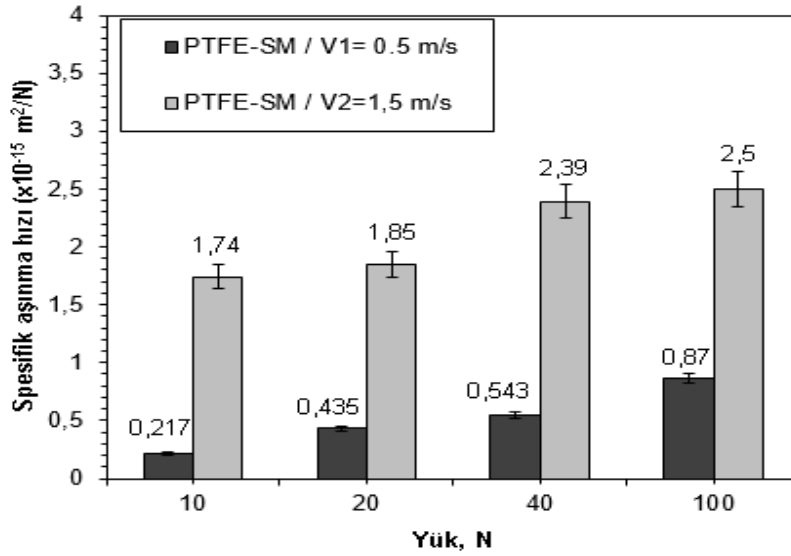
yapılan tüm deneylerin disk yüzey sıcaklığı 0.5 m/s hızda yapılan deneylerden daha yüksek ölçülmüştür. Her iki kayma hızında ve uygulanan tüm yükler de disk yüzey sıcaklığı pim yüzey sıcaklığından daha yüksek değere ulaşmıştır. Benzer aşındırma yüklerinde kayma hızının artması ile disk yüzey sıcaklığı en az 10 N yükte 2.4 °C ve en fazla ise 100 N yükte 6.2 °C yükselmiştir.



Şekil 7. Sentetik mika takviyeli PTFE polimer kompozitin pim çalıştığı çelik diskin yüzey sıcaklığının yük ile değişimi

Şekil 8'de sentetik mika takviyeli PTFE polimer kompozitin spesifik aşınma hızının farklı yük ve hızlardaki değişimi verilmiştir. Kayma hızının 0.5 m/s ve aşındırma yükünün 10 N olduğu deneyde spesifik aşınma hızı değeri $0.217 \times 10^{-15} \text{ m}^2/\text{N}$ olmuştur. Aynı kayma hızında yükün %100 arttırılması ile spesifik aşınma hızı %200 artarak $0.435 \times 10^{-15} \text{ m}^2/\text{N}$ değerine, yükün %400 arttırılması ile aşınma hızı %250 artarak $0.543 \times 10^{-15} \text{ m}^2/\text{N}$ ve yükün %1000 arttırılması ile aşınma hızı %400 artarak $0.87 \times 10^{-15} \text{ m}^2/\text{N}$ olmuştur. Kayma hızı 1.5 m/s'de ve 10 N yükte yapılan deneyde spesifik aşınma hızı $1.74 \times 10^{-15} \text{ m}^2/\text{N}$ olarak hesaplanmıştır. Aynı hızda aşındırma yükünün %100 arttırılması ile spesifik aşınma hızı %10 artarak $1.85 \times 10^{-15} \text{ m}^2/\text{N}$ değerine, yükün %400 arttırılması ile aşınma hızı %37 artarak $2.39 \times 10^{-15} \text{ m}^2/\text{N}$ ve yükün %1000 arttırılması ile aşınma hızı %43 artarak $2,5 \times 10^{-15} \text{ m}^2/\text{N}$ değerine ulaşmıştır. Şekil 6'da görüldüğü gibi aşındırma yükünün sabit tutulduğu deneylerde kayma hızının artması ile aşınma hızı da artmıştır. Aşınma hızındaki en fazla artış 10 N yükte hızın 0.5 m/s hızdan 1.5 m/s hıza yükseltilmesiyle

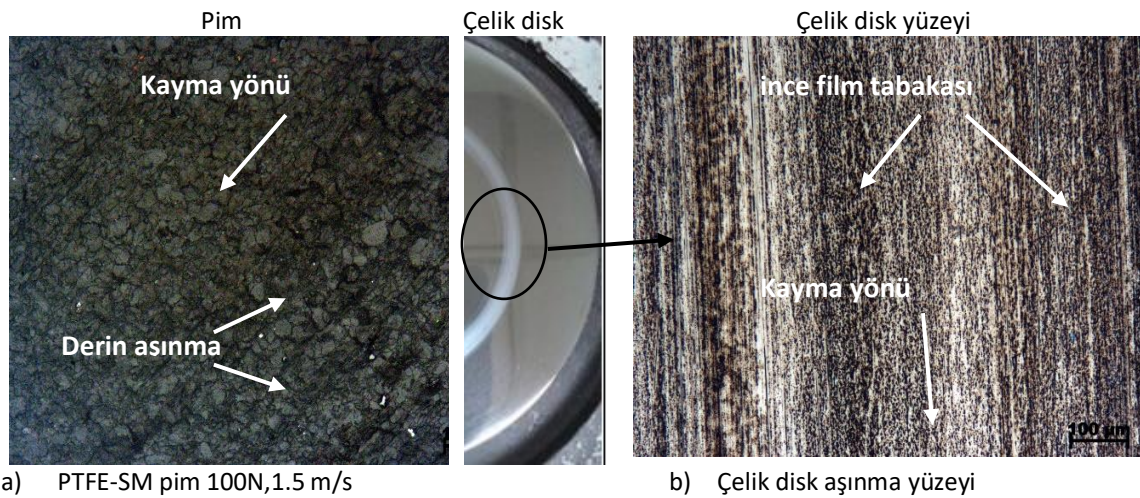
%800 ve en az artış ise %287 ile 100 N yükte gerçekleşmiştir. Daha önce Ünal vd. (23) PTFE içerisine grafit, cam fiber ve bronz ilave ederek yaptıkları çalışmada katkı maddelerinin aşınma oranını azalttığını belirtmişlerdir. Ayrıca genel olarak, PTFE kompozitlere cam fiber takviyesinin PTFE'nin aşınma oranını azaltmada en fazla etkiye sahip olduğunu, bronz katkısının da, PTFE'nin aşınma oranını düşürmede faydalı olduğunu, grafitin ise daha az oranda aşınma performansını geliştirdiğini ifade etmişlerdir. Bir başka çalışmada Ünal ve Yetkin (2010) PTFE içerisine karbon ve cam fiber ilave ederek yapmış oldukları çalışmada aşınma oranındaki maksimum azalmanın PTFE+17%GFR kompozit ile elde edildiğini, saf PTFE için spesifik aşınma oranının $10^{-13} \text{ m}^2/\text{N}$ düzeyinde, karbon dolgululu PTFE kompozit için aşınma oranı değerlerin $10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$, cam elyaf takviyeli PTFE kompozit için aşınma oranı değerleri ise $10^{-15} \text{ m}^2/\text{N}$ olduğunu belirtmişlerdir. Bu veriler doğrultusunda sentetik mikanın spesifik aşınma oranı üzerinde olumlu etkisinin olduğu söylenebilir.



Şekil 8. Sentetik mika takviyeli PTFE polimer kompozitin spesifik aşınma hızının yük ile değişimi

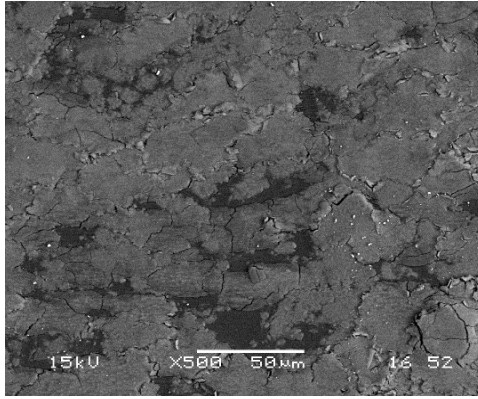
Şekil 9'da PTFE-SM kompozitlerin pim ve disk yüzeylerinin 100 N yük ve 1.5 m/s kayma hızında yapılan deneyden elde edilen aşınma yüzeylerinin optik mikroskop aşınma yüzey görüntüsü verilmiştir. Şekil 9 a'da görüldüğü gibi kayma yönünde derin aşınma izleri meydana gelmiştir. Aşınmanın yüzeyden parça koparak oluştuğu söylenebilir. Burada abrasiv aşınma mekanizması daha etkin olmuştur. Şekil 9 b'deki çelik disk yüzeyinde aşınma sonrasında polimer pimdenden kopan parçaların oluşturduğu film tabakası açıkça görülmektedir. Disk yüzeyine daha detaylı bakıldığında aşınmanın gerçekleştiği yüzeyin tamamına yakınının polimer pimdenden kopan polimer parçacıkları tarafından kaplanarak yüzeyde koruyucu ince bir film tabakası

oluşturduğu görülmektedir. Film tabakasının oluşumuna sentetik mika parçacıklarının etkin yapışma özelliğinin katkı sağladığı sanılmaktadır. Oluşan film tabakasının morfolojisini pimin ve diskin yüzey profili yakından etkilemektedir. Ayrıca aşındırma yükü ve kayma hızı da koruyucu film oluşturmada etkilidir. Meng *et al.* (2020) sentetik mikanın katman boyutunun büyük ve ara katman kuvvetinin zayıf olduğunu, bu nedenle sentetik mika katmanlarının birbirinden ayrılmasının kolay olmasından dolayı çelik bilye üzerinde yoğun ve düzensiz koruyucu transfer film oluşumuna katkı sağladığını ifade etmişlerdir. Deaconescu and Deaconescu (2020) koruyucu filmin kalınlığının artan nispi hız ile büyüdüğünü belirtmişlerdir.

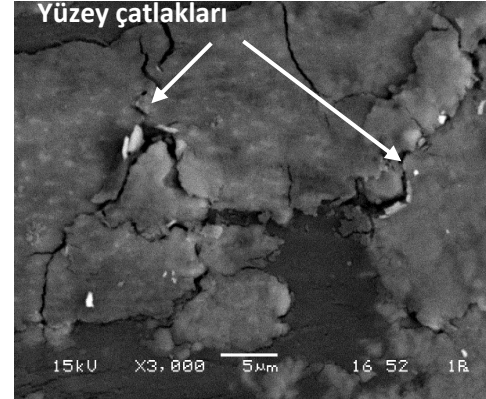


Şekil 9. Aşınma deney sonrası elde edilen a) PTFE-SM kompozit pim ve b) çelik disk optik mikroskop aşınma yüzey görüntüsü (Yük:100 N, kayma hızı:1.5 m/s)

Şekil 10'da 100 N yük ve 1.5 m/s kayma hızında yapılan aşınma deney sonrası elde edilen sentetik mika katkılı PTFE kompozit pimin taramalı elektron mikroskopunda alınan aşınma yüzey görüntüsü verilmiştir. Pim yüzeyinde çok sayıda, değişik boyutta ve derinlikte çatlaklar oluştuğu görülmektedir. Aşınma yüzeyinde görülen koyu alanlar ise ilerleyen çatlaklar sonucunda pimden kopan parçacıkların oluşturduğu oyukları göstermektedir. Aşınma yüzeyinde çok sayıda görülen oyuklar kayma yolu boyunca yüzeyden kopan parçacıklar sonucunda aşınmanın devam ettiğini



göstermektedir. PTFE polimerine ilave edilen sentetik mikanın pullu yapısının aşınma rejimini olumlu yönde etkilediği düşünülmektedir. Çünkü sentetik mika pullarının birbirine yapışma eğilimi oldukça yüksek olup aşınmaya karşı oldukça fazla direnç gösterdiği bilinmektedir. Bu durum abrasiv aşınmanın yanında adhesiv aşınma mekanizmasının da gerçekleştiğini desteklemektedir. Klaasa *et al.* (2005) PTFE içerisine ilave ettikleri cam bocukların, çelik karşı yüzey üzerinde transfer filmin gelişiminin ve oluşumunun etkili olduğu belirtmişlerdir.



Şekil 10. Aşınma deney sonrası elde edilen PTFE-SM kompozit pimin taramalı elektron mikroskopunda alınan aşınma yüzey görüntüsü (Yük:100 N, kayma hızı:1.5 m/s)

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada sentetik mika takviyeli PTFE-SM kompozitin tribolojik özelliklerine uygulanan yükün ve kayma hızının etkisi deneysel olarak araştırılmış ve aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

1. PTFE-SM kompozite uygulanan aşındırma yükünün artması ile sürtünme katsayısında azalma görülmüştür. Aşındırma yükü sabit tutulduğunda kayma hızının artması ile de sürtünme katsayısında azalma tespit edilmiştir.
2. Sürtünme katsayısı kayma yolunun ilk 400 m'sinde artış göstermiş, daha sonra neredeyse stabil kalmıştır. Kayma yolu boyunca 0.5 m/s hızda yapılan deneyin sürtünme katsayısı 0.185, 1.5 m/s hızda yapılan deneyin sürtünme katsayısı 0.165 olarak ölçülmüştür. Kayma hızının artması ile sürtünme katsayısında azalma görülmüştür.
3. PTFE-SM kompozitlerin pim yüzey sıcaklığı ve disk yüzey sıcaklığı uygulanan aşındırma yükünün ve kayma hızının artması ile birlikte artış göstermiştir.

Pim yüzey sıcaklığı 22 °C'den 41.4 °C'ye, disk yüzey sıcaklığı da 22.6 °C'den 42.2 °C'ye yükselmiştir.

4. PTFE-SM kompozitlerin aşınma oranı uygulanan yükün artması ile artmıştır. Kayma hızının arttırılması da aşınma oranında artışa neden olmuştur. Be değerler $0.217 \times 10^{-15} \text{ m}^2/\text{N}$ ile $2,5 \times 10^{-15} \text{ m}^2/\text{N}$ aralığında değişiklik göstermiştir.

5. Aşınma deney sonrası elde edilen optik ve SEM mikroskop görüntüleri incelendiğinde pim yüzeyinde kayma yönünde derin aşınma izleri, çok sayıda farklı boyutlarda çatakların ve oyukların olduğu görülmektedir. Etkin olarak abrasiv ve kısmen de adhesiv aşınma gerçekleşmiştir. Ayrıca çelik disk yüzeyinde neredeyse üniform diyebileceğimiz koruyucu film tabakası oluşmuştur. PTFE içerisine ilave edilen sentetik mikanın koruyucu film oluşumunda etkili olduğu düşünülmektedir.

Yazarların Katkısı

Tüm yazarlar çalışmaya eşit katkıda bulunmuştur.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

6. Kaynaklar

- Alam, K. I., Bragaw, P., Burris, D. L., 2022. Isolating the tribochemical and mechanical effects of nanofillers on PTFE wear. *Wear*, 494-495, 204256.
- Bozan, U., Altuncu, E., Üstel, F., 2014. Nano partikül takviyeli teflon kaplamaların üretilmesi ve karakterizasyonu. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 18, 1, 21-30.
- Charfi, A., Neili, S., Kharrat, M., Dammak, M., 2021. Tribological behaviors of PTFE-based composites filled with bronze micro particles. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 34, 12, 1639–1653.
- Deaconescu, A., Deaconescu, T., 2020. Tribological behavior of hydraulic cylinder coaxial sealing systems made from PTFE and PTFE compounds. *Polymers*, 12, 155, 2-14.
- Friedrich, K., Schlarb, A. K., 2008. Tribology of polymeric nanocomposites. *Elsevier*, ISSN 1572-3364 404.
- Hatipoğlu, G., 2014. Polifitalamid kompozitlerin mekanik, termal ve tribolojik özelliklerinin deneysel incelenmesi, Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya Üniversitesi, 238.
- Heipl, O., Murrenhoff, H., 2015. Friction of hydraulic rod seals at high velocities. *Tribology International*, 85, 66–73.
- Hualing, L., Jun, W., 2005. Application of synthetic mica and some technical problems in production, proceedings electrical insulation. Conference and electrical manufacturing expo, Indianapolis ,IN.
- Kadioğlu, Ü., 2003. Bronz katkılı PTFE'nin kuru kayma halinde sürtünme ve aşınma davranışları. *SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7, 1, 62-66.
- Khedkar, J., Negulescu, I., Meletis, E. I., 2002. Sliding wear behavior of PTFE composites. *Wear*, 252, 361–369.
- Klaasa, N.V., Marcusa, K., Kellockb, C., 2005. The tribological behaviour of glass filled polytetrafluoroethylene. *Tribology International*, 38, 824–833.
- Meng, ZJ., Wang, YX., Xin, X.C., Liu, H., Yan, YF., Yan, FY., 2020. The influence of several silicates on the fretting behavior of UHMWPE composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 137, 49335.
- Okularczyk, W., Baranowski, W., 2009. Experimental investigations of guiderings made of uhmwpe and ptfe composite in water hydraulics stems. *Kompozyty*, 9, 1, 53-57.
- Oshita, K., Yanagi, M., Okada, Y., Komiyama, S., 2017. Tribological properties of a synthetic mica-organic intercalation compound used as a solid lubricant. *Surface & Coatings Technology*, 325, 738–745.
- Riddar, F., Rudolphi, Å. K., 2014. Comparison of friction performance of four anodised aluminium surfaces foruse in a clutchactuator. *Wear*, 319, 227–233.
- Rudresh B. M., Kumar, B. N. R., Lingesh, B. V., 2017. Hybridization Effect on the Mechanical Behavior of Monophase Reinforced PA66/Teflon Blend Based Hybrid Thermo plastic Composites. *Transactions of the Indian Institute of Metals*, 70, 9, 2335–2346.
- Shojaei, A., Gholamalipour, S., 2011. Effect of chemical treatment of teflon powder on the properties of polyamide 66/teflon composites prepared by melt mixing. *Macromolecular Research*, 19, 6, 613-621.
- Song, H. J., Li, N., Li, Y., Min, C., Wang, Z., 2012. Preparation and tribological properties of graphene/poly(etheretherketone) nanocomposites. *Journal of Material Science*, 47, 6436–6443.
- Soon, K. H., Harkin J. E., Rajeev, R. S., Menary, G., McNally, T., Martin, P.J., Armstrong, C., 2009. Characterisation of melt-processed poly(ethyleneterephthalate)/synthetic mica nanocomposite sheet and its biaxial deformation behaviour. *Polymer International*, 58, 1134–1141.
- Souza D. H. S., Andrade C.T., Dias, M.L., 2013. Rheological behavior of poly (lacticacid)/synthetic mica nano composites. *Materials Science and Engineering: C* 33, 3, 1, 1795-1799.
- Souza D. H. S., Andrade, C. T. M., Dias, L., 2014. Effect of synthetic mica on the thermal properties of poly(lacticacid). *Polímeros*, 24, 20-24.
- Souza D. H. S., Borges, S.V., Dias, M.L., Andrade C.T., 2012. Structural evaluation and thermal properties of poly(lacticacid) and different synthetic micas nano composites, *Polymer Composites*, 33(4).
- Sui. H., Pohl, H., Schomburg, U., Upper, G., Heine, S., 1999. Wear and friction of PTFE seals. *Wear*, 224, 1999, 175–182.

Ünal H., Mimaroglu, A., Demir. Z., 2010. Tribological performance of POM, PTFE and PSU composites used in electrical engineering applications. *International Journal of Polymeric Materials*, **59**, 808–817.

Ünal, H., Şen, U., Mimaroglu, A., 2007. Study of abrasive wear volume map for PTFE and PTFE Composites. *Applied Composites Material*, **14**, 287–306.

Ünal, H., Yetgin, S. H., 2010. The effect of test parameters on friction and wear performance of PTFE and PTFE composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, **29**, 1978-1986.

Wang, L., Xie, B.Hu., Yang, W., Yang, M.B., 2010. Grafted polyolefin-coated synthetic mica-filled polypropylene-co-ethylene composites: A study on the interfacial morphology and *properties*. *Journal of Macromolecular Science®, Part B: Physics*, **49**, **1**, 1-17.

Xanthos, M., Functional fillers for plastics, 2010. ISBN: 978-3-527-32361-6 374-377.

Zhang, X., Liao, G., Jin, Q., Feng, X., Jian, X., 2008. On dry sliding friction and wear behavior of PPESK filled with PTFE and graphite. *Tribology International*, **41**, 195-201.

İnternet kaynakları

1-<https://www.fluorotec.com/media/2191/aft-seals-design-handbook.pdf>, (20.4.2022).

Uşak-Karahallı Mermerlerinin Fiziko-Mekanik Özelliklerinin Mineralojik-Petrografik Özellikleri ile Birlikte Değerlendirilmesi

Ayşe Nur ALPEREN¹, Haluk ÇELİK^{1*}, Metin BAĞCI²

¹ Uşak Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Uşak.

² Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar.

*Sorumlu yazar e-posta: haluk.celik@usak.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9964-1566>

e-posta: ayse91nur@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7604-1085>

e-posta: metbagci@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1056-2854>

Geliş Tarihi: 23.05.2022

Kabul Tarihi: 23.08.2022

Öz

Bu makalede Uşak İli Karahallı İlçesinde üç farklı mermer ocağından alınan numuneler üzerinde gerçekleştirilen bir dizi deneysel çalışmalar ile yöre mermerlerinin özellikleri belirlenmiştir. Numunelerin standartlara uygun biçimde saptanan fiziksel ve mekanik özellikleri; kimyasal, mineralojik ve petrografik özellikleri ile değerlendirilmiştir. Karahallı mermerlerinin birim hacim ağırlığı 2.69 gr/cm³ ile 2.74 gr/cm³ arasında değişim göstermektedir. Atmosfer basıncında ağırlıkça su emme değerleri ise %0.27-0.35 arasındadır. Karahallı mermerlerinde yapılan mekanik deneylerden tek eksenli basınç dayanımlarının 874.8 kg/cm² ile 1027.9 kg/cm² arasında değişmekte olduğu belirlenmiştir. Böhme aşınma dayanım değerleri ise 4.23 cm³/50 cm² ile 5.50 cm³/50 cm² arasındadır. Yöre mermerlerinin CaO oranları %52.9-55.4 arasındadır. Uşak Yeşil Mermeri diğer bölge mermerlerine göre daha yüksek oranda SiO₂ (%5.06), TiO₂ (%0.16) ve Fe₂O₃ (%1.25) içermektedir. Uşak Yeşil Mermerinin yüksek SiO₂ içeriği mermerlere sert bir yapı kazandırmıştır. Opak mineraller, epidot ve mika minerallerin bileşimlerinde bulunan TiO₂ ve Fe₂O₃ ana oksit değerlerindeki kısmi zenginleşmenin bu mermere açık yeşil renk verdiği belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler

Mermer; Uşak beyazı; Uşak yeşili; Fiziko-mekanik özellik; Yapı taşı; Karahallı

Evaluation of Physico-Mechanical Properties of Uşak-Karahallı Marbles with Their Mineralogical-Petrographic Properties

Abstract

In this article, the characteristics of the local marbles were determined by a series of experimental studies carried out on the samples taken from three different marble quarries in the Karahallı District of Uşak. The physical and mechanical properties of the samples determined in accordance with the standards evaluated together with their chemical, mineralogical and petrographic properties. Unit volume weight varies between 2.69 gr/cm³ and 2.74 gr/cm³ while water absorption values by weight at atmospheric pressure are between 0.27-0.35 % in Karahallı marbles. Uniaxial compressive strength values from the mechanical tests performed on Karahallı marbles are determined between 874.8 kg/cm² and 1027.9 kg/cm². Böhme abrasion resistance values are between 4.23 cm³/50 cm² and 5.50 cm³/50 cm². The CaO ratios of the marbles of the region are between 52.9-55.4%. The Uşak Green Marble contains a higher percentage of SiO₂ (5.06%), TiO₂ (0.16%) and Fe₂O₃ (1.25%) compared to other region marbles. The high SiO₂ content of the Uşak Green Marble gives this marble a hard structure. It was determined that partial enrichment in TiO₂ and Fe₂O₃ main oxide values in the compositions of opaque minerals, epidote and mica minerals gave this marble a light green color.

Keywords

Marble; Uşak white, Uşak green; Physico-mechanical property; Building stone; Karahallı

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

Doğal taşlar tarih boyunca güzelliği, rengi, deseni ve dayanıklılıkları sebebiyle yapılarda ve sanat eserlerinde kullanılmışlardır. Günümüzde artan nüfus ve şehirleşme ile doğal taşlara olan talep

artarak devam etmektedir. Türkiye doğal taş rezervi ve çeşitliliği bakımından önemli bir konumda olmasından dolayı dünya doğal taş sektöründe önde gelen ülkelerden birisidir. Doğal taş sektöründe ticari olarak sürekliliğini kanıtlamış

olan Türkiye, çeşitli renk ve desenlerde mermer, kireçtaşı, oniks, traverten, konglomera, granit, siyenit, diyabaz, gibi 250'nin üzerindeki doğal taş türünü piyasaya sürebilme potansiyeline sahiptir. Ülkemiz doğal taşlarının yaklaşık 100 kadarı dünya piyasalarınca yakından bilinmekte ve alıcı bulabilmekte olup, bu mermerlerden bazıları Süpren, Elaziğ Vişne, Akşehir Siyah, Manyas Beyaz, Bilecik Bej, Kaplan Postu, Denizli Traverten, Ege Bordo, Milas Leylak, Gemlik Diyabaz, Afyon Şeker, Burdur Bej'dir (Bilim ve Dündar 2019, DPT 2001, Kalkınma Bakanlığı 2018, Karahan 2018, Çelik ve Kırılıveren 2012).

Türkiye, dünyanın en zengin mermer rezervlerinin bulunduğu Alp-Himalaya kuşağında bulunmakta olup sahip olduğu 5.1 milyar m³ (13.9 milyar ton) muhtemel mermer potansiyeli ile 15 milyar m³ olduğu tahmin edilen dünya mermer potansiyelinin yaklaşık %33'ünü elinde bulundurmaktadır. Ülkemizde rezervler Anadolu'dan Trakya'ya oldukça geniş bir coğrafyaya yayılmıştır. Ülkemiz mermer potansiyelinin bölgelere göre dağılımını incelediğimizde ise Ege Bölgesi'nin %32 ile ilk sırada yer alırken; %26 oranında Marmara Bölgesi, % 11 oranında İç Anadolu Bölgesi, %31 oranında Doğu Anadolu, Güneydoğu Anadolu, Karadeniz ve Akdeniz Bölgesi mermer rezervine sahip bulunmaktadır. Ülkemiz doğal taş sektörü; çeşitliliği ve rezerv zenginliği, sektör deneyiminin fazla oluşu, deniz ulaşımına bağlı nakliye işlemlerindeki kolaylık, doğal taş sektörünün sahip olduğu dinamik yapısı, sektörde kullanılan teknolojilerin yeni oluşu ve taşların geniş renk skalasına sahip olması ile dünya doğal taş pazarında önemli bir konuma sahiptir (İnt Kyn. 1).

Uzun yıllardan beri mermer üretiminin yapıldığı Uşak ili genelinde beyaz, gri, koyu yeşil ve açık yeşil olmak üzere 4 farklı renk çeşitliliğine sahip mermer yatakları bulunmaktadır. Bölgede toplam ruhsat alanı 4330 hektar olan ruhsatlı 31 adet mermer sahası yer almaktadır. Uşak ilinin toplam mermer potansiyelinin 1.600.000 m³ olduğu bildirilmektedir (Zafer Kalkınma Ajansı 2012). Mermer üretiminde son dönemlerde artış

gerçekleşen Uşak ilinde Karahallı, Sivaslı ve Ulubey ilçelerinde önemli mermer potansiyelleri bulunmaktadır. Uşak İli mermerleri genellikle Mezozoik yaşlı karbonatlar içerisinde yer almakta olup Uşak Yeşili, Uşak Beyazı ve Uşak Grisi mermer piyasasında en çok bilinen türlerdir (Çelik ve Kırılıveren 2012).

Doğal taşların kullanım alanlarını ve bu alana uygun olup olmadıklarını saptamak maksadıyla belirli standartlara göre yapılan deneylerle doğal taşların fiziko-mekanik özellikleri tespit edilmektedir. Standartlara uyan doğal taşlar ticari olarak pazarlanabilirken, uymayanlar ise pazardan çekilmekte veya geniş kullanım fırsatı bulamamaktadırlar. Kalitesi ve mukavemeti yüksek olan doğal taşlar renkleri ve desenleri gibi benzerliklerinden dolayı standartlara uymayan doğal taşlardan ayrılmakta ve gereksiz rekabetin önüne geçilmektedir. TSE (Türk Standartları Enstitüsü) ABD'nin doğal taş standartlarından (ASTM) bazılarını ülkemizdeki doğal taşlar için uyarlayarak mevcut düzenlemeleri gerçekleştirmiştir (Büyüksağış ve Gürcan 2005). Mermerlerin deneylerle saptanan fiziksel özelliklerin belirlenmesinde TS EN 13755, TS EN 1936 ve TS EN 14579; mekanik özelliklerinin belirlenmesinde ise çoğunlukla TS EN 1926, TS EN 13161, TS EN 12372, TS EN 14157 ve petrografik incelemeler için TS EN 12407 nolu standartlarının kullanıldığı görülmektedir (Gürcan 2012). Çeşitli tarihlere uygulamaya giren bu yeni standartlarda yerini aldıkları eski standartlardaki gibi fiziksel ve mekanik özelliklere ait alt limit verilerine yer verilmemektedir. Bu çalışma kapsamında sadece Karahallı (Uşak) mermerlerinin fiziksel ve mekanik deneylerle belirlenen özelliklerine ait sonuçlara yer verilmiştir.

Bölgede benzer çalışmalar farklı araştırmacılar tarafından yapılmıştır. Çamlıbel-Ulubey (Uşak) beyaz mermerinin, mermer olarak kullanılabilirliği irdelenmiş ve yöre mermerleriyle karşılaştırılmaları yapılmıştır (Çelik ve Kırılıveren 2012). Sivaslı (Uşak) mermer yataklarının jeolojik ve mühendislik özelliklerinin incelenmesi kapsamında bölgede 3 farklı mermer düzeyi

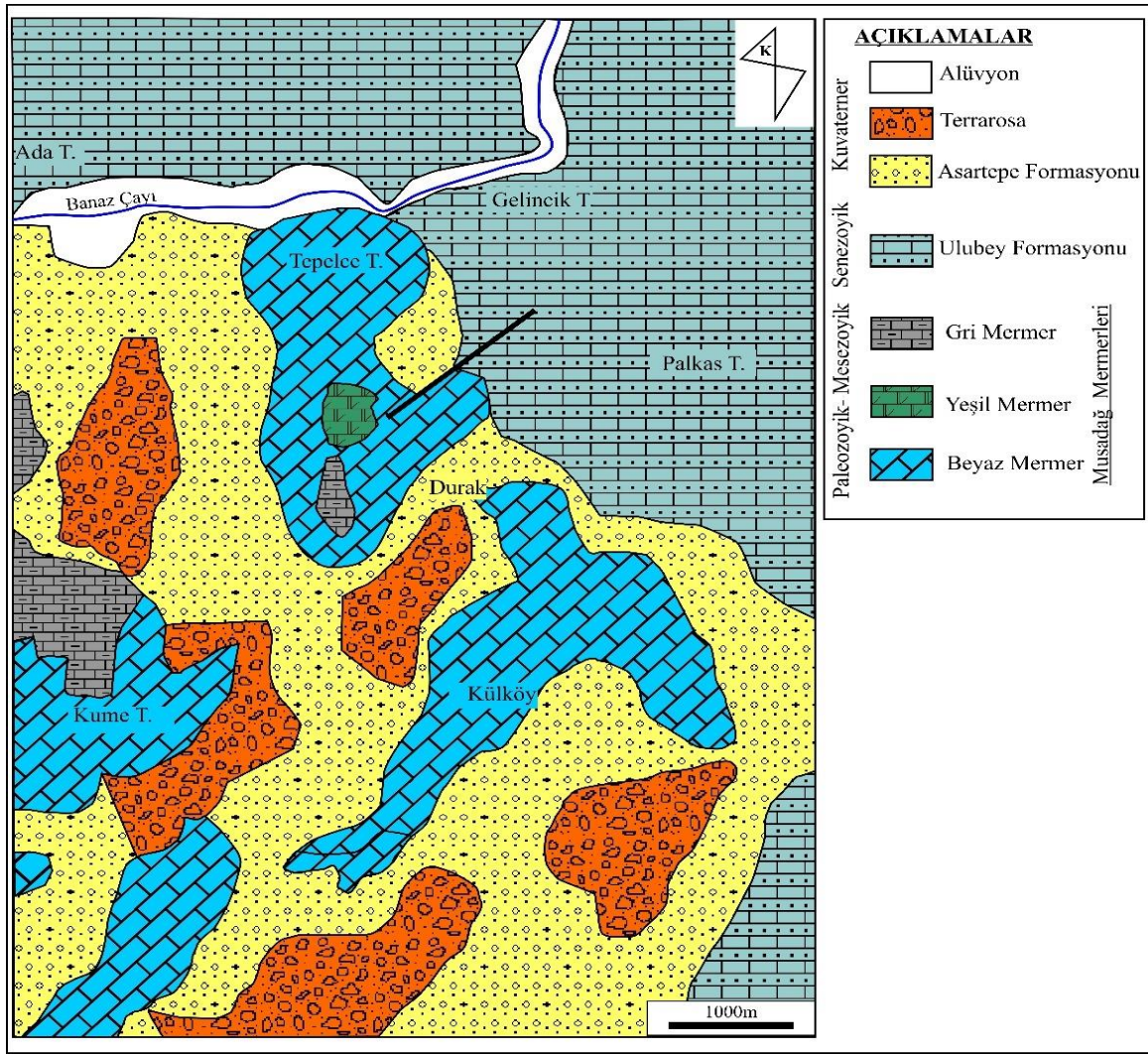
belirlenmiştir. Sırasıyla bu seviyeler Boduşdamı, Kavacık ve Eldeniz mermerleridir. Çalışmada en verimli mermer sahaları Kavacık ve Boduşdamı mermerleri olarak belirlenmiştir (Aysal ve Korcaç 2002). Gürcañ vd. (2012) parlatma deneyleri sonucunda azalan abrasif serisine bağlı olarak pürüzlülüğün azaldığını ve parlaklığın arttığını ifade etmişlerdir. Mermer örneklerinde bulunan karbonat dışı minerallerin ve bunların dağılımlarının pürüzlülüğ ve parlaklık özelliklerini önemli ölçüde etkilediği sonucuna varmışlardır. Kibici vd. (2001) mermerlerin renklerinin koyulaşması artıkça mermerlerin dayanım değerlerinin kısmen arttığını ve koyu yeşil renkli Karahallı mermerlerin açık yeşil renklilere göre daha izotrop özellikler gösterdiklerini belirtmişlerdir. Renkli İncehisar mermerlerinin mineralojik-petrografik ve jeokimyasal özelliklerinin araştırıldığı çalışmada ise mermerler mineralojik içerik ve kimyasal bileşimlerine göre 3 seviyeye ayrılmış olup; bu seviyeler sırasıyla tabanda kalsitçe zengin mermerler, ara seviye/geçiş mermerleri ve en üstte ise dolomitik mermerler olarak sıralanmıştır (Bağcı 2020).

Bu çalışmada Uşak İli Karahallı İlçesinde halen üretim yapılan 3 adet mermer ocağından numuneler alınmış, TSE standartlarına uygun biçimde mermer kesim atölyesinde hazır durumu getirilen numunelerin fiziksel, mekanik, kimyasal, mineralojik ve petrografik özellikleri belirlenmiştir. Üç mermer yatağından alınan numunelere ait fiziksel ve mekanik özelliklerin; kimyasal, mineralojik ve petrografik özelliklerle birlikte yorumlanması yapılmıştır. Mermer ocak işletmelerinin açılması ve üretimin devam

edebilmesinde mermerlerin jeolojik, mineralojik, petrografik ve fiziko-mekanik özelliklerinin etkisi olumlu veya olumsuz yönde etki yaptığından, çalışma sonucunda elde edilen sonuçların bölgede üretim yapmakta olan ve ileride muhtemel yeni yatırım yapacak olan işletmelere önemli bilgiler sağlayacağı düşünölmektedir.

1.1. İnceleme alanının jeolojisi

İnceleme alanının en yaşıli birimini Paleozoik yaşıli klorit-muskovit-kuvars şistlerden oluşan Eşme formasyonu oluşturur. Paleozoik yaşıli başkalaşım kayaçlarının üzerinde Musadağ mermerleri yer almaktadır. Musadağ Mermerleri; beyaz, gri, yeşilin koyu ve açık tonlarında değişen renklerde yayılım göstermektedirler (Şekil 1). İnceleme alanındaki mermerlerin ana bileşen minerali kalsittir. Daha az oranda özellikle yeşil renkli mermerlerde epidot ve amfibol grubu mineraller gözlenmektedir (Kibici vd. 1992, Kibici vd. 2001). Musadağ Mermerlerinin üzerine Orta Pliyosen yaşıli Ulubey Formasyonu gelmektedir. Bu birimin üzerinde ise kumtaşı-kumlu kireçtaşı seviyeleri bulunur. Ulubey Formasyonuna ait kayaçlar Banaz Çayı kuzeyinde Tepelçe Tepe çevresinde yayılım sunar. Ulubey Formasyonunun üzerinde Kuvaterner yaşıli Asartepe Formasyonu uyumsuz olarak yerleşir. Formasyon farklı renklerde kırmızımsı turuncu yer yer beyaz renkli kireçtaşı, kumtaşı-kiltaşı ardalımalı sedimanter birimlerden oluşur. Asartepe Formasyonu Duraklı, Kùlköy ve Karahallı kuzeyinde geniş alanlarda yayılım sunar. Terra-rosa birimleri ise genellikle koyu kırmızı renklerde Asartepe Formasyonunun



Şekil 1. İnceleme alanının genelleştirilmiş jeoloji haritası (Kibici vd. 1992 den değiştirilerek alınmıştır).

üzerinde yer almaktadır. Bu birimler karbonatlı kayaların alterasyonu sonucunda oluşmuşlardır. Kum, çakıl ve kil içeren Alüvyon birimleri genellikle dere yatakları ve yakın çevresinde yayılım göstermektedir (Kibici vd. 1992, Kibici vd. 2001).

2. Malzeme ve Yöntem

2.1 Malzeme

Bu çalışmada kullanılan mermer numuneleri Şekil 2'de genel görünümü verilen ve Uşak'ın 47 km güneydoğusunda yer alan Karahallı İlçesinde üretim yapan 3 farklı mermer ocağından (Me1, Mm2 ve Mr3) temin edilmiştir (Şekil 3). Bu mermerler sırasıyla; Uşak Yeşil mermeri (Me1), Uşak Beyaz mermeri (Mm2) ve Açık Gri renkli (Mr3) mermerdir (Şekil 3A, 3B ve 3C). Mermer ocaklarından 1 m³'den küçük moloz parçalarından alınan örneklerden, Uşak'ta çalıştırılmakta olan

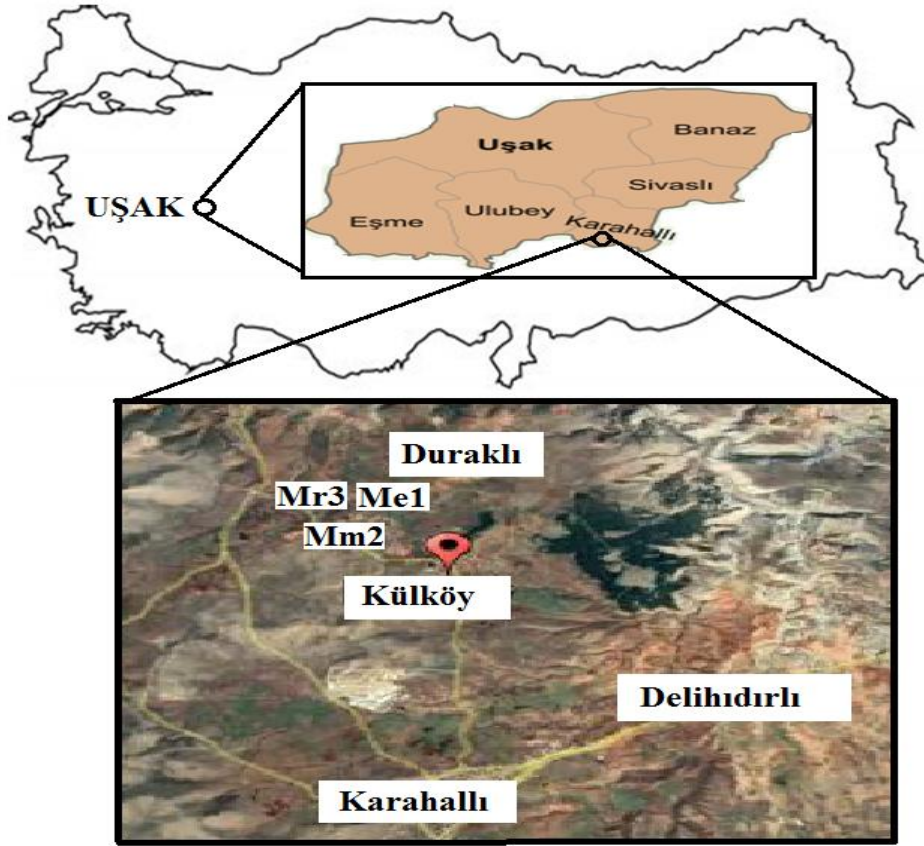
mermer kesim atölyesinde fiziko-mekanik deneyler için standartlara uygun olarak 50x50x50 mm boyutunda küp ve 50x50x300 mm boyutunda kare prizması şeklinde numuneler hazırlanmıştır (Şekil 2D).

2.2 Yöntem

Uşak-Karahallı mermer numunelerinin fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla TS EN standartlarına uygun olarak; birim hacim ağırlığı (gr/cm³), gerçek yoğunluk (gr/cm³), görünür ve toplam porozite (%) (TS EN 1936), atmosfer basıncı altında su emme (%) (TS EN 13755), P-dalga hızı (km/sn) (TS EN 14579), tek eksenli basınç dayanımı (Mpa) (TS EN 1926), eğilme dayanımı (Mpa) (TS EN 13161), darbe direnci (Mpa) (TS EN 14158), nokta yükleme dayanımı (Mpa) (ISMR 1985), Schmidth sertlik (ISMR 1981), Böhme aşınma dayanımı (cm³/50cm²) (TS EN 14157) testleri



Şekil 2. Uşak-Karahallı ilçesinde mermer numunelerin alındığı mermer ocaklarından genel görüntüler ve ebatlandırılmış mermer numuneleri



Şekil 3. Uşak-Karahallı ilçesinde numunelerin alındığı mermer ocaklarının yer bulduru haritası

yapılmıştır. Her bir fiziksel ve mekanik özellik için 6'şar adet numune üzerinde testler yapılmış olup bulunan değerlerin aritmetik ortalaması yorumlamalarda kullanılmıştır. Yukarıda belirtilen

testlerle ilave olarak numuneler üzerinde gerçekleştirilen kimyasal, mineralojik ve petrografik incelemelerle Karahallı mermerlerinin mineral türleri, dağılımı, dokusal özellikleri ve

kimyasal bileşimleri saptanmıştır. Fiziksel ve mekanik testler Uşak Üniversitesi Mühendislik Fakültesi bünyesinde bulunan laboratuvarlarda yapılmıştır. P-Dalga hızı ölçümlerinde Proceq PL-200PE (54 kHz) cihazı kullanılmıştır. Kimyasal analizler Çanakkale 18 Mart Üniversitesinde (Spectro xSort Handheld X-Ray Spektrometresi), mineralojik ve petrografik araştırmalar ise Afyon Kocatepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümünde (Leica Dm 2500P model polarizan mikroskopu) yapılmıştır. Numunelerin XRD pikleri Bruker Marka D8 Advance cihazı ($\lambda = 1.5406 \text{ \AA}$) ile elde edilmiştir.

3. Bulgular

3.1 Karahallı mermerlerinin fiziksel özellikleri

Çizelge 1.'de Uşak-Karahallı mermerlerinin saptanan fiziksel özelliklerine ait ortalama değerlere yer verilmiştir. Mermerlerin birim hacim ağırlığı $2.2-3.2 \text{ gr/cm}^3$ arasında değişir. Gerçek mermerler için bu değer ortalama 2.70 gr/cm^3 'tür (Akçakoca vd. 2003). Me1, Mm2 ve Mr3 mermerlerinin hacim hesaplamalarında, nakliyesinde kullanılmakta olan birim hacim ağırlık değerlerinin ortalaması sırasıyla 2.71; 2.69 ve 2.74 gr/cm^3 olarak bulunmuştur.

Uşak-Karahallı mermerlerinin piknometre yöntemi ile belirlenen gerçek yoğunluk değerlerinin $2.796-2.923 \text{ gr/cm}^3$ arasında olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 1).

Doğal taşların yapıların dış kaplamasında kullanılabilmesi için ağırlıkça su emme oranının

düşük seviyelerde olması istenir. Kayaçalarda ağırlıkça su emme değerinin yüksek olması porozitenin fazla olduğunu, boşluk ve mikro çatlakların yüksek olduğunu göstermektedir. Buna karşılık ağırlıkça su emme değerinin düşük olmasına bağlı olarak mekanik özelliklerden olan basınç direnci değeri büyük olmaktadır (Akçakoca vd. 2003). Karahallı mermerlerin ağırlıkça su emme değerleri %0.27-0.35 arasında değişim göstermektedir (Çizelge 1). Porozite oranı diğerlerine göre daha fazla olan Mm2 kodlu numunenin ağırlıkça su emme değerinin porozite değerlerine uyumlu bir şekilde diğer iki örneğe göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Porozite değeri ne kadar büyükse mermerin ağırlıkça su emme değeri de yükselmektedir. Ayrıca kristal boyutu da gözeneklilik değerine etki etmekte olup iri kristalli mermerlerde porozitenin daha yüksek olduğu bilinmektedir (Öztank ve Bacakoğlu 2001). Çizelge 1.'den görüldüğü üzere etkin (görünür) porozite değeri en düşük olarak belirlenen Mr3 kodlu örneğin (%0.73) atmosfer basıncında ağırlıkça su emme değeri de uyumlu bir şekilde diğerlerine göre en düşüktür (%0.27). Ayrıca, porozite değeri en düşük olan Mr3 numunesinin (%0.73) tek eksenli basınç dayanımı değeri (1027.9 kg/cm^2) uyumlu bir şekilde diğerlerine göre daha yüksektir. Moos ve Quervain (1948)'in Çizelge 2.'de verilen doğal taşların %porozite değerlerine göre sınıflandırma ölçütlerine göre Karahallı mermerleri "Çok Kompakt" kayaç sınıfında yer almaktadır.

Çizelge 1. Karahallı (Uşak) mermerlerinin deneysel çalışmalar ile belirlenen fiziksel özellikleri

	Birim Hacim Ağırlığı	Gerçek Yoğunluk	Su Emme (Ağırlıkça)	Görünür Porozite Oranı	Doluluk Oranı	P-Dalga Hız
	(gr/cm^3)	(gr/cm^3)	(%)	(%)	(%)	(km/sn)
Me1	2.71	2.923	0.30	0.81	96.55	4.33
Mm2	2.69	2.796	0.35	0.95	97.01	4.18
Mr3	2.74	2.840	0.27	0.73	95.90	4.24

Çizelge 2. Doğal taşların % porozite oranlarına göre sınıflandırılmaları (Moos and Quervain 1948)

Kayaç Sınıfı	Porozite Değeri (%)
Çok Kompakt	<1
Az Boşluklu	1-2.5
Orta Boşluklu	2.5-5
Oldukça Boşluklu	5-10
Çok Boşluklu	10-20
Çok Fazla Boşluklu	>20

Doluluk oranı, 105 °C’de sabit kütleyle kadar kurutulmuş taşın boşlukları hariç dolu hacminin, boşlukları dahil tüm hacme oranıdır. Çalışma bölgesinde yer alan mermerlerin doluluk oranı değerlerinin %95.9-97.01 arasında olduğu belirlenmiştir (Çizelge 1).

Bilindiği üzere doğal taşlardaki mineralojik yapı, doku, porozite, yapılarındaki mikro ve makro çatlaklar ile diğer süreksizlikler gibi fiziksel özellikler P-dalga hızlarının geçişini etkilemektedir. Numunelerin P-dalga hızlarının 4.18-4.33 km/sn arasında olduğu bulunmuştur. Porozitesi daha az olan mermerlerin P-dalga hız değeri daha yüksek olmaktadır. Çalışmada porozite değeri en yüksek olan Mm2 örneğinin P-dalga hızının en düşük olduğu (4.18 km/sn) saptanmıştır. P-dalga hız değerlerine göre kayaçların sınıflandırılmasına göre Karahallı mermerleri 4-5 km/sn arasında “Yüksek Hız” sınıfında yer almaktadırlar (Çizelge 3).

Çizelge 3. Kayaçların P-dalga hızı değerlerine göre sınıflandırılmaları (Matula *et al.* 1979)

Sınıf	P-Dalga Hızı Değeri (km/sn)	Tanımlama
1	<2.5	Çok düşük hız
2	2.5-3.5	Düşük hız
3	3.5-4	Orta hız
4	4-5	Yüksek hız
5	>5	Çok yüksek hız

Çizelge 4. Karahallı (Uşak) yöresi mermerlerinin deneysel çalışmalar ile belirlenen mekanik özellikleri

	Tek Eksenli Basınç Dayanımı	Eğilme Dayanımı	Darbe Dayanımı	Nokta Yük Dayanımı	Schmidt Sertliği	Böhme Aşınma Dayanımı
	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(kg.cm/cm ³)	(Mpa)		(cm ³ /50 cm ²)
Me1	874.8	205.24	27.2	2.92	27.39	5.50
Mm2	910.6	210.74	13.6	1.86	25.30	4.23
Mr3	1027.9	208.38	15.6	1.98	25.75	5.03

3.2 Karahallı mermerlerinin mekanik özellikleri

Çizelge 4.’de Uşak-Karahallı mermerlerinin deneysel çalışmalarla elde edilen mekanik özelliklerine ait ortalama değerler verilmiştir.

Tek eksenli basınç dayanımı, belirli boyutlardaki mermerlerin tek eksenle etkiyen gerilmeler karşısındaki davranışları ve kırılmaya karşı gösterdikleri direnç olarak tarif edilebilir. Doğal taşların basınca karşı mukavemet değerleri doğal taşın kullanılacağı yere (döşeme, zemin, merdiven basamağı vb.) göre farklılık gösterir. Çalışmanın konusu olan Karahallı (Uşak) mermerlerinin tek eksenli basınç dayanımı değerlerinin 874.8-1027.9 kg/cm² arasında değiştiği saptanmıştır (Çizelge 4). Porozite oranı daha düşük olan Mr3 mermerinin basınç dayanım değeri beklendiği üzere daha yüksektir. Deere ve Miller (1966)’in kayaçların tek eksenli basınç dayanımına göre sınıflandırılması ölçütlerine göre Karahallı mermerlerinden Me1 ve Mm2’nin “Orta Dirençli” kayaç sınıfında, Mr3 kodlu numunenin ise “Yüksek Dirençli” kayaç sınıfında yer almakta olduğu belirlenmiştir (Çizelge 5).

Doğal taşlar çoğunlukla belirli ebat ve kalınlıklarda levhalar biçiminde kullanıldıklarından eğilme dayanımları önemlidir. Mermerlerin eğilme dayanımı değerleriyle plaka boyut ve destek noktaları arasındaki mesafe tespit edilebilmektedir. Numunelerin eğilmeye karşı dayanımları 205.24-210.74 kg/cm² arasında değişim göstermektedir (Çizelge 4).

Çizelge 5. Doğal taşların tek eksenli basınç dayanımlarına göre sınıflandırılması (Deere and Miller 1966)

Tanım	Basınç Dayanımı Değeri (kg/cm ²)
Çok yüksek dirençli	>2000
Yüksek dirençli	2000-1000
Orta dirençli	1000-500
Düşük dirençli	500-250
Çok düşük dirençli	<250

Kayaçların darbe dayanımı standart ebatlardaki numunelerin belirli bir doğrultuda darbelere karşılık gösterdiği mukavemeti ifade etmekte olup bu değer kayaçların kullanım alanlarının belirlenmesinde önem arz etmektedir. Kayaçların darbeye karşı dayanımlarının artması gerek zemin döşemesinde gerekse iç ve dış kaplama uygulamalarında daha rahat kullanılmasına kolaylık sağlanmaktadır. Karahallı mermerlerinin darbe dayanımı değerlerinin 13.6-27.2 kg.cm/cm³ arasında olduğu belirlenmiştir.

Nokta yük dayanımı testleri doğal taşların nokta yük ölçütlerine göre sınıflandırılması veya tek eksenli basınç dayanımlarının tahmin edilebilmesi için gerçekleştirilmektedir (ISMR 1985). Karahallı (Uşak) mermerlerinin nokta yük dayanımlarının ortalaması 1.86 ile 2.92 MPa arasında olduğu saptanmış olup numuneler Çizelge 6.'dan görülebileceği üzere "Düşük-Orta Dirençli" kayaç sınıfında yer almaktadır.

Çizelge 6. Doğal taşların nokta yük dayanımı değerlerine göre sınıflandırılması (Bieniawski 1975)

Kaya Sınıfı	Nokta Yük Dayanımı Değeri (MPa)
Çok Düşük Dirençli	<1
Düşük Dirençli	1-2
Orta Dirençli	2-4
Yüksek Dirençli	4-8
Çok Yüksek Dirençli	>8

Numunelere tamamen zarar vermeden kolayca ve pratik bir şekilde yapılan Schmidt sertlik tayini testi, gerek arazi çalışmaları esnasında ve gerekse laboratuvarlarda doğal taşların sertlik değerlerinin belirlenmesinde ve tek eksenli basınç dayanımı değerlerinin dolaylı yoldan hesaplanabilmesinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Atıcı 2017). Yapılan çalışma ile numunelerin Schmidt sertlik

değerlerinin 25.30-27.39 arasında olduğu belirlenmiştir. Uluslararası Kaya Mekaniği Derneği'nin (ISRM 1981) ölçütlerine göre Karahallı mermerleri "Yumuşak" kayaç sınıfına girmektedir (Çizelge 7).

Çizelge 7. Doğal taşların Schmidt sertlik değerlerine göre sınıflandırılması (ISRM 1981)

Kaya Sınıfı	Schmidt Yüzey Sertlik Değeri
Fevkalade Yumuşak	16-20
Çok Yumuşak	20-24
Yumuşak	24-30
Sert	30-45
Çok Sert	45-60
Fevkalade Sert	>60

Yaya trafiğinin fazla olduğu yerlerde kaplama taşı olarak kullanılacak mermerlerde sürtünme ile oluşacak aşınma kaybı değeri, Böhme yüzey aşındırma cihazı kullanılarak belirlenmektedir. Deney sonucunda deney numunelerinde kalınlıklarında veya hacimlerinde meydana gelen kayıp miktarı ölçülerek hesaplama yapılmaktadır. Karahallı (Uşak) mermerlerinin ortalama hacimce sürtünme ile aşınma dayanımlarının 4.23 ile 5.50 cm³/50cm² arasında olduğu belirlenmiştir.

3.3 Karahallı mermerlerinin kimyasal özellikleri

Doğal taşların ihtiva ettikleri elementlerin oksitlerinin toplam ifadesi olan kimyasal bileşim doğal taşların fiziksel özelliklerine etki etmektedir. SiO₂ miktarı arttıkça kayaçlar daha sertleşirken, MgO oranı yükseldikçe kırılma dayanımında, Fe₂O₃ oranının artmasına bağlı olarak ise renkleri koyulaşmaktadır (Arık ve Kuşçu 2011).

Mermer numunelerinin kimyasal oksit içeriklerini belirlemek için yapılmış kimyasal analiz sonuçları Çizelge 8.'de verilmektedir. Numunelerin oksit değerlerini incelediğimizde beklenildiği gibi en yüksek değer CaO'ya ait olup numunelerin CaO oranlarının %52.9-55.4 arasında olduğu saptanmıştır. Buradan hesapla %94.42-98.88 oranında kalsit minerali (CaCO₃) içerdikleri belirlenmiştir. Uşak Yeşil mermerinin (Me1) diğer iki mermerden daha yüksek oranda SiO₂ (%5.06), TiO₂ (%0.16) ve Fe₂O₃ (%1.25) içerdiği görülmektedir.

Çizelge 8. Karahallı (Uşak) mermerlerinin kimyasal analiz sonuçları

	Me1	Mm2	Mr3
CaO	52.9	54.0	55.4
MgO	2.16	2.03	2.24
Al ₂ O ₃	0.17	0.15	0.17
SiO ₂	5.06	0.17	0.20
TiO ₂	0.16	0.061	0.076
Fe ₂ O ₃	1.25	0.008	0.01
Cr ₂ O ₃	0.015	0.015	0.015
SO ₃	0.35	0.034	0.072
P ₂ O ₅	0.049	0.043	0.046
K.K(%)	37.88	43.47	41.71

K.K: Kızdırma kaybı, Me1: Uşak Yeşil, Mm2: Uşak Beyaz, Mr3: Uşak Açık Gri.

3.4 Karahallı mermerlerinin mineralojik ve petrografik özellikleri

3.4.1. X-Işınları difraktometre (XRD) analizi

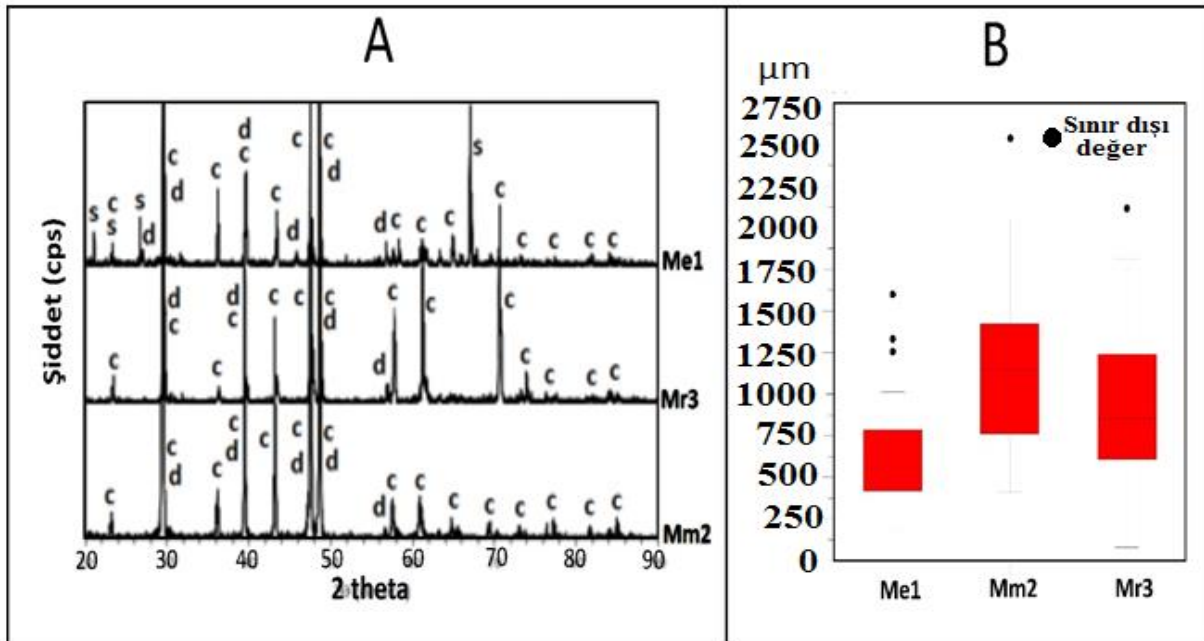
Karahallı mermerlerine ait XRD analizlerine ait grafikler Şekil 4A'da verilmektedir. Grafiklerden görüldüğü üzere tüm mermer numunelerinde ana mineral kalsit (CaCO₃) olmak üzere, dolomit (CaMg(CO₃)₂) de içermektedir. Me1 kodlu numune ise kimyasal analiz sonuçları ile uyumlu olarak ayrıca kuvars (SiO₂) minerali de ihtiva etmektedir. Kimyasal analiz sonuçları incelendiğinde % MgO değerleri açık

yeşil renkli (Me1) mermerde %2.16, beyaz renkli (Mm2) ve açık gri renkli (Mr3) mermerlerde ise sırasıyla %2.03 ve %2.24'dür. Ayrıca, %SiO₂ değerlerinde ise %5.06 ile en yüksek değer açık yeşil renkli (Me1) mermerde gözlenmiştir. Beyaz renkli (Mm2) ve açık gri renkli (Mr3) mermerlerde %SiO₂ değerleri %0.17-%0.20 arasındadır. Bu sonuçlara göre, XRD sonuçlarının kimyasal analiz sonuçları ile uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

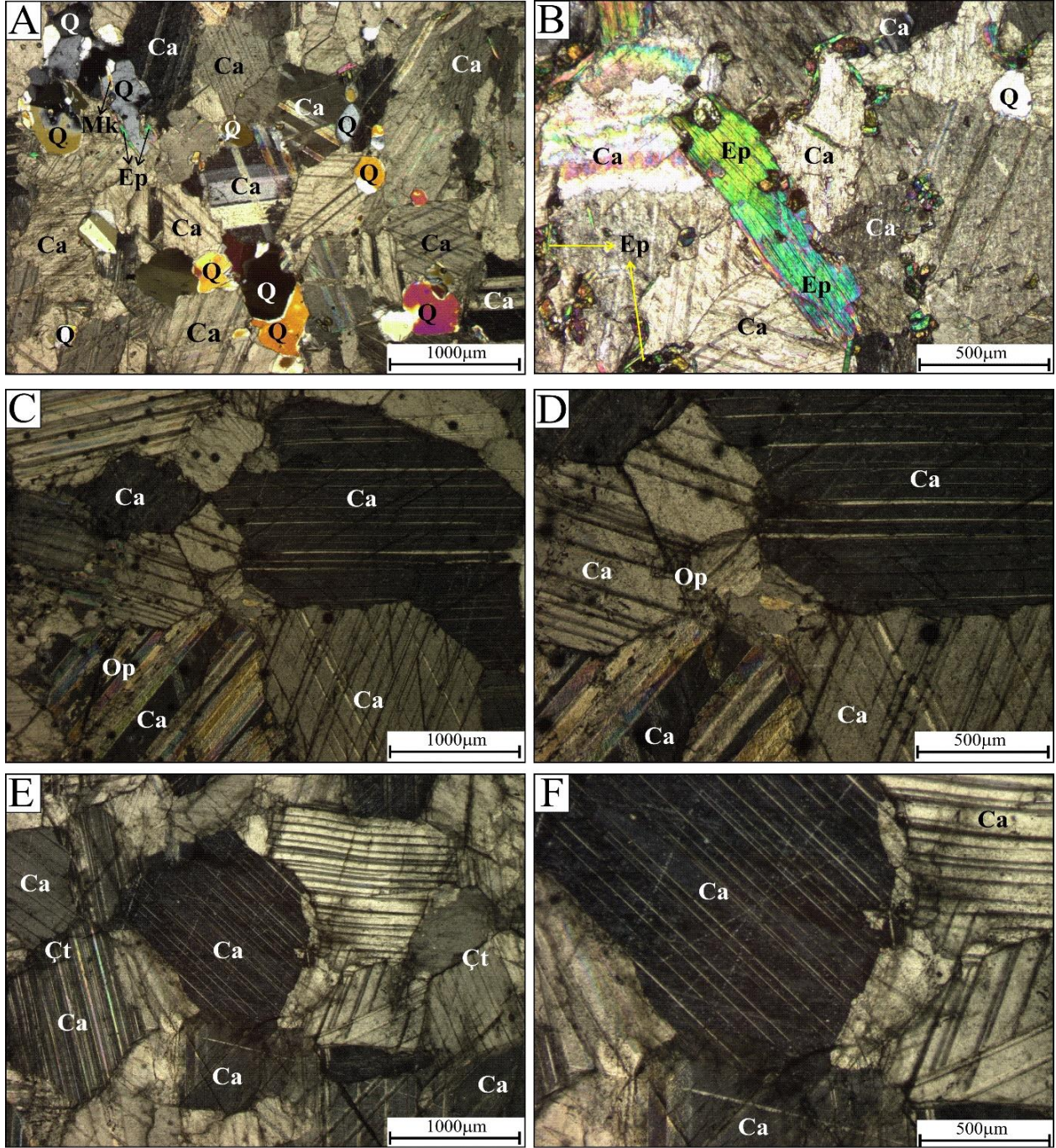
3.4.2. Polarizan mikroskop incelemeleri

Karahallı (Uşak) bölgesinden alınan mermer numuneleri üzerinde gerçekleştirilen mineralojik ve petrografik incelemelere göre XRD sonuçlarıyla uyumlu olarak kalsit kristallerinin ana bileşen olduğu saptanmıştır. Genel olarak numunelerde kalsit minerallerinin yaklaşık eş boyutlu, bazı seviyelerde yarı öz şekilli oldukları ve granoblastik doku özelliği gösterdikleri görülmüştür.

Özellikle yeşil/açık yeşil renkli mermerde (Me1) kalsit kristallerinin birleşme sınır hatlarında az oranda kuvars, epidot ve mika mineral türleri görülmüştür (Şekil 5 A ve B). Bu bulgular Gürçan vd. (2012)'nin saptamaları ile uyumludur. Gürçan vd. (2012) yaptıkları çalışmada Uşak Yeşil mermerinde CaO oranının %43.59 olduğunu; diğer yandan MgO



Şekil 4. A. Uşak-Karahallı mermerlerinin XRD grafikleri (c:kalsit; d:dolomit; s:kuvars), **B.** Karahallı (Uşak) mermerlerinin tane boyut dağılımı grafiği



Şekil 5. Karahallı-Uşak Bölgesi mermerlerin polarizan mikroskopla belirlenen görüntüleri (A-B Me1 nolu mermer; C-D Mm2 nolu mermer; E-F Mr3 nolu mermer) (Ca: Kalsit, Q: Kuvars, Mk: Mika, Ep: Epidot, Op: Opak mineral, Çt: Çatlak, Çapraz Nikol (NX) 1000 ve 500 büyütme)

içeriğinin %1.14, SiO₂ içeriğinin %12.31, Al₂O₃ içeriğinin %3.10, Fe₂O₃ içeriğinin %1.76 olmasını da Uşak Yeşil mermerinde epidot mineralinin varlığından kaynaklandığını belirtmişlerdir. Karahallı mermerlerinde amfibol grubu minerallerden hornblend ve aktinolit in çoğunlukta olduğu mermerlerin koyu yeşil renkte, epidot minerallerinin hakim olduğu mermerlerin ise açık yeşil renkte

olduğu belirtilmektedir (Kibici vd. 1992). Me1 kodlu numunede yer yer yuvarlak şekilli saçılmış taneler şeklinde kuvars kristalleri bulunmakta olup kuvars taneleri pürüzsüz yüzeylerinin dilinimsiz oluşu ile kalsit tanelerinden kolay bir şekilde ayrılmaktadır. Mm2 ve Mr3 kodlu mermerlerde ise kalsit kristallerinin birbirleriyle 120°'lik açılar yapacak köşeler oluşturacak şekilde birleşmiş oldukları

görülmektedir. Mm2 kodlu beyaz renkli mermerlerde kristal sınırları ve romboedrik dilinim izleri belirgin olup kristal sınırları boyunca yer yer opak minerallerinin varlığı belirgindir (Şekil 5 C ve D). Granoblastik doku ve polisentetik ikizlenme Mm2 kodlu numunelerde belirgin şekilde gözlenmiştir. Benzer şekilde Mr3 kodlu mermer örneğinde Mm2 kodlu örneğe göre kristal sınır hatları boyunca opak minerallerin varlığı daha az oranda olup ayrıca bu kesimlerde mikro yapılar belirgindir (Şekil 5 E ve F).

Mermer numunelerinin üzerinde yapılan tane boyut dağılımları inceleme sonuçlarına göre Me1 kodlu açık yeşil renkli mermerde toplam 55 adet ölçümün sonuçlarına göre minimum 177.6 µm, maksimum 1599.2 µm ve ortalama tane boyut değerinin ise 632.5 µm olduğu belirlenmiştir. Mm2 kodlu beyaz renkli mermerde toplam 30 adet ölçümün sonuçlarına göre minimum 411.4 µm, maksimum 2687.8 µm ve ortalama tane boyut değerinin 1171.3 µm olduğu; Mr3 kodlu açık gri renkli mermerde ise toplam 38 ölçüm sonucuna göre minimum 80.5 µm, maksimum 2116.6 µm ve ortalama tane boyut değeri 921.8 µm olan kalsit tanelerine sahip olduğu belirlenmiştir (Şekil 4B). Bu sonuçlara göre Me1 kodlu mermerler ince taneli mermer grubunda yer alırken, Mm2 ve Mr3 kodlu mermerler ince-orta taneli mermer grubunda yer almaktadırlar (Kun 2000).

3.5 Karahallı mermerlerinin fiziksel, mekanik, kimyasal, mineralojik ve petrografik özelliklerinin birlikte irdelenmesi

Kimyasal analiz sonuçlarına göre Uşak Yeşil mermeri diğer iki mermer türüne göre daha fazla miktarda SiO₂ (%5.06) içermektedir. SiO₂ içeriğinin Polarizan mikroskopta ve XRD çekimlerinde belirlenen kuvars (SiO₂) ve silikat minerallerinin (epidot (Ca₂(Al,Fe)₃Si₃O₁₂(OH) ve biyotit (siyah mika) (K(Mg,Fe)₃(Al,Fe)Si₃O₁₀(OH,F)₂)) varlığına bağlı olduğunu söyleyebiliriz. Yüksek SiO₂ içeriğine bağlı olarak Me1 kodlu mermerin Schmidt sertlik değeri (27.39) diğer mermer numunelerine göre daha büyük olduğu görülmektedir. Me1 mermerinin yüksek silis içeriğine bağlı olarak aşınma dayanımı değeri de daha yüksektir (Çizelge 4). Sertlik

mermerlerin ocaktan üretilme aşamasından atölyede kesilip cilalanma aşamasına kadar olumsuz bir parametre iken, pazarlanmaları aşamasında ise sert mermerler aşınmaya karşı dayanımlarının fazla olması, iyi cila almaları ve cilalarını uzun süre kaybetmemeleri nedenleriyle tercih edilmektedir (Şentürk vd. 1996).

Mineralojik-petrografik incelemelerle Uşak Yeşil mermerlerinde kuvars kristallerinin varlığı bu mermerlerde SiO₂'nin nispeten zenginleşmesine (%5.06 SiO₂) neden olmuştur. Bu bulgular XRD sonuçlarıyla uyumludur.

Me1 kodlu Uşak yeşil mermeri diğer iki mermer numunesine göre yüksek oranda TiO₂ (%0.16) ve Fe₂O₃ (%1.25) içerdiğinden, diğer mermerler beyaz renkli iken Me1 mermerinin rengi yeşilimsi ve daha koyudur. Bu mermer türünün içerdiği epidot ve mika mineral içerikleri mermere açık yeşil renk vermektedir. Mikalar, belirgin bir camsı veya inci parlaklığı ile opak ve yarı saydamdır. Farklı mika mineralleri, beyazdan yeşile veya kırmızıdan siyaha kadar değişen renkler gösterir (Nesse, 2000). Ayrıca, Me1 Uşak yeşil mermerinin diğerlerine göre nispeten daha yüksek oranda TiO₂ ve Fe₂O₃ ana oksit içeriğine sahip olması bu mermer örneğinin gerçek yoğunluk değerinin (2.923 gr/cm³) de diğer mermer numunelerine göre daha büyük olmasını sağlamaktadır.

Karahallı (Uşak) bölgesi mermerlerinin tek eksenli basınç dayanımı (TEB) ve eğilme dayanımı (ED) değerleri incelendiğinde bu değerlerin genel olarak düşük; darbe dayanımı ve nokta yükleme dayanımı değerlerinin ise yüksek olduğu görülmektedir. Bunun sebebi, Me1 kodlu numuneye ait polarizan mikroskop incelemeleri neticesinde kalsit, kuvars, epidot (Piemontid, Pistasit) mineralleri tespit edilmiştir. Ayrıca yapılan kimyasal analiz sonuçlarında SiO₂ ve Fe₂O₃ değerlerinin diğer mermer örneklerine (Mm2, Mr3) göre biraz daha yüksek olduğu görülmektedir. Me1 numunesinin kimyasal bileşim ve mineralojik içerik bakımından farklı olması bu duruma neden olmuştur.

Mermer numunelerinin darbe dayanım sonuçları incelendiğinde 27.2 kg.cm/cm³ ile 13.6 kg.cm/cm³

arasında değişim gösterdikleri görülmektedir. Mermer numunelerinde gözlenen farklılık mermerlerin hem mineralojik içeriklerinin hem de kimyasal bileşimlerinin farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Mm2 ve Mr3 kodlu mermerlerin petrografik özellikleri birbirlerine çok benzerlik göstermektedir. Mermerler iri kalsit tanelerinden oluşmuş olup, tane sınır ilişkileri keskin dokanaktır. Fakat Me1 kodlu mermerlerde ise kalsit tanelerinin sınırları boyunca epidot, kuvars ve az oranda mika minerallerinin yerleşmiş oldukları belirlenmiştir. Mermer örneklerinde gözlenen bu farklılıklar fiziksel ve mekanik değerlerin farklı olmasına neden olmuştur.

Mermerlerde sürtünmeden dolayı oluşan aşınma kaybı değerlerinin yüksek veya düşük olmasında, mermerlerin yüzey sertlik değerleri, petrografik özellikleri, mineralojik içerikleri ve kimyasal bileşimleri etkili olmaktadır. Bu kapsamda Schmit sertlik değerleri ile Böhme aşınma dayanım değerleri karşılaştırıldığında Schmit sertlik değerleri düşük olan mermer numunelerinde Böhme aşınma dayanım değerlerinin biraz daha düşük oldukları görülmüştür. Bu çalışmada kullanılan mermer numuneleri incelendiğinde, Böhme aşınma kaybı değerleri Karahallı açık yeşil mermerinde (Me1) $5.50 \text{ cm}^3/50\text{cm}^2$, Karahallı beyaz mermerinde (Mm2) $4.23 \text{ cm}^3/50\text{cm}^2$ ve Karahallı açık gri mermerinde ise (Mr3) $5.03 \text{ cm}^3/50\text{cm}^2$ bulunmuştur. Mermerlerin Böhme aşınma kaybı değerleri arasında çok yüksek bir fark olmamakla beraber, beyaz ve açık gri renkli mermerlere göre açık yeşil renkli mermerin Böhme aşınma kaybı değerleri kısmen daha yüksek çıkmıştır. Açık yeşil renkli (Me1) mermerde doluluk oranı değeri diğer mermerlere göre %96.55 kısmen düşüktür. Ayrıca açık yeşil renkli Me1 mermerinin tek eksenli basınç dayanım değerinin 874.8 kg/cm^2 daha düşük olduğu görülmektedir. Sonuç olarak, doluluk oranı ve tek eksenli basınç dayanım değerleri ile Böhme aşınma kaybı değerlerinin arasında doğrusal bir korelasyon olduğu gözlenmektedir. Açık yeşil renkli (Me1) mermerlerin bileşimlerinde epidot ve özellikle mika mineralinin varlığı Böhme aşınma kaybı değerlerinin yüksek çıkmasında önemli rol oynamıştır. Ayrıca kalsit tanelerinde gözlenen düşük alterasyonun da Böhme aşınma kaybı değerlerinin yüksek çıkmasına etki yapmıştır.

Mermer numunelerinin darbe dayanım sonuçları incelendiğinde 27.2 kg.cm/cm^3 ile 13.6 kg.cm/cm^3 arasında değişim gösterdikleri görülmektedir. Mermer numunelerinde gözlenen farklılık mermerlerin hem mineralojik içeriklerinin hem de kimyasal bileşimlerinin farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Mm2 ve Mr3 kodlu mermerlerin petrografik özellikleri birbirlerine çok benzerlik göstermektedir. Mermerler iri kalsit tanelerinden oluşmuş olup, tane sınır ilişkileri keskin dokanaktır. Fakat Me1 kodlu mermerlerde ise kalsit tanelerinin sınırları boyunca epidot, kuvars ve az oranda mika mineralinin yerleşmiş olduğu belirlenmiştir. Mermer örneklerinde gözlenen bu farklılıklar fiziksel ve mekanik değerlerin farklı olmasına neden olmuştur.

Karahallı (Uşak) mermerlerinin petrografik ve fiziko-mekanik özelliklerinin araştırıldığı bir çalışmada; mermerlerin renklerinin koyulaşması artıça mermerlerin dayanım değerlerinin kısmen arttığı ve koyu yeşil renkli Karahallı mermerlerinin açık yeşil renkli mermerlere göre daha izotrop özellikler gösterdikleri belirtilmektedir (Kibici vd. 2001).

Açık yeşil renkli (Me1) mermerinde SiO_2 değerinin %5.06 olduğu tespit edilmiştir. Mineralojik-petrografik ve XRD incelemelerinde tespit edilen kuvars ve silikat mineralinin varlığı Me1 kodlu mermerde SiO_2 'nin nispeten zenginleşmesine neden olmuştur. Me1 kodlu açık yeşil renkli mermerinde mineralojik-petrografik incelemelerle tespit edilen kuvars (SiO_2), mika ve epidot mineralinin varlığı Me1 kodlu açık yeşil renkli mermerlerin düşük porozite (%0.81) ve kısmen yüksek doluluk oranına (%96.55) neden olmuştur. Buna bağlı olarak da yüksek P-dalga hız değerine (4.33 km/sn) ulaşılmasına sebep olmuştur.

Karahallı (Uşak) bölgesinden alınan her üç mermer örneği üzerinde yapılan mineralojik-petrografik incelemelere göre, kimyasal ve XRD analiz sonuçlarıyla uyumlu olarak kalsit kristallerinin ana bileşen olduğu görülmüştür. Numunelerin CaO oranlarının %52.9 ile %55.4 arasında olduğu ve hesapla %94.42 ile %98.88 oranında kalsit minerali (CaCO_3) içerdikleri belirlenmiştir. Diğer numunelere göre tane boyutunun daha iri olduğu belirlenen

Mm2 kodlu örneğin (411.4 µm ile 2687.8 µm arasında) literatürle (Öztank ve Bacakoğlu, 2001) uyumlu olarak porozite oranının da daha yüksek (%0.95) olduğu görülmektedir. Mm2 kodlu numunenin yüksek porozite değeriyle uyumlu olarak atmosfer basıncında ağırlıkça su emme değeri de (%0.35) diğer iki numuneye göre daha yüksektir.

4. Tartışma ve Sonuç

Karahallı (Uşak) yöresine ait 3 adet mermer ocağından alınan numuneler üzerinde gerçekleştirilen fiziksel, mekanik, kimyasal ve mineralojik-petrografik özelliklerin tespitine yönelik testlerin sonucunda ulaşılan genel sonuçların değerlendirilmesi aşağıda sıralanmaktadır.

1- Karahallı (Uşak) bölgesi mermerleri üzerinde yapılan fiziko-mekanik deney sonuçları ile mineralojik petrografik özellikler ve kimyasal bileşim değerleri karşılaştırıldığında elde edilen sonuçların birbirleri ile uyumlu olduğu görülmüştür.

2- Karahallı mermerlerinin doluluk oranı değerlerinin %95.9-97.01 arasında olduğu belirlenmiştir.

3- Diğer iki mermer numunelerine göre Uşak Yeşil mermerinin daha fazla miktarda SiO₂ (%5.06), TiO₂ (%0.16) ve Fe₂O₃ (%1.25) içerdiği belirlenmiştir. SiO₂ içeriği yüksek olan Me1 mermerinin yüzey sertlik değerinin diğer numunelere göre yüksek olduğu görülmüştür. Genellikle yeşilimsi renk, metamorfizma sırasında büyüyen klorit veya epidottan kaynaklanmaktadır. Açık yeşil renkli Me1 mermerinin bileşimlerinde bulunan epidot ve kısmen biyotit türü mika mineral içeriklerinin mermerlere açık yeşil renk vermekte olduğu tespit edilmiştir.

4- Yöre mermerlerinde CaO'nun oransal olarak %52.9 ile %55.4 arasında olduğu ve hesapla %94.42-98.88 oranında kalsit minerali (CaCO₃) içerdikleri belirlenmiştir.

5- Mineralojik-petrografik incelemelerle Karahallı (Uşak) bölgesi mermerlerinde kalsitin ana mineral olduğu ve kalsit tanelerinin eş boyutlu ve bazı seviyelerde yarı öz şekilli oldukları ayrıca granoblastik doku özelliği gösterdikleri görülmüştür.

6- Karahallı (Uşak) mermerlerinde yapılan tane boyut ölçüm sonuçlarına göre açık yeşil renkli Me1

mermerinin minimum 177.6 µm, maksimum 1599.2 µm ve ortalama tane boyut değerinin ise 632.5 µm olduğu, beyaz renkli Mm2 mermerinde minimum 411.4 µm, maksimum 2687.8 µm ve ortalama tane boyut değerinin 1171.3 µm olduğu ve açık gri renkli (Mr3) mermerde ise minimum 80.5 µm, maksimum 2116.6 µm ve ortalama tane boyut değerinin 921.8 µm olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre, yöre mermerlerinin ince ve orta taneli mermer grubunda yer aldıkları saptanmıştır.

5. Kaynaklar

Akçakoca, H., Uysal, Ö. ve Topal, İ., 2003. Mermerlerin Kalite Kontrol Süreci Açısından Tekno-Mekanik Özelliklerinin Önemi. Türkiye IV. Mermer Sempozyumu (Mersem 2003) Bildiriler Kitabı, 18-19.

Arık, S., 2011. Finike (Antalya) Beydağları formasyonunun mermer olarak kullanılabilirliği ve ekonomik önemi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 88.

Atıcı, Ü., 2017. Gümüşler (Niğde) kalsitin fiziko-mekanik özelliklerinin değerlendirilmesi. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **6 (1)**, 151-157.

Aysal, N. ve Korkanç, M., 2002. Sivaslı (Uşak) mermer yataklarının jeolojik özellikleri ve mühendislik özellikleri. *İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yerbilimleri Dergisi*, **15**, 1-10.

Bağcı, M., 2020. Mineralogical, petrographic, and geochemical characterization of colored İsehisar marbles (Afyonkarahisar, W-Turkey). *Turkish Journal of Earth Sciences*, **29**, 946-975.

Bieniawski, Z.T., 1975. The point-load test in geotechnical practice. *Engineering Geology*, **9 (1)**, 1-11.

Bilim, N. ve Dündar, S., 2019. Dünya Doğal Taş Sektörü İçerisinde Ülkemizin Konumu. Türkiye 10. Uluslararası Mermer ve Doğal Taş Kongresi ve Sergisi Bildiriler Kitabı, 137-142.

Büyüksağış, İ.S. ve Gürcan, S., 2005. ASTM ve TSE doğal taş standartlarının karşılaştırılması, *Madencilik*, **44 (1)**, 33-41.

Çelik, M.Y. ve Kırılıveren, S., 2012. Çamlıbel-Ulubey (Uşak) beyaz mermerinin jeolojik ve fiziko-mekanik özelliklerinin araştırılması. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, **8 (1)**, 44-53.

- Deere, D.U. and Miller, R.P., 1966. Engineering Classification and Index Properties for Intact Rock. Air Force Weapons Laboratory, Technical Report, AFWLTR-65-116, University of Illinois.
- DPT 2001. Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu: Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Yapı Malzemeleri II (Mermer-Granit-Yapı Taşları-Arduvaz (sleyt)) Çalışma Grubu Raporu, 8. Beş Yıllık Kalkınma Planı, Yayın No: DPT:2616-ÖİK:627, Ankara.
- Gürcan, S., 2012. Doğaltaş standartlarının incelenmesi ve CE işareti, *Madencilik*, **51 (1)**, 35-41.
- Gürcan, S., Yıldız, A. ve Göktaş, R.M., 2012. Mermerlerin parlatılmasında mineralojik özelliklerin etkisi. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, **28 (4)**, 280-286.
- ISRM, 1981. Rock Characterization, Testing and Monitoring, International Society of Rock Mechanics Suggested Methods, Pergamon Press, Oxford.
- ISRM, 1985. Suggested method for determining point load strength. *International Journal of Rock Mechanics, Mining Sciences and Geomechanical Abstracts*, **22 (2)**, 51-60.
- Kalkınma Bakanlığı 2018. Madencilik Politikaları Özel İhtisas Komisyonu Raporu. 11. Kalkınma Planı (2019-2023), Ankara.
- Karahan, D.S., 2018. Dünyada Ve Türkiye’de Doğal Taşlar. MTA Fizibilite Etütleri Daire Başkanlığı, Mart 2018, Ankara.
- Kibici, Y., Mutlutürk, M., Karagüzel, R. ve Bilgin, A., 1992. Karahallı (Uşak) yöresinin jeolojisi ve yöre mermerlerinin mühendislik özellikleri. *Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni*, **7**, 165-178.
- Kibici, Y., Karagüzel, R. and Mutlutürk, M., 2001. An investigation on the petrographical and physico-mechanical properties of the marbles from Karahallı, Uşak-Turkey. 4th. International Symposium on Eastern Mediterranean Geology, Isparta, Turkey, 359-369.
- Kun, N., 2000. Mermer Jeolojisi ve Teknolojisi. Tezer Matbaası, İzmir, 149.
- Matula, M., Dearman, W.R., Golodkovskaja, G.A., Pahi, A., Radbruch-Hall, and Dorothy H., 1979. Classification of rocks and soils for engineering geological mapping. part 1: Rock and soil materials. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, **19**, 364-371.
- Moos, A. and Quervain, F., 1948. Technische Gesteinskunde. Part of the Book Series: Lehrbücher und Monographien aus dem Gebiete der exakten Wissenschaften (LMW, V.15), Verlag Birkhauser, Basel.
- Nesse, W.D., 2000. Introduction to Mineralogy XIII. Edition. Oxford University Press, New York, Oxford, 442.
- Öztank, N. ve Bacakoğlu, T.F., 2001. Mermer-Kireçtaşı ve Konglomeraların Yapılarda Kullanımını Denetleyen Parametreler. Türkiye III. Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 123-131.
- Şentürk A., Gündüz L., Tosun Y., İ. ve Sarıışık A. 1996. Mermer Teknolojisi. Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Isparta.
- TS EN 13755, 2014. Doğal Taşlar-Deney Yöntemleri: Atmosfer Basıncında Su Emme Tayini. TSE, Ankara, 10.
- TS EN 1936, 2010. Doğal Taşlar-Deney Yöntemleri: Gerçek Yoğunluk, Görünür Yoğunluk, Toplam ve Açık Gözeneklilik Tayini. TSE, Ankara, 10.
- TS EN 14579, 2006. Doğal Taşlar-Deney Yöntemleri: Ses Hızı İlerlemesinin Tayini. TSE, Ankara, 14.
- TS EN 1926, 2000. Doğal Taşlar-Deney Yöntemleri: Tek Eksenli Basınç Dayanımı Tayini. TSE, Ankara, 10.
- TS EN 13161, 2009. Doğal Taşlar-Deney Yöntemleri: Sabit Moment Altında Eğilme Dayanımının Tayini. TSE, Ankara, 17.
- TS EN 14157, 2005. Doğal Taş-Aşınma Direncinin Tayini. TSE, Ankara, 21.
- TS EN 12407, 2008. Doğal Taşlar-Deney Yöntemleri: Petrografik İnceleme. TSE, Ankara, 20.
- TS EN 14158, 2004. Doğal Taşlar-Deney Yöntemleri: Kopma Enerjisinin Tayini. TSE, Ankara.
- Zafer Kalkınma Ajansı, 2012. TR33 Bölgesi Mevcut Maden Kaynakları ve Stratejiler. Kütahya.

İnternet Kaynağı

- 1- Ticaret Bakanlığı, 2020. Doğal Taşlar Sektör Raporu. Ankara. (Erişim Tarihi: 10.04.2022). <https://ticaret.gov.tr/data/5b87000813b8761450e18d7b/Do%C4%9Ffal%20Ta%C5%9Fflar%20Sekt%C3%B6r%20Raporu%202021.pdf>

Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde Rezervuar Kayacı Olan Dolomitlerin Kümelmiş İzotop Sinyalleri

Deniz ATASOY^{1,2*}, Aylin GEÇER³, Arzu AKTOSUN⁴, Aynur GEÇER BÜYÜKUTKU²

¹ Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı, Arama Daire Başkanlığı, Ankara

² Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Ankara

³ Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Ankara

⁴ Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı, Araştırma Geliştirme Merkezi Daire Başkanlığı, Ankara

Sorumlu yazar e-posta: datasoy@tpao.gov.tr ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-7889-7100>
e-posta: agecer@eng.ankara.edu.tr ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-7470-9560>
e-posta: aaktosun@tpao.gov.tr ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-0533-2501>
e-posta: butku@eng.ankara.edu.tr ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-4058-0527>

Geliş Tarihi: 19.04.2022

Kabul Tarihi: 05.08.2022

Öz

Yeni nesil bir jeotermometre yöntemi olan kümelmiş izotop tekniği derin gömülmüş kayaçların diyajenetik süreçlerinin iyi anlaşılması kabiliyetine sahiptir. Bu yöntem kullanılarak, Kambriyen-Eosen yaş aralığındaki altı birimden, ~1-3.2 km gömülme derinliğine sahip toplamda 28 adet dolomit üzerinde ölçüm yapılmıştır. Bu çalışmada, bölgesel olarak seçilmiş Güneydoğu Anadolu rezervuarlarının karot ve sondaj kesintilerinden elde edilen dolomit örneklerinin paleosıcaklıkları ve dolomitleşme sularının $\delta^{18}\text{O}$ değerleri belirlenmiştir. Kümelmiş izotop yöntemi ile 37.2-161.9°C aralığında değişen sıcaklık değerleri ve +0.9-9‰ aralığında değişen dolomitleşme sularının $\delta^{18}\text{O}$ değerleri bulunmuştur. Bu çalışma petrografik destekli olarak, paleosıcaklık ve dolomitleşme sularının $\delta^{18}\text{O}$ dağılımlarının dört farklı grup altında toplandığını kanıtlarıyla ortaya çıkarmıştır. İlk grup, Hoya Formasyonu için $43\pm 7^\circ\text{C}$ olarak erken dolomitleşme sıcaklığını ve Mardin Grubu-ED için 53°C kısmi yeniden kristallenme sıcaklıklarını yansıtmaktadır. Bu değerler depolanma yüzeyindeki yoğun buharlaşma ve/veya sığ gömülme olayıyla ilişkilidir. İkinci grubu oluşturan Cudi Grubu dolomitleri, 64.3°C - 93.8°C arasında değişen sıcaklık ve 9‰'e varan $\delta^{18}\text{O}_{\text{su}}$ değerleri sağlamaktadır. Bu değerler, oldukça yoğun buharlaşmış deniz sularının meydana getirdiği yeniden kristallenme olayını temsil etmektedir. Üçüncü grubu oluşturan Mardin Grubu-GD ve Koruk Formasyonu dolomitlerinin kümelmiş izotop sinyalleri 134.5°C -8‰'e varan sıcaklık ve $\delta^{18}\text{O}_{\text{su}}$ değerlerine dönüştürülmüşlerdir. Bu değerler derin gömülme koşulları altında tamamlanmış yeniden kristallenme olayı ile karakterize edilmektedirler. En yüksek sıcaklık ve $\delta^{18}\text{O}_{\text{su}}$ değerlerine sahip son grubun değerleri ise 140°C ve +6.5‰'i aşmaktadır. Bu sonuçlar kalın ve masif dolomit oluşumlarından sorumlu olan hidrotermal suların varlığını gösterdiği şeklinde yorumlanmaktadır. Sonuç olarak, bu araştırma petrol rezervuarlarını meydana getiren dolomitleşme olayının şifrelerini çözmeye yardımcı olan kümelmiş izotop yönteminin yüksek potansiyelini ortaya çıkarmaktadır.

Anahtar kelimeler

Cudi grup;
Dolomit;
Dolomitleşme;
Kümelmiş izotoplar;
Mardin grup;
Paleotermometre

Clumped Isotope Signatures of Dolomites as Reservoir Rocks, Southeast Anatolia

Abstract

Clumped isotope technique is a new generation of geothermometry that possesses a great ability to understand diagenetic processes in deeply-buried ancient rocks well. A total of 28 dolomite samples from Cambrian to Eocene aged dolomitized rocks across burial depth range of ~1-3.2 km were measured using this method. In this study, the paleotemperature of dolomites and $\delta^{18}\text{O}$ of the dolomitizing water values have been determined in a regional selection of cores and drilling cuttings obtained from dolomite reservoirs of SE Anatolia. The clumped isotopes found a temperature range of 37.2-161.9 °C and $\delta^{18}\text{O}_{\text{fluid}}$ of +0.9‰ to 9‰. Our study revealed evidences supported by petrographic evaluation for four distinct patterns in the paleotemperatures and $\delta^{18}\text{O}_{\text{fluid}}$. The first group reflects early dolomitization temperature of $43\pm 7^\circ\text{C}$ for Hoya Formation and partial recrystallization temperature of 53°C for Mardin Group-ED, linking to intensive evaporation effect at the surface and/or shallow burial event. The second group consisting of Cudi Group dolomites provided temperature values between 64.3°C and 93.8°C , calculating $\delta^{18}\text{O}_{\text{fluid}}$ values until 9‰. It is considered to represent recrystallization temperature occurred by highly evaporative marine waters. Clumped isotope signatures consisting of

Keywords

Cudi group;
Dolomite;
Dolomitization;
Clumped isotopes;
Mardin group;
Paleotermometry

Mardin Group-GD ve Koruk Formation dolomites from the third group were converted into temperature and $\delta^{18}\text{O}_{\text{fluid}}$ values up to 134.5 °C and 8‰. These values are characterized with punctuated recrystallization event under deep burial conditions. Last group having highest T (°C) and $\delta^{18}\text{O}_{\text{fluid}}$ values exceed 140 °C and +6.5‰. These results are interpreted to display existence of hydrothermal fluids responsible for thick dolomite depositions. Therefore, this research unveils huge potential of clumped isotope method to help decode dolomitization events that produced oil reservoirs.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

Dünyada geniş bir yayılım gösteren dolomit oluşumları önemli madenlere (Pb-Zn) ve özellikle hidrokarbonlara ev sahipliği yapmaktadır (Zenger *et al.* 1980). Dolomitler, direk çökelerek (birincil dolomitler) veya diyajenez-gömülme süreçleri boyunca daha önceden depolanmış aragonit veya kalsit mineralleri ile yer değiştirerek (dolomitleşme-ikincil dolomitler) oluşmaktadır (Machel 2004). Dünyanın birçok yerinde milyonlarca yıl önce oluşmuş dolomit depolanmalarının görülmelerine karşılık, günümüz koşullarında çökelmekte olan güncel dolomitlere pek rastlanmamaktadır (MacKenzie and Andersson 2013). Bunun yanı sıra, dünyada yüzey sıcaklıklarında dolomitlerin oluştuğu bilinmesine rağmen laboratuvar koşullarında hala inorganik olarak dolomit çökelişi gerçekleştirilememektedir (Land 1980). Bu sebeplerden dolayı, dolomitlerin oluşum mekanizmaları hala tam olarak anlaşılamamaktadır.

Araştırmacılar dolomit oluşumlarını açıklamak için günümüze kadar eojenetik (karışım ve Coorong modeli), mezojenetik (gömülme dolomitleşmesi) ve tektonikle ilişkili dolomitleşme (telojenetik-hidrotermal dolomitleşme) gibi birçok model üretmişlerdir (Warren 2000). Dolomit oluşum mekanizmalarındaki belirsizlikler nedeniyle dolomitler üzerine yıllardır süregelen çalışmalar yapılmış olmasına rağmen, dolomitlerin dolomitleşme sıcaklıkları ve dolomitleşme sularının kökeni hakkında tartışmalar hala devam etmektedir (Millan *et al.* 2016).

Jeolojik tarihçe boyunca dolomitlerin büyük bir bölümü depolanma sonrası gömülme sonucunda oluşmuşlardır (Hardie 1987). Gömülme sürecinde sıcaklık rezervuarlardaki birçok süreci etkileyen önemli bir parametredir (Bonifacie *et al.* 2017). Örneğin; sıcaklık faktörü organik diyajenez

esnasında organik maddenin olgunlaşma derecesini belirlemektedir (John 2015).

Öbür yandan, rezervuar koşullarında gömülmeyle birlikte artansıcaklık değerleri karbonat rezervuarlarında dolomitleşme, yeniden kristallenme vb. gibi inorganik diyajenetik modifikasyonlara neden olmaktadır (MacDonald *et al.* 2018). Bu süreçler rezervuarın petrofiziksel (gözeneklilik-geçirgenlik) parametrelerini değiştirmektedir. Bu sebeple, rezervuar kayaçların paleosıcaklıklarının hassas olarak ölçülmesi rezervuar karakterizasyon çalışmalarının yürütülmesinde önem arz etmektedir. Ayrıca, sıcaklık değerlerinin gömülme derinliği bilgileri ile birlikte kullanılması sedimanter basenlerin diyajenez ve termal tarihçelerinin ortaya çıkarılmasında oldukça etkin kullanılmaktadır (Mangenot *et al.* 2018).

Karbonat basenlerde diyajenetik sıvıların kimyasal ve termal koşullarının araştırılmasında kararlı izotop ve sıvı kapanım tekniklerine başvurulmaktadır (Land 1980, Morse and McKenzie 1990). Özellikle ince kristalli karbonatlarda sıvı kapanımlarının bulunmaması veya analiz edilecek büyüklükte olmaması söz konusu olabilmektedir (Goldstein and Reynolds 1994). İlaveten, kapanım sonrası süreçler (gerilme, sızdırma ve yeniden dolma vb.) sıvı kapanım mikrotermometresinin güvenilirliğini etkilemektedir (Mangenot *et al.* 2018).

Diğer bir teknik olan Urey (1947)'nin karbonat oksijen termometresinde, paleosıcaklık değerleri karbonat mineralinin $\delta^{18}\text{O}$ ($\delta^{18}\text{O}_{\text{mineral}}$) ve mineralin çökelişini sağlayan suyun oksijen izotop kompozisyonunun ($\delta^{18}\text{O}_{\text{su}}$) bilinmesiyle hesaplanmaktadır (Epstein *et al.* 1951). Bu hususta, 60 yılı aşkın süredir $\delta^{18}\text{O}_{\text{mineral}}$ değerleri rutin olarak ölçülebilmektedir. Fakat $\delta^{18}\text{O}_{\text{su}}$ değerlerinin tahmin edilmesi ve/veya direk ölçülmesi ise oldukça güçtür.

Modern bir paleotermometre olan kümelenmiş izotop (clumped isotopes) yönteminin çalışma prensibi, karbonat minerallerinde yer alan karbon ve oksijen izotoplarının aralarındaki kimyasal bağ sayılarının termodinamik bir ilişkiye bağlı olması esasına dayanır (Schauble *et al.* 2006a). Termodinamik duraylılık nedeniyle ağır ve nadir ($\delta^{13}\text{C}$ ve $\delta^{18}\text{O}$) izotoplar düşük sıcaklıklarda kümelenme (clumping) eğilimi sergilerken, yüksek sıcaklıklarda bu izotopların birbirleriyle yapmış olduğu bağların sayısı azalmaktadır (Spencer and Kim 2015).

İzotop çalışmalarında karbonatların oluşum sıcaklıklarındaki $^{13}\text{C}^{18}\text{O}^{16}\text{O}$ iyon gruplarının bağ sayısının, 1000°C sıcaklıktaki izotopların rastgele dağılım sergilediği bağ sayısına oranı Δ_{47} değeri olarak tanımlanmaktadır (Eiler 2007). Bu değer, karbonatların $\delta^{18}\text{O}_{\text{mineral}}$ ve $\delta^{18}\text{O}_{\text{su}}$ değerlerinden bağımsız olarak paleosıcaklıkların elde edilmesini sağlamaktadır (Winkelstern and Lohmann 2016).

Kümelenmiş izotop jeokimyasında çığır açan çalışması olan Ghosh vd. (2006)'dan beri, bu teknik paleoklim (Affek *et al.* 2008), paleoaltimetre (Huntington *et al.* 2010), diyajenez (Barata *et al.* 2015; John 2015) ve dolomitleşme (Ferry *et al.* 2011; Sena *et al.* 2014, Murray and Swart 2017) gibi jeolojide tartışılmalı bir çok konuda günümüze kadar başarılı bir şekilde uygulanmıştır. Birçok çalışmacı tarafından deneysel olarak sıcaklık denklemleri sentetik kalsitler (Dennis and Schrag 2010, Zaarur *et al.* 2013, Tang *et al.* 2014) ve biyojenik karbonatlar (Tripathi *et al.* 2010, Wacker *et al.* 2013) analiz edilerek elde edilmiştir. Tekniğin geliştirildiği yıllarda dolomit rezervuarlardan alınmış örnekleri çalışılan sınırlı sayıda çalışmacı tarafından paleosıcaklıkların ölçülmesinde kalsit bazlı sıcaklık formülleri kullanılmıştır (MacDonald *et al.* 2015, 2018, Swart *et al.* 2016, Millan *et al.* 2016).

Son yıllarda, 25°C ve 300°C oluşma sıcaklıklarına sahip dolomitlerin analiz edilmesiyle evrensel dolomit-sıcaklık kalibrasyon formülleri üretilmiştir (Bonifacie *et al.* 2017, Müller *et al.* 2019). Önemli bir husus olarak, Bonifacie vd. (2017) tarafından kalsit ve dolomit sıcaklık kalibrasyon formülleri arasında

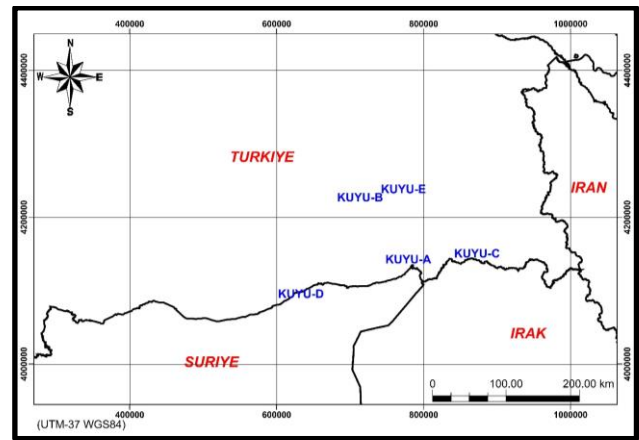
önemli bir fark olmadığı ve 25-300°C arasında dolomitlerin paleosıcaklıklarının kümelenmiş izotop yöntemiyle hassas bir şekilde ölçülebileceği ispatlanmıştır.

Bu çalışma, kümelenmiş izotop tekniğini Güney Doğu Anadolu (GDA) Bölgesi'nde Paleozoyik'ten Tersiyer'e kadar değişik yaşlarda, ~1-3.3 km arasında derinlikte gömülmüş ve çeşitli kökenlerdeki dolomitlere uygulamayı amaçlamaktadır.

Çalışmada, beş kuyudan elde edilen rezervuar/rezervuar potansiyeli taşıyan dolomitlerin paleosıcaklıkları elde edilmiş ve bu sıcaklıkların hangi dolomitleşme sürecini yansıttığı hakkında yorumlar yapılmıştır. Daha sonra, kümelenmiş izotop sıcaklıklarından dolomitleşme olayını sağlayan diyajenetik sıvıların $\delta^{18}\text{O}$ değerleri hesaplanarak, farklı dolomitleşme mekanizmalarının kendilerine özgü aralıkta sıcaklık- $\delta^{18}\text{O}$ değerleri yansıtmadıkları ortaya çıkarılmıştır.

2. Çalışma Alanı Jeolojisi ve Stratigrafisi

Çalışma alanı, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde Arap Plakası'nın kuzeyinde yer almaktadır (Şekil 1). Bu alanda Prekambriyen'den başlayarak GDA basenlerinde (Akçakale, Diyarbakır, Hakkari) sedimanter kayalar depolanmıştır. Bu çökelimler Perinçek vd. (1992) tarafından 12 gruba ayrılmaktadır (Şekil 2).



Şekil 1. GDA Bölgesi'nde çalışılan kuyuları gösterir lokasyon haritası

Daha önce bahsedildiği gibi, bu çalışma Kambriyen-Eosen yaş aralığındafarklı gruptaki formasyonlardan

alınan dolomit örnekleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu bölümde, değişik dolomitleşme modelleriyle oluşmuş dolomitlerin dolomitleşme ortamlarının daha iyi anlaşılması için örneklemlerin yapıldığı grup ve formasyonlar hakkında özet bilgilere yer verilmiştir.

Ü.SİSTEM	SİSTEM	GRUP	FORMASYON	LİTOLOJİ	HEDEF	
SENOZOYİK	PLİYO-KUVATERNER		ALÜVYON			
	MİYOSEN	SILVANI	ŞELMO			
			LİCE			
			FIRAT			
	OLİGOSEN	MİDYAT	GAZİANTEP			
			GERMİK			
	EOSEN	MİDYAT	HOYA			
			GERÇÜŞ			
	MESOZOYİK	PALEOSEN	ŞIRNAK	BEÇİRMAN		
				ÜST GERMAV		
ALT GERMAV				ALT SINAN		
GARZAN						
KASTEL				BOZOVA		
KRETASE		MARDİN	SAYINDERE	BELOKA		
			KARABABA			
			DERDERE			
			SABUNSUYYU			
			AREBAN			
JURA	CUDI	LATDAĞI				
		YOLAÇAN				
		DİNÇER				
		KOZLUCA				
		TELHASAN				
TRİYAS	CUDI	ÇAMURLU				
		GİRMELİ				
		BAKÜK				
		UZUNGEÇİT				
		ULUDERE				
PALEOZOYİK	PERMIYEN	TANIN	YONCALI			
			GOMANİBRİK			
	KARBONİFER	ZAP	KAŞ			
			KÖPRÜLÜ			
	DEVONİYEN	DIVARBAKIR	KAYAYOLU			
			HAZRO			
	SİLURİYEN	HABUR	DADAŞ			
			BEDİNAN			
	ORDOVİSİYEN	HABUR	SEYDİŞEHİR			
			SOSİNK			
KAMBRIYEN	DERİK	KORUK				
		SADAN				
PREKAMBRIYEN	DERİK	TELBESEMİ				

Şekil 2. Çalışma alanının genelleştirilmiş stratigrafik kolon kesiti. Perinçek vd. (1992)'den uyarlanmıştır. Çalışılan formasyonlar stratigrafik kolonun sağ tarafındaki dikdörtgenlerle gösterilmektedir

2.1. Derik Grubu

Kambriyen ve öncesi çökellerden oluşan Derik Grubu alttan üste doğru Telbesmi, Sadan, Koruk ve Sosink formasyonlarından oluşmaktadır. Orta Kambriyen yaşlı sığ denizel ortamda depolanmış Koruk Formasyonu, altında Sadan Formasyonu yer alırken ve üzerine gelen Sosink Formasyonu ile geçişlidir ve Arap Plakası'nda oldukça geniş bir yayılıma sahiptir (Şenalp vd. 2018).

Koruk Formasyonu'nun algal kireçtaşları kaynak kaya potansiyeline sahip olması ve dolomitlerin

rezervuar kaya özelliği sergilemesi nedeniyle hidrokarbon aramacılığı açısından önem arz etmektedir (Şenalp vd. 2021).

2.2. Diyarbakır Grubu

Grup alttan üste doğru Dadaş, Hazro ve Kayayolu formasyonlarından oluşmaktadır (Perinçek *et al.* 1992). Hazro Yükselimi'nde yüzeylendiği bilinen Erken-Orta Devoniyen yaşlı Hazro Formasyonu, Güven vd. (1982) tarafından litolojik olarak beş üyeye (F1, F2, F3, F4 ve F5) ayrılmıştır. Hazro Formasyonu'nun F4 Üyesi genel olarak gel-git düzlüğü depolanma ortamının ürünü olan şeyl, anhidrit ve dolomit litolojisinden meydana gelmektedir.

2.3. Cudi Grubu

Permo-Triyas'ta yaşanan Neo-Tetis Okyanusu'nun güney kolunun açılmasından sonra Arap Plakası'nın pasif kıta kenarında Cudi Grubu çökelmiştir (Fontaine *et al.* 1989). Grubun genel litolojisi çoğunlukla dolomitler, evaporitler ve şeyllerden oluşmaktadır. Mardin Yükselimi eteklerinde çökelen Cudi Grubu olarak adlandırılan bu istif alttan üste doğru yedi formasyona ayrılmaktadır; Bakük, Girmeli, Çamurlu, Telhasan, Kozluca, Dinçer ve Yolaçan formasyonları (Salem *et al.* 1984).

2.3.1. Bakük Formasyonu

Gel-git arası/üstü ortamda depolanmış Orta Triyas yaşlı Bakük Formasyonu, Cudi Grubu'nun en yaşlı ve en kalın birimi olarak istifin 1/3'ünü oluşturmaktadır. Formasyon organik maddece zengin kaynak kaya, yer yer gözenekli dolomitlerin var olduğu rezervuar kaya ve üst kısımlarda örtü kaya niteliğindeki çoğunlukla evaporitlerin oluşturduğu seviyelere sahiptir.

2.3.2. Çamurlu Formasyonu

Cudi Grubu'nun ilk çökel kaya döngüsü olan Bakük-Girmeli dolomit-evaporit ardalanması üzerine hidrokarbon üretiminin yapıldığı şelf, gel-git, lagün depolanma ortamında çökelmiş Çamurlu Formasyonu gelmektedir. Çamurlu-Telhasan birimleri, Cudi Grubu'nun ikinci dolomit-evaporit depolanma döngüsü olarak Bakük-Girmeli

Formasyonu üzerine gelmektedir (Salem *et al.* 1984).

2.4. Mardin Grubu

Neo-Tetis Okyanusu'nun güney kolu Apsiyen'den Erken Kampaniyen'e kadar kapanmaya başlamaktadır (Rigo de Righi and Cortesini 1964). Mardin Grubu, Geç Jura ve Erken Kretase dönemi faylanmaların oluşturduğu horst-graben sistemlerinin Apsiyen transgresyonu ile aşılmasıyla çökelmeye başlamıştır (Temple and Perry 1962).

Kuzeyden güneye doğru ilerleyen nap bindirmesi nedeniyle kıvrımlanmalar yaşanırken, Arap Levhası'nın pasif kıta kenarında Mardin Grubu bir karbonat platformu-yarı sınırlı/sınırlı sığ deniz ve şelf ortamında depolanmıştır (Cater and Gillcrist 1994).

Küresel deniz suyu değişimleri tarafından kontrol edilen grubun depolanması; Areban-Sabunsuyu (I), Derdere (II) ve Karababa formasyonları (III) olarak üç çökel kaya döngüsü ile tanımlanmaktadır (Çelikdemir *et al.* 1991). Grup, GDA Bölgesi'nin hidrokarbon üretimi açısından en üretken birimdir.

2.5. Midyat Grubu

Arap platformunun otokton istiflerinden biri olan Orta-Üst Eosen yaşlı Hoya Formasyonu sınırlı/yarı sınırlı sığ karbonat platformu, sığ şelf ve lagün depolanma ortamlarında çökelmiştir (Perinçek 1978b).

Orta Eosen'de yaşanan genişleme tektoniği nedeniyle GDA Bölgesi'nin güneyinde geniş ölçekli bir transgresyon ile kalın ve masif Hoya Formasyonu karbonatları çökelirken kuzeyde Maden Baseni oluşmuştur (Perinçek *et al.*, 1992). Hoya karbonatları Mardin Yükselimi gibi alanlarda aşınırken (Rigo de Righi and Cortesini 1964), çalışmanın yapıldığı alanda aşınmaya maruz kalmamıştır. Orta Eosen sonrasında Maden Baseni sıkışma tektoniği etkisiyle kapanmış ve Bitlis Metamorfikleri ve diğer allohton birimler imbrike bir sistemle Maden Kompleksinin üzerine gelmiştir (Perinçek *et al.* 1992).

Hoya Formasyonu GDA Bölgesi'nde yaklaşık 9000 km²'lik bir alanda yüzeylenmektedir. Hoya Formasyonu'nun eşleniği olan Pila Spi Formasyonu'nun Irak'ta rezervuar kaya olması nedeniyle (Al-Qayim and Othman 2012), ülkemiz sınırları içerisinde gömüldüğü alanlarda rezervuar kaya potansiyeli taşımaktadır.

3. Materyal ve Metot

3.1. Petrografik analizler

Türkiye Petrolleri A.O'nun 5 adet petrol kuyusuna ait karotlardan ve sondaj kesintilerinden elde edilen örneklerin makroskobik olarak incelenmesinden sonra 52 adet petrografik ince kesit yaptırılmıştır. Araştırma kapsamında, petrografik bir çalışma Sibley ve Gregg (1987) tarafından önerilen terminoloji kullanılarak dolomit kristallerinin dağılımı (unimodal-polimodal) ve kristal sınırlarının şekli (özşekilli-idiomorfik, yarıözşekilli-hipidomorfik veya özşekilsiz-ksenomorfik) gözönüne alınarak TPAO AR-GE Merkezi laboratuvarlarında yürütülmüştür.

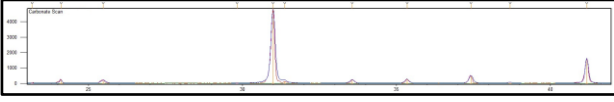
3.2. Numunelerin hazırlanması

Petrografik analizlerin tanımlanması ile 28 adet dolomit örneği izotop analizleri için belirlenmiştir. Seçilen numuneler havanda dövülerek toz haline getirilmiştir. Kontaminasyon olmaması için havan her seferinde damıtılmış su ile yıkanmış ve kurutulmuştur.

3.3. X-ışınları Kırınımı (XRD) analizleri

Dolomit örneklerin mineralojik bileşimlerini belirlemek amacıyla XRD analizleri yapılmıştır. Örneklerin XRD çekimleri University of Miami jeokimya laboratuvarında yer alan Panalytical X-pert Pro cihazında gerçekleştirilmiştir.

Analizlerde dolomit örnekleri Swart vd. (2002, 2009) tarafından önerilen karbonat taraması analizine tabi tutulmuştur. 20 dk'lık analiz süresi sonucunda elde edilen pikler baz alınarak örneklerin aragonit, kalsit ve dolomit içerikleri belirlenmiştir. Tarama 23 ve 32° 2θ (CuKα) aralığında gerçekleştirilmiştir. Örneklerde ≤%5 kil mineralleri bulunmaktadır.



Şekil 3. HD-1 dolomit örneğinin karbonat taraması analiz sonucu

Kalsit mineral içeriğine sahip örnekler 2 saat boyunca asetik asit ile çözülerek kimyasal olarak dolomitlerden ayrılmıştır (Swart and Melim 2000). Geriye kalan örnekler %100 dolomit içeriğine sahip olana kadar kimyasal izolasyona maruz bırakılmıştır. Yeniden XRD çekimleri tekrarlanarak her bir örneğin %100 dolomit içeriğine sahip olduğu konusunda emin olunmuştur.

3.4. Kümelmiş İzotoplar

Ortalama 12 mg ağırlığındaki dolomit örnekleri University of Miami'de yer alan gaz saflaştırma ünitesinde 90°C sıcaklıktaki %103'lük fosforik asit ile tepkimeye sokulmuştur.

Reaksiyon sonrası açığa çıkan CO₂ gazı sıvı nitrojen ile hapsedilirken, su buharı vakum sistemi ile hattan dışarıya atılmıştır. Bu aşamada Murray vd. (2016) ve Staudigel vd. (2018) tarafından detayları bahsedilen prosedür takip edilerek elde edilen saf CO₂ gazı cam bir tüpün içerisine konarak MAT 253 ve MAT 253 Plus kütle spektrometrelerine yüklenmiştir.

Üç saatlik analiz süresi boyunca izotop değerleri bilinen referans gaz ile dolomit numunesinden alınan CO₂ gazının birlikte değerlendirilmesiyle izotop ölçümleri tamamlanmıştır. Kümelmiş izotop sonuçları Dennis vd. (2011) tarafından önerilen referans çalışmaya tabi tutularak doğrulanmıştır. 90°C sıcaklıkta analiz yapan laboratuvarlarda ham Δ_{47} 'de gözlemlenen asit farklılaşmasından dolayı Δ_{47} değerlerinin üzerine asit farklılaşma katsayıları (acid fractionation factor-AFF) eklenerek sonuçlar doğrulanmaktadır (Murray *et al.* 2016). Buna karşılık, güncel bir çalışma olan Chaojin vd. (2021)'e göre, dolomitler farklı asit sıcaklıklarında analiz edildiklerinde sabit bir asit farklılaşması sergilememektedirler.

Bu husustan dolayı bu araştırmada paleosıcaklık hesaplamaları için asit düzeltmesi yapılmasına gerek duyulmayan Swart vd. (2019)'un sıcaklık

denkleminin kullanılması tercih edilmiştir. Formülden hesaplanan sıcaklık değerleri Kelvin olarak elde edilmiş daha sonra sıcaklık değerleri çalışma için dereceye (°C) çevrilmiştir (1).

$$\Delta_{47} = 0.0393 (\pm 0.0017) * \frac{10^6}{T^2} + 0.158 (\pm 0.0088) \quad (1)$$

Elde edilen sıcaklık değerleri aşağıda yer alan Horita (2014)'ün formülüne konduğunda, dolomitleşmeyi gerçekleştiren diyajenetik sıvının $\delta^{18}\text{O}$ değerleri kolaylıkla hesaplanabilmektedir (2).

$$10^3 \ln \text{adol} - \text{su} = 3.140 (\pm 0.22) * \frac{10^6}{T^2} - 3.14 (\pm 0.11) \quad (2)$$

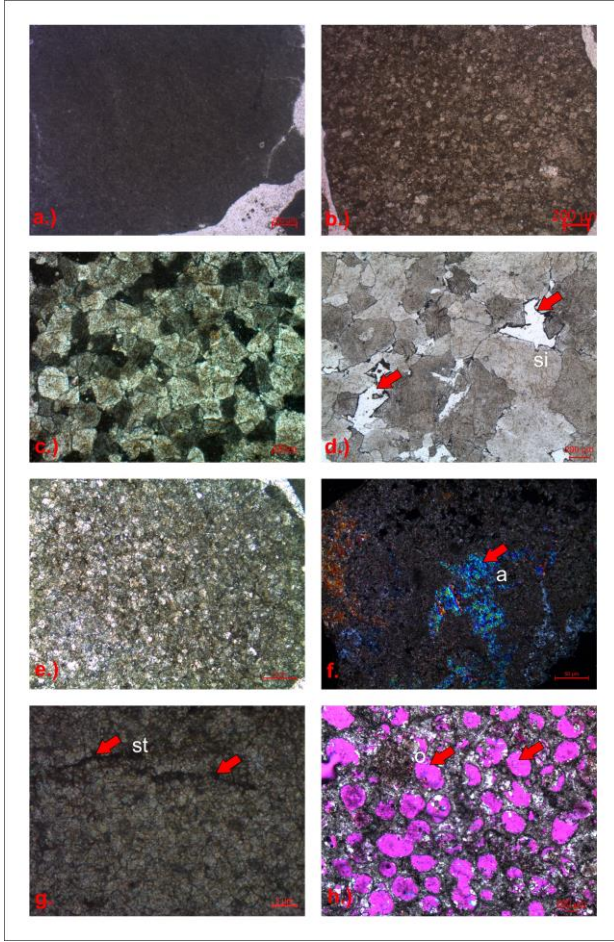
4. Bulgular

4.1. Petrografik Analizler

Kümelmiş izotop analizleri gerçekleştirilen beş farklı gruptaki dolomitlerin dolomitleşme sıcaklıklarının yorumlamalarının yapılmasında, petrografik analizlerden elde edilen gözlemlere yer verilmiştir (Şekil 4).

a.) Hoya Formasyonu'ndan alınan dolomitler örnekleri 16 mikrondan daha küçük kristal büyüklüğüne sahip, özşekilsiz-yarıözşekilli, unimodal ve ksenotopik bir doku sergilemektedir. Bu dolomitler düşük porozite değerlerine ve az oranda fosil içeriğine sahiptirler **b.)** Mardin Grubu'na ait yarı özşekilli, unimodal ve hipidiotopik dolomikrosparitler **c.)** Mardin Grubu temsil eden yarıözşekilli, polimodal, idiotopik dolomikrosparit-dolosparitler. Düşük kristal arası gözeneklilikler gözlemlenmektedir **d.)** Oldukça iri kristalli, yer yer silika çimento içeren (kırmızı oklarla gösterilen), kovuk-kristal arası poroziteye sahip özşekilsiz, ksenotopik ve polimodal saddle tip (barok) Mardin Grubu dolomit fotomikrografı **e.)** Çamurlu Formasyonu özşekilsiz, ksenotopik ve unimodal dolomikrosparitleri **f.)** Bakük Formasyonu dolomit kristalleri ve dolomit kristalleri arasında gözlenen poikilotopik anhidrit çimento gelişimleri: Yer yer kovuk tipi porozite gözlemlenmektedir **g.)** Hazro Formasyonu F4 Üyesi fotomikrografı. Unimodal, özşekilsiz, ksenotopik dokulu dolomit. İnce kristalli dolomit kristalleri arasında basınca bağlı olarak gelişen, içleri hidrokarbon dolgulu stilolitler **h.)** Koruk Formasyonu dolomit

fotomikrografi. Tamamen dolomitleşmiş ooid taneleri ve tane arası porozite.



Şekil 4. İlgili formasyonların ince kesitlerinin mikroyrafları (st=stilolite, si= silis çimento, a=anhidrit çimento, o: ooid tanesi)

4.2. Kümelmiş İzotop Analizleri

28 adet dolomit örneği üzerinde gerçekleştirilen analizlerde $\delta^{13}\text{C}$ değerleri -1.08‰ ve $+4.32\text{‰}$ arasında değişirken, $\delta^{18}\text{O}$ değerleri -11.9‰ 'den $+0.77\text{‰}$ 'e arasında değişmektedir (Çizelge 1).

Çizelge 1. Güneydoğu Anadolu dolomit örneklerinin kararlı izotop ölçümleri

Kuyu Adı	Örnek Adı	Örnek Derinliği	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	Hedef Seviye
D	KC-1	3174	-0.02	-10.04	Koruk
D	KC-2	3112	-0.81	-11.87	Koruk
B	DM-4	3242	1.66	-2.51	Hazro
A	GB-5	2840	1.33	-1.12	Bakük
A	GB-6	2855	-0.04	-1.18	Bakük
A	GB-7	2867	1.51	-0.99	Bakük
A	GB-8	2902	1.18	-1.13	Bakük

A	GC-1	2550	1.85	-1.10	Çamurlu
A	GC-2	2556	0.94	-1.48	Çamurlu
A	GC-3	2614	3.73	-3.89	Çamurlu
A	GC-4	2640	1.38	-3.63	Çamurlu
C	MD-1	3060	-0.48	-8.90	Mardin
C	MD-2	3150	-0.37	-6.88	Mardin
C	MD-3	3180	-1.08	-6.20	Mardin
E	YM-1	2836	0.14	-8.43	Mardin
E	YM-2	2864	0.58	-8.58	Mardin
E	YM-3	2948	1.00	-8.63	Mardin
E	YM-4	2944	1.05	-8.59	Mardin
E	YM-5	2938	0.78	-8.98	Mardin
B	DM-1	2705	1.53	-1.31	Mardin
B	DM-2	2715	1.62	-1.22	Mardin
B	DM-3	2720	1.61	-1.07	Mardin
C	HD-1	1050	4.05	0.77	Hoya
C	HD-2	1235	3.64	-0.65	Hoya
C	HD-3	1530	4.32	0.06	Hoya
C	HD-4	1550	3.86	0.07	Hoya
C	HD-5	1580	3.88	0.13	Hoya

Kümelmiş izotop sinyal (Δ_{47}) değerleri ise 0.366‰ ve 0.556‰ arasında değişmektedir (Çizelge 2). Bu değerler, 37.2°C ve 161.9°C arasında değişen sıcaklık değerlerine dönüştürülmüştür.

Elde edilen sıcaklık değerlerinden 0.87‰ 'den 9‰ 'e varan $\delta^{18}\text{O}_{\text{su}}$ değerleri hesaplanmıştır.

Çizelge 2. Kambriyen'den Eosen' kadar yaş aralığında yer alan 5 adet rezervuar kayadan alınan dolomit örneklerinin kümelmiş izotop sinyalleri, sıcaklık değerleri, $\delta^{18}\text{O}_{\text{su}}$ hesaplamaları ve kayaç mineralojisi bilgisi

Kuyu Adı	Örnek Adı	Örnek Derinliği	Δ_{47} (‰)	Sıcaklık T ($^\circ\text{C}$)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{su}}$ (‰)	Kayaç
D	KC-1	3174	0.441	99.52	0.87	Dolomit
D	KC-2	3112	0.393	136.36	2.88	Dolomit
B	DM-4	3242	0.464	70.26	4.30	Dolomit
A	GB-5	2840	0.493	69.28	5.80	Dolomit
A	GB-6	2855	0.494	68.67	5.64	Dolomit
A	GB-7	2867	0.496	67.88	5.71	Dolomit
A	GB-8	2902	0.503	64.25	4.97	Dolomit
A	GC-1	2550	0.492	70.57	7.41	Dolomit
A	GC-2	2556	0.482	75.21	8.99	Dolomit
A	GC-3	2614	0.450	93.79	8.83	Dolomit
A	GC-4	2640	0.473	79.96	6.19	Dolomit
C	MD-1	3060	0.408	123.27	4.87	Dolomit

C	MD-2	3150	0.394	134.51	8.02	Dolomit
C	MD-3	3180	0.442	99.04	4.87	Dolomit
E	YM-1	2836	0.366	161.87	8.79	Dolomit
E	YM-2	2864	0.392	136.48	6.46	Dolomit
E	YM-3	2948	0.385	141.02	6.63	Dolomit
E	YM-4	2944	0.386	140.35	6.61	Dolomit
E	YM-5	2938	0.381	144.61	6.59	Dolomit
B	DM-1	2705	0.514	59.26	3.86	Dolomit
B	DM-2	2715	0.542	47.18	1.76	Dolomit
B	DM-3	2720	0.529	52.75	2.95	Dolomit
C	HD-1	1050	0.567	37.22	1.74	Dolomit
C	HD-2	1235	0.558	40.36	0.99	Dolomit
C	HD-3	1530	0.532	50.80	3.73	Dolomit
C	HD-4	1550	0.559	40.15	1.65	Dolomit
C	HD-5	1580	0.541	47.67	3.12	Dolomit

5. Tartışma

5.1. Petrografik Değerlendirmeler

Sıcaklık dolomit kristallerinin büyümesini etkilemekte ve dolayısıyla kristallerin dokusunu değiştirmektedir (Kirkpatrick 1981). Buna karşılık, dolomit kristalleri için kritik büyüme sıcaklıkları tam olarak hesaplanamamış, ama bu sıcaklık değerinin 50°C ila 100°C arasında olduğu tahmin edilmiştir (Gregg and Sibley 1984).

Dolomikritler genellikle düşük sıcaklık ve yüzey koşullarının hakim olduğu gel-git düzlüklerinde depolanmaktadır (Geske *et al.* 2015). Hoya, Bakük ve Hazro Formasyonu dolomitleri bu kapsamda değerlendirilmektedir (Şekil 4a, 4f, 4g). Dolomikrosparitler, dolomitleşme suları tarafından düşük sıcaklıklarda sürdürülen dolomitleşme sürecinde dolomit kristallerinin büyümesiyle meydana gelmektedirler (Sibley and Gregg 1987). Aslında bu durum, erken diyajenetik dolomitler olan Mardin (DM örnekleri-Şekil 4b) ve Çamurlu Formasyonu (Şekil 4e) dolomitlerinin yeniden kristallenme olayı ile açıklanmaktadır (Gregg and Shelton 1990). Bahse konu olan dolomitler gibi, evaporatik koşullarda oluşmuş yarı duraylı, kalsiyumca zengin ve yarı stokiyometrik dolomitler yeniden kristallenmeye oldukça eğilimlidirler ve artan derinlikle birlikte farklı zamanlarda ve değişen miktarda yeniden kristallenerek heterojen dokular sergilerler (Machel 2004).

Geç diyajenetik dolomitler olarak adlandırılan dolosparitlerin ise dolomikrit ve dolomikrosparitlerin daha ileri derecede yeniden kristallenmesi ile birlikte ortaya çıktıkları düşünülmektedir (Rahimi *et al.* 2016). Platform ortamlarında dolomitlerin büyük çoğunluğunun 50-80°C sıcaklıkta ve 500-2000 m derinlikte oluştuğu öne sürülmektedir (Machel 2004). Bu bakış açısıyla, Mardin Grubu'nun (MD numuneleri) ve Koruk Formasyonu'nun (KC numuneleri) iri dolomit kristallerinin yüksek sıcaklık ve derin gömülme koşullarında meydana gelmiş olduğu olması düşünülmektedir (Şekil 4c-4h).

Saddle dolomitler gömülme koşullarında veya yüksek sıcaklıklara sahip hidrotermal suların fay düzlemleri boyunca hareket ederek dolomit oluşumuna neden olmalarıyla meydana gelmektedirler (Flügel 2004). Bu tip dolomitlerin 60-80°C altında oluştuğu gözlemlenmemiş (Spötl and Pitman 1998) ve 150°C'ye varan dolomitleşme sıcaklıkları olduğu tespit edilmiştir (Radke and Mathis 1980). Şekil 4d'de görülen Mardin Grubu dolomitleri barok tipi kristal yapısı ve kristal arası silis çimentolarıyla hidrotermal dolomitleşme modeli için bir örnek teşkil etmektedirler.

Dolomit kristallerini kesen stilolit oluşumları için minimum 600 m bir gömülmenin meydana gelmesi gerektiği iddia edilmektedir (Lind 1993). Hazro Formasyonu'nun F4 Üyesi dolomit örneğinin ince kristalli yapısı nedeniyle düşük sıcaklıkta oluşması beklenirken, yoğun stilolitler içermesi bu dolomitlerin ayrıca geç diyajenetik oluşumlara da maruz kaldığını göstermektedir (Şekil 4g).

Petrografik olarak ince kristalli dolomitler daha çok görsel poroziteye sahipken, iri kristalli dolomitlerin daha az görsel poroziteye sahip olduğu gözlenmiştir. Bu durum, Sibley ve Gregg (1987) tarafından iddia edildiği gibi yüksek sıcaklıklarda oluşan dolomit kristallerinin düşük sıcaklıklarda oluşan dolomit kristallerine oranla daha büyük olması ile açıklanabilmektedir. MacDonald vd. (2015)'e göre de, istisnalar hariç düşük sıcaklıkta oluşmuş dolomitler iyi rezervuar özellikleri sergilerken,

yüksek sıcaklıklara maruz kalmış dolomitlerin rezervuar kaliteleri daha düşük olmaktadır.

5.2 Kümelenmiş İzotop Sıcaklıkları

5.2.1. Hoya Formasyonu

Bahama karbonat platformunu penetre eden sığ karotlu sondajlardan alınan dolomit örneklerinin kümelenmiş izotop sıcaklıkları ortalama 25°C ölçülmüştür (Murray and Swart 2017). Bu bilgiye paralel olarak, ekvator çizgisine yakın güncel deniz suyu sıcaklıkları ise ortalama 27°C'dir (Swart *et al.* 2009).

Günümüzden daha sıcak deniz suları tarafından depolandığı düşünülen Hoya Formasyonu'nun, 1-1.6 km derinlikten alınan dolomit örneklerinin paleosıcaklık değerleri 37.2-50.8°C arasında değerler almaktadır. Bu sıcaklıklar rezervuarın günümüz rezervuar sıcaklık değerleri olan 51-61°C değerlerinden yaklaşık 10°C daha düşüktür.

Karbonatların 120°C üzerindeki sıcaklıklara yüz milyon yıldan fazla süre boyunca maruz kalmasıyla Δ_{47} değerlerinin değişebileceği öne sürülmüştür (Henkes *et al.* 2014). Bu olay "yeniden düzenlenme" olarak adlandırılmaktadır (Stolper and Eiler 2015). Hoya Formasyonu karbonatları gibi mikritik dokulu örneklerin fosilli kireçtaşlarına oranla yeniden düzenlemeye daha yatkın oldukları bilinmektedir (Veillard *et al.* 2019). Diğer yandan, dolomitlerin kalsitlere oranla yeniden düzenlenmeye karşı daha dayanıklı oldukları da kanıtlanmıştır (Bonifacie *et al.* 2013). Llyod vd. (2017)'e göre, dolomitlerin Δ_{47} değerlerinin yeniden düzenlenmeye uğraması için minimum 200°C sıcaklık koşullarında yer almaları gerekmektedir. Buna karşılık, Andros Adası'ndan alınan karotlar üzerinden yürütülen çalışmada, 1.3 km ve daha derinden alınan örneklerin 50°C altındaki sıcaklıklarda yeniden düzenlenmeye maruz kaldığı ihtimali üzerinde durulmuştur (Wilkenstern and Lohmann 2016). Fakat bu düşünce, çalışmacılar tarafından petrografik ve jeokimyasal ($\delta^{13}\text{C}$ - $\delta^{18}\text{O}$) olarak kanıtlanamamıştır. Ayrıca, Bergmann vd. (2018)'in sığ derinliklerden alınmış dolomit örneklerini analiz ettiği çalışmasıyla uyumlu olarak, bu çalışmada da Hoya Formasyonu dolomitleri

inde Δ_{47} sinyallerinin yeniden düzenlendiğine ait bir bulguya rastlanılmamıştır.

Bu çalışma için ~1-1.6 km derinlikten alınan dolomit numunelerinin sıcaklık değeri 43.3±7°C olduğu belirlenmiştir. Bu değer, Hoya Formasyonu dolomitlerinin sığ gömülme sonucu oluşan erken dolomitleşme sıcaklıklarını yansıtmaktadır. Çünkü Orta-Üst Eosen zaman diliminde tropikal bir iklimin hakim sürdüğü ekvatoryal enlemlerde depolanmış karbonatlardan elde edilen foraminiferlerin kümelenmiş izotop analizleri sonucunda, deniz suyu yüzey sıcaklıkları yaklaşık 30-35°C olarak belirlenmiştir (Evans *et al.* 2018). Bu bilgi göz önüne alınarak Hoya Formasyonu karbonatlarının ilksel çökelim sıcaklığının 35°C olduğu farzedildiğinde, bu çalışmada ölçülen kümelenmiş izotop sıcaklıklarının elde edilmesi için depolanma sonrası en düşük sıcaklık olan 37.2°C için yaklaşık 100 m'lik ve en yüksek sıcaklık değeri olan 50.8°C için 500 m'lik bir sığ gömülme olayının gerçekleşmesi gerekmektedir.

Hoya Formasyonu üzerine gelen 30 metre kalınlığa sahip Oligosen yaşlı Germik Formasyonu regresif bir istif olup erozyona da maruz kalması nedeniyle oldukça incedir (Temple and Perry 1962). Bu birimin üzerine 35 metrelik Orta Miyosen yaşlı Fırat Formasyonu ve 900 metrelik Geç Miyosen yaşlı Şelmo Formasyonu'nun yer alması dolomitleşmenin çökelim yüzeyine yakın veya sığ gömülme sonucunda olması gerektiğini işaret etmektedir. Şelmo Formasyonu Miyosen sonrası dönemde gözlemlenen orojenez hareketi neticesinde yapısal olarak düşüğe kalan alanları dolduran kalın karasal istif olarak tanımlanmaktadır (Temple and Perry 1962).

5.2.2. Mardin Grubu

Üç farklı kuyudan alınan ve çeşitli dolomitleşme model ve tarihçelerine sahip (hidrotermal dolomitler, geç gömülme diyajenezi dolomitleri ve erken diyajenetik dolomitler) Mardin Grubu dolomitlerinin kümelenmiş izotop analizleri 3 ayrı kategoride değerlendirilmiştir.

Hidrotermal ve geç diyajenetik dolomitler olarak adlandırılan örnekler yoğun dolomitleşme, aşınma

veya çökelmemizlik nedeniyle formasyonlarına ayrılamayan Mardin Grubu istiflerinden elde edilmişlerdir. Buna karşılık, erken diyajenetik dolomitler Mardin Grubu'na ait Derdere Formasyonu'na ait örneklerdir.

5.2.2.1. Hidrotermal dolomitler (HTD)

2.8 km derinlikten alınan Mardin Grubu dolomit örneklerinin sıcaklık değerleri 136.5°C ve 161.9°C arasında değişmektedir. Kuyuda log alımı sırasında bu seviye için okunan rezervuar sıcaklık değerinin 85°C olup, kümelenmiş izotop sıcaklıklarının rezervuar sıcaklığından hayli yüksek olması, rezervuara hidrotermal kökenli çevresel suların girme ihtimalini ortaya çıkarmıştır.

Mardin Grubu rezervuar dolomitleri petrografik değerlendirmelerinde gözlemlendiği üzere saddle dolomitlerden oluşmaktadır (Şekil 4d). Bu dolomit kristalleri karakteristik olarak hidrotermal dolomitleşmenin bir ürünüdür. Bu tip dolomitler, çapı 200-2000 mikrona varan anhedral tipte iri kristaller sergilemektedirler (Geske *et al.* 2015). Geske vd. (2015) tarafından analiz edilen HTD dolomitlerin sıcaklıkları 120-180°C arasında değerler almıştır. Batı Kanada Baseni'nde fay kontrollü Mount Whyte Formasyonu'ndan örneklenen HTD dolomitlerin kümelenmiş izotop analiz sıcaklıkları ise 146-235°C değerleri arasında ölçülmüştür (Koeshidayatullah *et al.* 2020). Diğer çalışmalarla uyumlu olarak, bu çalışmanın HTD dolomitlerinin kümelenmiş izotop sıcaklıkları Mardin Grubu dolomitlerinin oluşum sıcaklıklarını yansıtmaktadır.

Bu teknik sadece hidrotermal sistemlerin etkin olduğu Pb-Zn maden yataklarındaki dolomitlerin paleosıcaklıklarının hesaplanmasında değil (Millan *et al.* 2016), Mardin Grubu gibi hidrotermal sularca dolomitleştirilen rezervuarların oluşum sıcaklıklarının hassas olarak ölçülmesinde güvenilir bir yöntemdir.

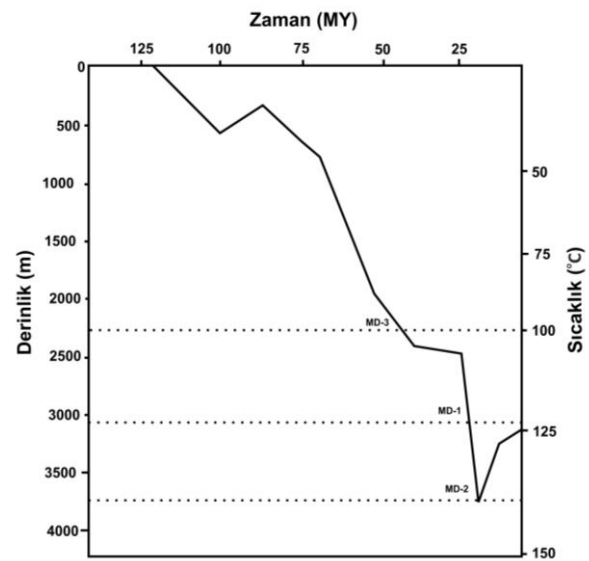
5.2.2.2. Geç diyajenetik dolomitler (GD)

Mardin Grubu'nun yoğun olarak dolomitleşmeye maruz kaldığı çalışma alanından alınan üç adet kaba kristalli dolomit örneklerinin sıcaklık değerleri 99°C ve 134.5°C arasında değerler almaktadır. Yaklaşık 3

km derinlikten alınan bu örneklerin rezervuar sıcaklıkları 87-92°C arasında değişmektedir. Genellikle kümelenmiş izotop sıcaklık değerleri kuyunun güncel sıcaklığına benzer veya daha düşük değerler almaktadır (MacDonald *et al.* 2015). Buna karşılık, bu çalışmada kümelenmiş izotop sıcaklıkları kuyu sıcaklıklarında daha yüksek değerler almaktadır.

Bu çalışmada Şekil 5.'deki basen modeline göre, Mardin Grubu dolomitleri önce 135-140°C sıcaklıktaki rezervuar koşulunu test etmişlerdir (Şekil 4). Bu aşamada, yeniden kristallenme süreci gerçekleşmektedir.

Perinçek vd. (1992)'nin tarafından belirtildiği üzere, Miyosen sonrası dönemde GDA Bölgesi şiddetli bir sıkışma tektoniği rejimiyle oluşan imbrike yapıların oluşmasıyla Kuyu C'nin bulunduğu alandaki Mardin Grubu'nun pozisyonuyükselerek bugünkü konumunu kazanmıştır. Geç Miyosen-Pliyosen döneminde yaşanan yükselme ve orojenez hareketi GDA'nın güncel yapısal formunu almasına neden olmuştur (Temple and Perry 1962). Mardin Grubu dolomitleri günümüze kadar güncel kuyu sıcaklıklarına maruz kalmaktadır. Fakat bu durum Δ_{47} değerlerinin yeniden düzenlenmesini engellemiş ve yanlış sıcaklık değerleri hesaplanmasına neden olmamıştır.



Şekil 5. C kuyusu sıcaklık-gömülme tarihçesi ve geç diyajeneze maruz kalmış MD örneklerin dolomitleşme zaman-derinlik-sıcaklık bilgisi

Kümelenmiş izotop sıcaklık değerleri petrografik gözlemler ile birlikte değerlendirildiğinde, ölçülen sıcaklıkların dolomitlerin yeniden kristallenme sıcaklıkları olduğu tespit edilmiştir. MacDonald vd. (2018)'e göre Pinda Formasyonu'nda 100-120°C sıcaklıklar özşekilli iri kristallerin oluşmasına neden olmuşlardır. Bu çalışmada, yeniden kristallenme süreci dolomit kristallerinin irileşmesine neden olarak varolan gözenekliliğin azalmasına neden olmaktadır (Şekil 4c).

5.2.2.3. Erken diyajenetik dolomitler (ED)

3 km derinlikten alınan dolomikrosparit örneklerinin kümelenmiş izotop sıcaklıkları ortalama 60.5°C olarak ölçülmüştür. Bu değer günümüz rezervuar sıcaklığından yaklaşık 30°C daha düşüktür. Petrografik değerlendirmelerde erken diyajenetik ince kristalli dolomitler olarak tanımlanan Qishn Formasyonu dolomitleri sıcaklıkları 44±3°C ölçülmüş, bu sıcaklıklar erken dolomitleşme sıcaklıkları olarak yorumlanmıştır (Sena *et al.* 2014). Buna karşılık, petrografi destekli olarak (Şekil 4b), bu çalışmada bahse konu olan Mardin dolomitlerinin sıcaklık değerleri erken dolomitleşme ve/veya kısmi yeniden kristallenme sıcaklıkları olarak değerlendirilmektedir.

Bindirme kuşağı oluşumu öncesi Geç Kretase döneminde gözlemlenen sıkışma rejiminin bir ürünü olarak Kastel Baseni meydana gelmiştir (Perinçek *et al.* 1992). Kampaniyen'de GDA Bölgesi'nin büyük bir bölümü şelftir ve bu alanın kuzeyinde Kastel çukurluğu oluşmuştur (Temple and Perry 1962). Bu çukurluğu oluşturan fay sistemleri gömülme ile yaklaşık 60°C'ye ulaşmış deniz sularının düşey ve yanal olarak gözenekli karbonat birimlere nüfuz ederek dolomitleşmelerine sebep olmuşlardır. Daha sonra sedimantasyonun devamıyla artan gömülmeye karşılık, rezervuarın dolomitleşme evresi tamamlanmış ve kümelenmiş izotoplar düşük dolomitleşme sıcaklıkları kaydetmişlerdir.

5.2.3 Cudi Grubu

Bu kısımda A kuyusundan örneklenmiş Cudi Grubu'na ait Bakük ve Çamurlu formasyonu dolomitlerinin paleosıcaklıkları yorumlanmıştır.

5.2.3.1 Bakük Formasyonu

Yaklaşık 3 km derinlikten elde edilen dolomitlerin sıcaklıkları 64.3-69.3°C arasında değerler almaktadır. Sıcaklık logundan okunan güncel rezervuar sıcaklığı 95°C olarak paleosıcaklık değerlerinden yaklaşık 30°C düşüktür.

Ortalama 300 m derinlikten örneklenmiş Orta Triyas yaşlı Csukma Formasyonu'nun (Macaristan) ince kristalli peritidal dolomitlerinin kümelenmiş izotop metoduyla sıcaklıkları 51-64°C olarak ölçülmüştür (Lukoczki *et al.* 2020). Bu paleosıcaklık değerleri petrografik analizler de göz önüne alındığında kısmi yeniden kristallenme sıcaklıkları olarak belirlenmiştir. Csukma Formasyonu dolomitlerine oranla, oldukça derin gömülmüş Bakük Formasyonu dolomitleri de benzer sıcaklık ve petrografik özellikler sergilemektedirler.

Dolomit-evaporit araldanması şeklindeki petrol sistemlerinde dolomitler arasında anhidrit sokulumlarının gözlemlenmesi oldukça yaygındır (Becker *et al.* 2019). Ghawar Petrol Sahası'nda (Suudi Arabistan) rezervuar seviye olan Arab-D Formasyonu, kümelenmiş izotop yöntemiyle ölçülen 120°C sıcaklıktaki sularca altere edilmiştir (Swart *et al.* 2016). Bu sular özellikle dolomitleşmeyi gerçekleştirdiği gibi yüksek geçirgenlik zonunda (Süper-K seviyesi) yer alan evaporitlerin ve kireçtaşlarının çözünmesine neden olmuştur. Böylece ikincil gözeneklilik-geçirgenlik gelişimine sebebiyet vermişlerdir. Buna karşılık, Bakük Formasyonu'da yer alan gözenek suları düşük sıcaklıklarından dolayı rezervuar içerisinde hareket kazanarak ikincil bir porozite sisteminin gelişimini kısıtlı olarak gerçekleştirmiş ve rezervuarı olumsuz yönde etkileyen evaporit çimentoların aşındırılmasını sağlamamışlardır (Şekil 4f).

5.2.3.2. Çamurlu Formasyonu

2.5 km derinlikteki rezervuardan örneklenen numunelerin kümelenmiş izotop jeotermometre sıcaklıkları olarak 70.6°C'den 93.8°C'ye kadar değişen değerler elde edilmiştir. Kuyunun sıcaklık değerleri ile paleosıcaklık ölçümleri ise uyumlu gözükmektedir.

Çamurlu Formasyonu Bakük Formasyonu'na göre stratigrafik olarak üstte yer almasından dolayı, derinliğe bağlı olarak daha az jeotermal gradyana maruz kalmasına karşılık, Çamurlu Formasyonu dolomitleri Bakük Formasyonu dolomitlerine oranla daha yüksek sıcaklık değerleri sergilemektedir.

Permo-Triyas'ta Neotetis'in güneykolu açılmasıyla başlayan riftleşme olayı Bakük ve Çamurlu formasyonlarının çökelişi esnasında da devam etmektedir (Perinçek *et al.* 1992). GDA Bölgesi'nin güneyinde meydana gelen yeni depolanma alanlarına Üst Triyas'tan Alt Kretase'ye kadar kesintisiz bir sedimantasyonla egemen olarak karbonatlar çökelmiştir. Bu istif Bitlis Metamorfik ile korele edilmektedir (Çağlayan *et al.* 1984). Bu çökeller Çamurlu ve Bakük formasyonlarının gömülerek sıcaklık kazanmasına sebebiyet vermişlerdir.

Petrografik analizler göz önüne alındığında, Çamurlu Formasyonu dolomitlerinin kümelenmiş izotoplarının sıcaklık değerleri yeniden kristallenme sıcaklıkları olarak yorumlanmıştır.

Çamurlu Formasyonu'nun -1.10% ve -3.89% arasında değişen $\delta^{18}O$ değerleri açık sistem bir diyajenetik ortamı yansıtırken, Bakük Formasyonu neredeyse -1% gibi sabit $\delta^{18}O$ değerleriyle kapalı bir diyajenetik sistemin varlığını işaret etmektedir. Bu durumda, gömülme koşullarında Çamurlu Formasyonu'nda gözenek suları ile dolomitler için yaygın bir su-kayaç etkileşimi yaşanırken, Bakük Formasyonu için düşük su-kayaç etkileşimi söz konusu olmaktadır.

Çamurlu Formasyonu $\%14$ 'e varan gözeneklilik değerlerine sahipken, Bakük Formasyonu için porozite değeri ortalama olarak $\%5$ 'in altındadır. Her iki formasyonun diyajenetik alterasyon sıcaklıkları birlikte değerlendirildiğinde sıcaklık faktörünün rezervuar kalitesi açısından çok önemli bir parametre olmasına karşılık, porozite değerlerinin dolomitlerin sıcaklık faktörü ile tek başına kontrol edildiğini iddia etmek oldukça güçtür.

Dolomitleşme öncesi ilksel karbonatın petrofiziksel parametreleri, dolomitleşmeyi gerçekleştiren suyun kimyası, dolomitleşme süresi, gömülme tarihçesi gibi birçok faktör dolomit bir rezervuarın kalitesini belirlenmede önem arz etmektedir.

5.2.4 Diyarbakır Grubu

Bu çalışma için, 3.2 km derinlikten alınan Hazro Formasyonu kümelenmiş izotop sıcaklığı $70.3^{\circ}C$ olarak ölçülmüş, bu değer güncel kuyu sıcaklığının $35^{\circ}C$ altında yer almaktadır. Yine aynı derinlikte bulunan Devoniyen yaşlı Nisku Formasyonu'ndan (Kanada) alınan örneklerin paleosıcaklık analizleri ortalama $80^{\circ}C$ olarak ölçülmüştür. Aynı çalışmada, 2.7 km derinlikte yer alan dolomitlerin sıcaklık değerleri ise ortalama $96^{\circ}C$ olarak ölçülmüştür (Millan *et al.* 2016). Bu çalışmanın literatürdeki sonuçlarla uyumlu olduğu gözlemlenmektedir.

Hazro Formasyonu dolomit örneğinin sıcaklık değeri ve petrografik analizi göz önünde bulundurularak kümelenmiş izotop değeri "yeniden kristallenme" sıcaklığı olarak değerlendirilmiştir.

Çalışma alanında Dadaş, Hazro ve Kayayolu birimleri çökeldikten sonra, bölgede Devoniyen'den sonra Hazro Formasyonu'nun üst kısımları ve Kayayolu Formasyonu aşınmıştır. Bu aşamayı, Gomanibrik Formasyonu çökelişi sonrasında yaşanan bir erozyon olayı takip etmiştir Bahse konu olan bu aşınmalar Perinçek vd. (1992) tarafından bölgesel uyumsuzluklar olarak tanımlanmıştır. Cudi Grubu çökelişi sonrası Orta Jura'dan itibaren ve Alt Kretase'ye kadar devam eden aşınma süreciyle bu grubun tamamı aşınmıştır. Bu alanda, Hazro Formasyonu karbonatlarının dolomitleşmesini Geç Kretase ve sonrasında gerçekleşen kalın sediman çökelimlerinden kaynaklanan gömülme olayının neden olduğu sıcaklık artışının gerçekleştirdiği düşünülmektedir.

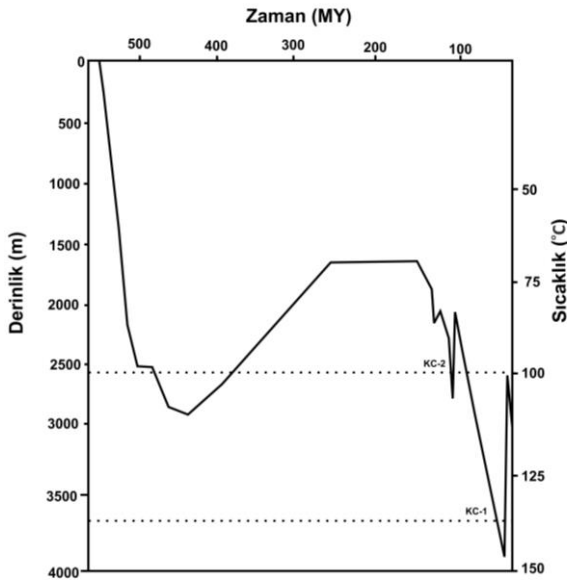
Rigo de Righi ve Cortesini (1964) tarafından öne sürüldüğü üzere, GDA Bölgesi'nin ön ülke ve basen alanlarındaki Paleozoyik birimlerde bölgesel metamorfizmaya rastlanmamaktadır. Bu husus, Hazro Formasyonu dolomit örneğinin kümelenmiş

izotop sinyalinin (Δ_{47}) yeniden düzenlenmesine sebebiyet vermemektedir.

5.2.5 Derik Grubu

Bergmann vd. (2018) tarafından Ara Grup'a (Umman) ait Kambriyen yaşlı dolomitlerin sıcaklıklarının 43°C ve 93°C değişen değerler aldığı yayımlanmıştır. Bu değerlerin ise güncel kuyu değerleri ile uyumlu olduğu bildirilmiştir. Buna karşılık, Koruk Formasyonu dolomit örneği sıcaklığı 145°C olarak ölçülmüştür. Yaklaşık 3 km'den örneklenen bu dolomit numunesi Ara Grup dolomitler paleosıcaklıklarından ve kuyunun şimdiki zaman rezervuar sıcaklığından ise oldukça yüksektir.

Ara Grup için yapılan başka bir çalışmada, 125°C ve üzerindeki sıcaklıkların rezervuar koşullarında termal sülfat indirgemesine (TSİ) sebep olduğu ve bu sürecin rezervuarda bitüm oluşumuna neden olduğu ileri sürülmüştür (Becker *et al.* 2019). Koruk Formasyonu petrografik analizlerinde kalsitleşmiş anhidrit nodülleri ve kalıpları gözlemlenmemiş ve dolayısıyla TSİ sürecine rastlanılmamıştır. Bunun yanı sıra, bu prosesin jeokimyasal kanıtı dolomitlerin oldukça negatif $\delta^{13}\text{C}$ değerleri almasıdır ki (Millan *et al.* 2016), Koruk dolomitleri için böyle bir durum gözlemlenmemektedir.



Şekil 6. D kuyusu sıcaklık-gömülme tarihçesi ve geç diyajeneze maruz kalmış KC örneklerin dolomitleşme zaman-derinlik-sıcaklık bilgisi

Tek boyutlu basen modeline göre, Koruk dolomitleri 145°C gömülme sıcaklığında bölgede gözlemlenen Miyosen tektoniği öncesinde 3500-4000 m aralığında bir derinliğe ulaşmıştır (Şekil 6). Daha sonra, ilgili birimin güncel pozisyonuna gelmesinden dolayı güncel kuyu sıcaklığı paleosıcaklık değerinden daha düşük bir sıcaklık değeri almaktadır.

D kuyusunun bulunduğu alanda Derik Grubu üzerine Habur Grubu çökelmiş daha sonra Diyarbakır Grubu çökelmiştir. Ardından Diyarbakır Grubu tamamıyla aşınmıştır. Çalışma alanında Zap, Tanin, Çığlı ve Cudi gruplarının sediman çökelimleri Mardin-Kahta Yükselimi tarafından kontrol edilmektedir (Perinçek *et al.* 1992).

GDA Bölgesi merkezinde gözlemlenen yükselim hareketleri bu grupların çökmemesinde ve/veya aşınmasında etkin rol oynamaktadır. Gömülmeyi asıl sağlayan birimler, Kretase-Eosen yaş aralığındaki depolanan masif karbonat çökelimleridir.

5.3 Dolomitleşme sularının sınıflandırılması

Bu çalışma için analiz edilen HTD dolomitlerinin $\delta^{18}\text{O}_{\text{su}}$ değerleri 6.5-8.8‰ arasında değişmektedir. Bu değerlerle uyumlu olarak, Indian Baseni'nde (New Mexico, ABD) bulunan Mississippi Vadi Tipi maden yatağındaki HTD dolomitlerinin $\delta^{18}\text{O}_{\text{su}}$ değerlerinin +4‰'den +14‰'e varan değerler aldığı bilinmektedir (Geske *et al.* 2015). Buna karşılık, daha yüksek sıcaklıklarda dolomitleşen Kambriyen yaşlı Mount Whyte Formasyonu HTD dolomitlerinin oluşum sıcaklıkları 235°C ve dolomitleşme suları +5‰ olarak elde edilmiştir (Koeshidayatullah *et al.* 2020). Bu sıcaklık değerlerine göre çok daha pozitif $\delta^{18}\text{O}$ değerleri beklenmesine rağmen, -7‰ ($\delta^{18}\text{O}_{\text{su}}$) gibi oldukça negatif Kambriyen deniz suları ilksel karbonatın çökmesinde belirleyici rol oynamıştır. Dolomitleşme suları derin gömülmeye birlikte izotopik olarak zenginleşse de, bu çalışmanın değerleriyle istisnai olarak uyumlu değerler almamaktadırlar. Sonuç olarak, hidrotermal kökenli sular yüksek sıcaklık değerleri ve izotopik olarak oldukça yüksek $\delta^{18}\text{O}$ değerleri karakteristiktirler (Şekil 7).

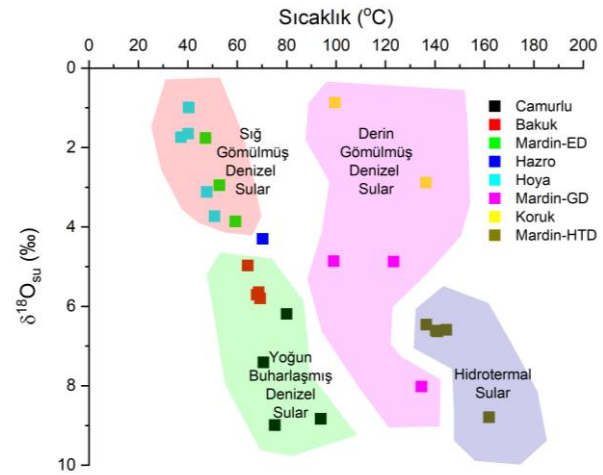
Kretase yaşlı Pinda Formasyonu'nu (Angola) penetre eden kuyudan ~2-3.7 km arasındaki derinliklerden alınan ve sıcaklıkları 100°C üzerinde olan örneklerin $\delta^{18}\text{O}_{\text{su}}$ değerleri 3.7-6.5‰ olarak hesaplanmıştır (MacDonald *et al.* 2018). Benzer bir biçimde, Mardin Grubu'nun (GD) 100°C üzerinde sıcaklıklara sahip olduğu dolomit örnekleri aynı aralıkta $\delta^{18}\text{O}_{\text{su}}$ 4.87-8.02‰ değerleri almaktadır. HTD sıcaklarına oranla daha düşük sıcaklık alan derin gömülmüş geç diyajenetik dolomitler için $\delta^{18}\text{O}_{\text{su}}$ değerler aralığının özgün olduğu gözlemlenmektedir.

Kretase deniz sularının $\delta^{18}\text{O}$ değerlerinin -2.6‰ ve +1.2‰ (Veizer *et al.* 1999) olduğu tahmini göz önüne alındığında, erken diyajenetik Mardin Grubu (ED) dolomitlerinin ortalama $\delta^{18}\text{O}$ değeri (+2.86‰) yüzeyde buharlaşma ve sığ gömülme sonucu meydana gelen $\delta^{18}\text{O}$ diyajenetik sular olarak değerlendirilmektedirler.

Daha önceden bahsedildiği üzere, Triyas yaşlı Csukama Formasyonu ile Bakük Formasyonu dolomitleri benzer paleosıcaklık değerlerine sahiplerken, $\delta^{18}\text{O}_{\text{su}}$ değerleri açısından birbirlerinden oldukça farklıdır. Csukama dolomitleri $\delta^{18}\text{O}_{\text{su}}$ değerleri -0.8‰'den 2.7‰'e varan değerler alırken, Cudi Grubu dolomitleri ortalama +7.9‰ değeri almaktadır. Bu husus, Csukama dolomitlerinin yeniden kristallemesinde kayaç-su etkileşim oranının çok düşük olması ve yeniden kristallenmenin kapalı bir diyajenetik sistemde gerçekleştiği ile açıklanmaktadır (Lukockzi *et al.* 2020). Buna karşılık, Çamurlu Formasyonu dolomitleri kayaç-su etkileşimi oranı yüksek olup açık sistem diyajenetik bir süreçte kristallenme olayının süregeldiğini düşündürmektedir.

Buharlaşmanın oldukça yoğun olduğu dolomit-evaporit ardalı depolanmalarının olduğu sabkha ortamlarında dolomitleşme sıcaklıkları düşük olmasına rağmen, $\delta^{18}\text{O}_{\text{su}}$ değerleri +8‰'e varan değerler almaktadır. Derin gömülmüş diyajenetik sularla benzer $\delta^{18}\text{O}$ değerleri almalarına rağmen, sıcaklık değerleriyle bu iki grup dolomitler birbirinden ayrılmaktadır.

1-1.6 km derinlikten elde edilen Hoya Formasyonu dolomitlerinin $\delta^{18}\text{O}_{\text{su}}$ değerleri +1‰ ve +3.7‰ arasında değişen değerler almaktadır. Diğer taraftan, Miyosen-Pleistosen yaşlı San Salvador (Bahamalar) dolomitlerinin penetre edilen kuyudan alınmış sığ karotlarında (38-158 m) kümelenmiş izotop analiz sonuçlarının $\delta^{18}\text{O}$ hesaplamaları 2.5‰-3.9‰ arasında değişmektedir (Murray and Swart 2017). $\delta^{18}\text{O}$ değerlerinin düştüğü bu bölüm yoğun buharlaşmanın olduğu evaporatif havuz alanı olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 7. Güneydoğu Anadolu'daki rezervuar özelliğindeki dolomitlerden toplanmış Δ_{47} and $\delta^{18}\text{O}_{\text{su}}$ verisi

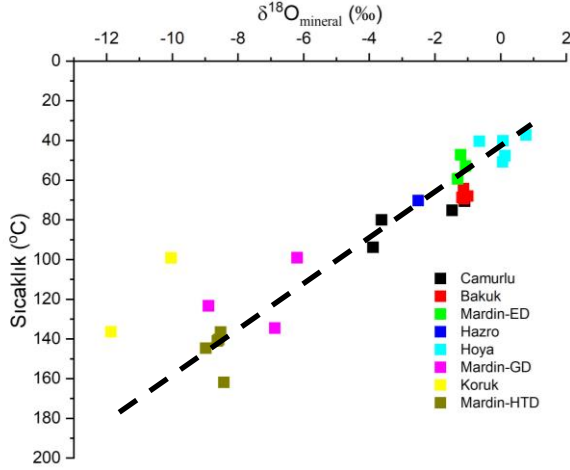
Hoya Formasyonu dolomitlerinin $\delta^{18}\text{O}_{\text{su}}$ değerleri ile San Salvador dolomitlerinin $\delta^{18}\text{O}_{\text{su}}$ değerleri uyumlu görünmektedir. Hoya Formasyonu dolomitlerinin $\delta^{18}\text{O}_{\text{su}}$ değerleri çoğunlukla yüzeyde yaşanan yoğun buharlaşma esnasında ^{16}O izotoplarının buharlaşarak dolomitleşme sıvısının ^{18}O bakımından zenginleşmesi sonucu bu değerleri almaktadır. Gömülmeyle kazanılan sıcaklık artışıyla $\delta^{18}\text{O}_{\text{su}}$ değerlerinin modifiye olması da ikincil önemli etken olarak düşünülmektedir.

5.4 $\delta^{18}\text{O}$ ve sıcaklık-derinlik ilişkisi

Karbonat minerallerinin $\delta^{18}\text{O}$ ölçümleri ile sıcaklık değerleri arasında negatif bir ilişki olduğu ve her 4°C bir sıcaklık değişiminin 1‰'lik $\delta^{18}\text{O}_{\text{mineral}}$ değişimine neden olduğu ileri sürülmüştür (Urey 1947).

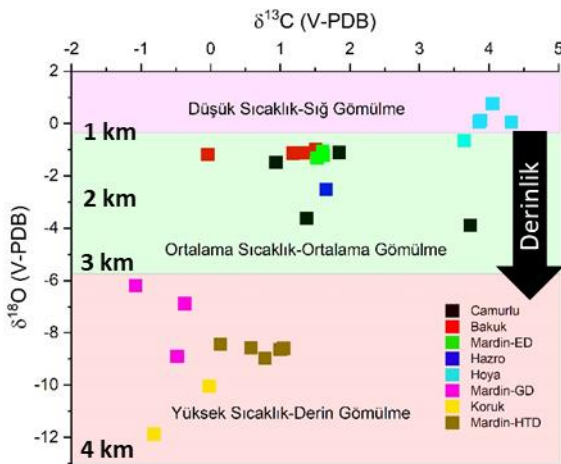
Kümelenmiş izotop tekniği sonuçlarına göre, GDA dolomitlerinin $\delta^{18}\text{O}_{\text{mineral}}$ -sıcaklık ölçümleri arasında istatistiksel bir negatif korelasyon bulunmamaktadır

(Şekil 8). $\delta^{18}\text{O}_{\text{mineral}}$ değerleri sıcaklık parametresi dışında, mineralin çökmesini sağlayan suyun $\delta^{18}\text{O}$ değerleri, karbonatın mineralojisi, çöküm suyunun pH değeri ve çöküm sürecindeki kinetik etkiler gibi birçok faktör tarafından kontrol edilmektedir (Swart 2015).



Şekil 8. GDA dolomitlerinin $\delta^{18}\text{O}$ değerleri ve kümelenmiş izotop sıcaklıklarının değişimlerini gösterir grafik.

Daha önceden bahsedildiği gibi, 70 yılı aşkın süredir karbonatların $\delta^{18}\text{O}$ değerleri konvansiyonel bir termometre olarak sıcaklıkların tahmin edilmesinde kullanılmaktadır. Kümelenmiş izotop yöntemi kadar hassas bir yöntem olmamasına rağmen, dolomitlerin $\delta^{18}\text{O}$ değerleri dolomitleşmenin gerçekleştiği derinlikler hakkında bilgi sahibi olmak için başvurulacak bir tekniktir.



Şekil 9. GDA dolomitlerinin $\delta^{13}\text{C}$ ve $\delta^{18}\text{O}$ değerleri grafiği. $\delta^{18}\text{O}$ değerleri üzerinde direk etkisi olan sıcaklık-gömülme kompartımanları.

GDA dolomitlerinin $\delta^{18}\text{O}$, Δ_{47} ve sıcaklık-gömülme tarihçeleri birlikte değerlendirildiğinde, 0‰ üzerinde $\delta^{18}\text{O}$ değerlerine sahip dolomitlerin dolomitleşmelerini 1 km'den daha sığ derinliklerde gerçekleştirdikleri düşünülmektedir. Diğer yandan, GDA örnekleri arasında -1‰'den -6‰'e kadar değişen oksijen izotop değerleri alan dolomitlerin 1-3 km derinlikte dolomitleşmiş oldukları, buna karşılık, -6‰ ve -12‰ arasında değişen değerlere sahip dolomitlerin 3 km'den daha derinde dolomitleştikleri öngörülmektedir (Şekil 9).

Bu genelleme yapılırken, hidrotermal kökenli dolomitlerin göz ardı edilmesi gerekmektedir. Çünkü bu dolomitler yüksek sıcaklıklarını gömülme sonucu artan sıcaklıklara değil, fay düzlemlerini takip ederek ilerleyen magmatik kökenli sulara borçludurlar.

Dolomit rezervuarlarda dolomitleşme sürecinin gerçekleştiği derinlik olarak, 1 km kadar olan derinlikler düşük sıcaklık-sığ gömülme zonu, 1-3 km arası ortalama sıcaklık-gömülme zonu ve 3 km'den daha derin zonlar yüksek sıcaklık-derin gömülme zonu olarak tanımlanması bu çalışma tarafından önerilmektedir (Şekil 9).

6. Sonuç

Bu çalışma, GDA Bölgesi'nde Kambriyen-Eosen yaş aralığındaki farklı köken ve gömülme tarihçelerine sahip rezervuar seviyeleri penetre edilen 5 adet kuyudan alınan 28 adet dolomit örneği üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Yeni nesil bir termometre olan kümelenmiş izotop yöntemiyle bahse konu olan örneklerden 37.2°C'den 161.9°C'e kadar değişen paleosıcaklık değerleri ölçülmüştür. Elde edilen sıcaklık değerleri güncel kuyu sıcaklıkları, petrografik gözlemlerle, bölgesel tektonik olaylar ve literatürde yer alan çalışmaların değerlendirmeleriyle birlikte yorumlanmıştır.

Bu çalışma ile kümelenmiş izotoplar yönteminin GDA Bölgesi dolomitlerinin oluşum, erken dolomitleşme ve yeniden kristallenme sıcaklıklarının

ölçülmesinde etkin bir yöntem olduğu ortaya çıkarılmıştır.

Rezervuar kayaçların kilometrelerce derine gömülerek sıcaklık kazanmasına veya tektonik olaylarla yükselmesi ile sıcaklık kaybetmesine rağmen, dolomitlerin Δ_{47} parametresi önemli dolomitleşme süreçlerini başarıyla ölçülemektedir.

Elde edilen sıcaklık değerlerinin dolomitleşmeyi sağlayan suların $\delta^{18}\text{O}$ değerlerine dönüştürüldüğünde, GDA dolomitlerinin $+0.9\%$ 'den $+9\%$ 'e varan değerler aldığı hesaplanmıştır. Bu değerler farklı dolomitleşme mekanizmaları için karakteristik değerler yansıtılmalarından dolayı dört ayrı grupta toplanmışlardır. Bunlar erken diyajenez dolomitleri, gömülme (geç) diyajenez dolomitleri, yüksek evaporasyonlu dolomitler ve hidrotermal dolomitlerdir.

Bu araştırma, kümelenmiş izotopların dolomitleşme sıcaklıkları ve dolomitleşme sularının $\delta^{18}\text{O}_{\text{su}}$ değerlerinin sağlanmasıyla, dolomitlerin oluşum mekanizmalarının ve dolomitleşme tarihçelerinin ortaya çıkarılmasında etkin bir yöntem olduğunu gözler önüne sermektedir.

7. Kaynaklar

Affek, H. P., Bar-Matthews, M., Ayalon, A., Matthews, A. and Eiler, J. M., 2008. Glacial/interglacial temperature variations in Soreq cave speleothems as recorded by 'clumped isotope' thermometry. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **72 (22)**, 5351-5360.

Al-Qayim, B., and Othman, D., 2012. Reservoir characterization of an intra-orogenic Carbonates platform: Pila Spi Formation, Taq Taq oil field, Kurdistan, Iraq. *Geological Society of London Special Publications*. **370**, 139-168.

Barata, J., Vahrenkamp, V., Van Laer, P. J., Swart, P., and Murray, S., 2015 "A Regional Analysis of Clumped Isotope Geochemistry to Define the Timing of Creation of Micro-Porosity in a Lower Cretaceous Giant Reservoir." *Paper presented at the Abu Dhabi International Petroleum Exhibition and Conference*, Abu Dhabi, UAE.

Becker, S., Reuning, L., Amthor, J. E., & Kukla, P. A., 2019. Diagenetic Processes and Reservoir Heterogeneity in

Salt-Encased Microbial Carbonate Reservoirs (Late Neoproterozoic, Oman). *Geofluids*.1-19

Bergmann, K., Finnegan, S., Creel, R., Eiler, J., Hughes, N., Popov, L. and Fischer, W., 2018. A paired apatite and calcite clumped isotope thermometry approach to estimating Cambro-Ordovician seawater temperatures and isotopic composition. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **224**, 18–41.

Bonifacie, M., & Calmels, D., & Eiler, J., 2013. Clumped isotope thermometry of marbles as an indicator of the closure temperatures of calcite and dolomite with respect to solid-state reordering of C–O bonds. *Mineralogical Magazine*. **77**, 735.

Bonifacie, M., Calmels, D., Eiler, J. M., Horita, J., Chaduteau, C., Vasconcelos, C., Bourrand, J. J., 2017. Calibration of the dolomite clumped isotope thermometer from 25 to 350 °C, and implications for a universal calibration for all (Ca, Mg, Fe) CO₃ carbonates. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **200**, 255–279.

Cater, J. M. L., Gillcrist, J. R., 1994. Karstic reservoirs of the mid–Cretaceous Mardin Group. SE Turkey: tectonic and eustatic controls on their genesis, distribution and preservation. *Journal of Petroleum Geology*. **17**, 253–278.

Chaojin, L., Murray, S., Koeshidayatullah, A., Swart, P. K., 2022. Clumped Isotope Acid Fractionation Factors for Dolomite and Calcite Revisited: Should We Care?. *Chemical Geology*. **588**, 120637.

Çağlayan, M. A., İnal, R. N., Şengün, M., Yurtsever, A., 1984, Structural setting of the Bitlis Massif. In "Geology of the Taurus Belt", O. Tekeli and M.C. Göncüoğlu (eds.), International Symposium on the Geology of Taurus Belt, *The Geological Society of Turkey*. 129-139.

Çelikdemir, E., Dülger, S., Görür, N., Wagner, C., Uygur, K., 1991. Stratigraphy, sedimentology, and hydrocarbon potential of the Mardin Group, SE Turkey. *Special Publications of the European Association of Petroleum Geoscientists* **1**, 439–454.

Dennis, K. J., Affek, H. P., Passey, B. H., Schrag, D. P., and Eiler, J. M. 2011. Defining an absolute reference frame for 'clumped' isotope studies of CO₂. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **75 (22)**, 7117–7131.

Dennis, K.J., and Schrag, D.P., 2010. Clumped isotope thermometry of carbonatites as an indicator of diagenetic alteration: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **74**, 4110–4122.

- Eiler, J. M., 2007. "Clumped-isotope" geochemistry-The study of naturally-occurring, multiply substituted isotopologues. *Earth and Planetary Science Letters*, **262**, 309-327.
- Epstein, S., Buchsbaum, R., Lowenstam, H., and Urey, H. C., 1951. Carbonate water isotopic temperature scale. *Geol. Soc. Am. Bull.*, **62**, 417-426.
- Evans, D., Sagoo, N., Renema, W., Cotton, L. J., Müller, W., Todd, J. A., et al. 2018. Eocene greenhouse climate revealed by coupled clumped isotope-Mg/Ca thermometry. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **115**, 1-6
- Ferry, J. M., Passey, B. H., Vasconcelos, C., and Eiler, J. M., 2011. Formation of dolomite at 40-80°C in the Latemar carbonate buildup, Dolomites, Italy, from clumped isotope thermometry. *Geology*, **39**, 571-574.
- Fontaine, J. M., Monod, O., Braud, J., and Perinçek, D., 1989. The Hezan units, a fragment of South Neotethyan passive continental margin in Southeast Turkey: *Journal of Petroleum geology*, **12**, 29-50.
- Flügel, E., 2004. Microfacies Analysis of Limestone: Analysis, Interpretation and Application. *Springer Verlag*, Berlin, 976.
- Geske, A., Goldstein, R. H., Mavromatis, V., Richter, D. K., Buhl, D., Kluge, T., John, C. M., and Immenhauser, A., 2015. The magnesium isotope (delta Mg-26) signature of dolomites: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. **149**, 131-151.
- Ghosh, P., Adkins, J., Affek, H., Balta, B., Guo, W. F., Schauble, E. A., et al. 2006. ¹³C-¹⁸O bonds in carbonate minerals: A new kind of paleothermometer. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **70**, 1439-1456.
- Goldstein, R., and Reynolds, J., 1994. Systematics of Fluid Inclusions. *SEPM Short Course Notes*, **31**, 188.
- Gregg, J. M., and Shelton, K. L., 1990. Dolomitization and Dolomite Neomorphism in the Back Reef Facies of the Bonnetterre and Davis Formations (Cambrian), Southeastern Missouri. *Journal of Sedimentary Research*, **60**, 549-562.
- Güven, A., Karabulut, A., Tezcan, Ş.Ü. ve Balkaş, Ö. 1982. Hazro Antiklinali Alanındaki Paleozoyik Üst Sistemine ait Oluşukların Stratigrafisi ve Hazro Formasyonu Fasiyes Analizi. *Türkiye 6. Petrol Kongresi*, Ankara 11-21.
- Hardie, L. A., 1987. Dolomitization: a critical-view of some current views: *Journal of Sedimentary Petrology*, **57**, 166-183.
- Henkes, G. A., Passey, B. H., Grossman, E. L., Shenton, B. J., Perez-Huerta, A. and Yancey, T. E., 2014. Temperature limits for preservation of primary calcite clumped isotope paleotemperatures. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **139**, 362-382.
- Horita, J., 2014. Oxygen and carbon isotope fractionation in the system dolomite-water-CO₂ to elevated temperatures. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **129**, 111-124.
- Huntington, K. W., Wernicke, B. P., and Eiler, J. M., 2010. Influence of climate change and uplift on Colorado plateau paleotemperatures from carbonate clumped isotope thermometry. *Tectonics*, **29**.
- John, C. M., 2015. Burial Estimates Constrained By Clumped Isotope Thermometry: Example Of The Lower Cretaceous Qishn Formation (Haushi-Huqf High, Oman). In: Armitage, P. J., Butcher, A. R., et al. (eds) Reservoir Quality of Clastic and Carbonate Rocks: Analysis, Modelling and Prediction. *Geological Society, London, Special Publications*, **435**.
- Kirkpatrjck, R. J., 1981. Kinetics of crystallization of igneous rocks, in Lasage, A. C., and Kirkpatrick, R.J., eds., Kinetics of Geochemical Processes: Reviews in Mineralogy, *Mineralogical Society of America*, **8**, 321-397.
- Koeshidayatullah, A., Corlett, H., Stacey, J., Swart, P., Boyce, A., Robertson, H., Whitaker, F., & Hollis, C., 2020. Evaluating new fault-controlled hydrothermal dolomitisation models: Insights from the Cambrian Dolomite, Western Canadian Sedimentary Basin. *Sedimentology*. 10.1111/sed.12729.
- Land, L. S., 1980. The Isotopic and Trace Element Geochemistry of Dolomite: The State of the Art. In: Zenger, D.H., Dunham, J. B., and Ethington, R. L., Eds., Concepts and Models of Dolomitization, *Society for Sedimentary Geology, Special Publications*, **28**, 87-110.
- Lind, I. L., 1993. Stylolites in chalk from Leg 130, Ontong Java Plateau. *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*. Ocean Drilling Program, **130**, 445-451.
- Lloyd, M. K., Ryb, U., and Eiler, J. M., 2018. Experimental calibration of clumped isotope reordering in dolomite. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **242**, 1-20.
- Lohmann, K. C., 1988. Geochemical Patterns of Meteoric Diagenetic Systems and Their Application to Studies of Paleokarst, in James, N. P., and Choquette, P. W., eds., Paleokarst: *New York, Springer-Verlag*, 58-80.

- Lukoczi, G., Haas, J., Gregg, J., Machel, H., Kele, S., John, C., 2020. Early dolomitization and partial burial recrystallization: a case study of Middle Triassic peritidal dolomites in the Villány Hills (SW Hungary) using petrography, carbon, oxygen, strontium and clumped isotope data. *International Journal of Earth Sciences*, **109**, 1051-1070.
- MacDonald, J., John, C., and Girard, J. P., 2015. Dolomitization processes in hydrocarbon reservoirs: insight from geothermometry using clumped isotopes. *Procedia Earth and Planetary Science*, **13**, 265–268.
- MacDonald, J. M., John, C., and Girard, J. P., 2018. Testing clumped isotopes as a reservoir characterization tool: a comparison with fluid inclusions in a dolomitized sedimentary carbonate reservoir buried to 2-4 km. In: Lawson, M., Formolo, M.J., and Eiler, J. M., (eds.) From Source to Seep: Geochemical Applications in Hydrocarbon Systems Series: *Geological Society of London. Special Publications*, **468**, 189-202.
- Machel, H., 2004. Concepts and models of dolomitization: A critical reappraisal. *Geological Society, London, Special Publications*, **235**, 7-63.
- MacKenzie, F. T., and Andersson, A. J., 2013. The marine carbon system and ocean acidification during phanerozoic time. *Geochemical Perspectives*, **2**, 1–227.
- Mangenot, X., Gasparrini, M., Gerdes, A., Bonifacie, M., and Rouchon, V., 2018. An emerging thermochronometer for carbonate-bearing rocks: Δ_{47} /(U-Pb). *Geology*, **46**, 1067–1070.
- Millan, M. I., Machel, H. G., and Bernasconi, S. M., 2016. Constraining temperatures of formation and composition of dolomitizing fluids in the upper Dnisku Formation (Alberta, Canada) with clumped isotopes. *Journal of Sedimentary Research*, **86**, 107–112.
- Morse, J. W., and Mckenzie, F. T., 1990. Geochemistry of Sedimentary Carbonates. *Developments in Sedimentology, Elsevier Science, Amsterdam*, **48**, 760.
- Murray, S. T., Arienzo, M. M., and Swart, P. K., 2016. Determining the Δ_{47} acid fractionation in dolomites. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **174**, 42–53.
- Murray, S. T., and Swart, P. K., 2017. Evaluating formation fluid models and calibrations using clumped isotope paleothermometry on Bahamian dolomites. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **206**, 73–93.
- Müller, I. A., Rodriguez-Blanco, J. D., Storck, J. C., Nascimento, G. S., Bontognali, T. R. R., Vasconcelos, C., et al. 2019. Calibration of the oxygen and clumped isotope thermometers for (proto-)dolomite based on synthetic and natural carbonates. *Chemical Geology*, **525**, 1–17.
- Perinçek, D., 1979. Interrelation of the Arabian and Anatolian plates, Guide Book for excursion "B", *First Geological Congress of the Middle East, Ankara*, **34**.
- Perinçek, D., Duran, O., Bozdoğan, N., Çoruh, T., 1992. Stratigraphy and Paleogeographical Evolution of the Autochthonous Sedimentary Rocks in Southeast Turkey. *Ozan Sungurlu Symposium, Proceedings*. 274-305.
- Radke, B. M, and Mathis, R. L., 1980. On the Formation and Occurrence of Saddle Dolomite. *Journal of Sedimentary Research*, **50**, 1149-1168.
- Rahimi, A., Adabi, M. H., Aghanabati, A., Majdifard, M. R., and Jamali, A. M., 2016. Dolomitization Mechanism Based on Petrography and Geochemistry in the Shotori Formation (Middle Triassic), Central Iran. *Open Journal of Geology*, **6**, 1149-1168.
- Rigo de Righi, M., and Cortesini, A., 1964. Gravity tectonics in foothills structure belt of SE Turkey. *AAPG Bull.*, **48**, 1596-1611.
- Salem, R., 1984. Geologic and hydrocarbon evaluation of the Cudi group sequence (Triassic-Jurassic) in southeast Turkey: Part 1 and 2: *TPAO Arama Grup Başkanlığı Raporu*, **1968**, 76.
- Schauble, E. A., Ghosh, P., and Eiler, J. M., 2006. Preferential formation of ^{13}C - ^{18}O bonds in carbonate minerals, estimated using firstprinciples lattice dynamics. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **70**, 2510–2529.
- Sena, C. M., John, C. M., Jourdan, A. L., Vandeginste, V., and Manning, C., 2014. Dolomitization of lower cretaceous peritidal carbonates by modified seawater: constraints from clumped isotopic paleothermometry, elemental chemistry, and strontium isotopes. *Journal of Sedimentary Research*, **84**, 552–566.
- Sibley, D. F., and Gregg, J. M., 1987. Classification of dolomite rock textures. *Journal of Sedimentary Geology*, **57**, 967-975.
- Spencer, C., Kim, S. T., 2015. Carbonate clumped isotope paleothermometry: A review of recent advances in CO_2 gas evolution, purification, measurement and standardization techniques. *Geosciences Journal*, **19**, 357–374.
- Spötl, C., and Pitman, J. K., 1998. Saddle (baroque) dolomite in carbonates and sandstones: a reappraisal

- of the burial-diagenetic concept. In: MORAD, S. (ed.) Carbonate Cementation in Sandstones. *International Association of Sedimentologists, Special Publications*, **26**, 437-460.
- Staudigel, P. T., Murray, S., Dunham, D. Frank. T., Fielding. C. R., and Swart. P. K. 2018. Cryogenic brines as diagenetic fluids: Reconstructing the alteration history of the Victoria Land Basin using clumped isotopes. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. **224**, 154–170.
- Stolper, D. A., and Eiler, J. M., 2015. The kinetics of solid state isotope-exchange reactions for clumped isotopes: a study of inorganic calcites and apatites from natural and experimental samples. *American Journal of Science*, **315**, 363–411.
- Swart, P. K., 2015. The geochemistry of carbonate diagenesis: the past, present and future. *Sedimentology*, **62**, 1233–1304.
- Swart, P. K., James, N. P., Mallinson, D., Malone, M.J., Matsuda, H. and Simo, T. 2002. Data report: carbonate mineralogy of sites Drilled during Leg 182. In: *Proceedings of the Ocean Drilling Program Scientific Results* (Eds Feary, D.A., Hine, A.C. and Malone, M.J.), **182**.
- Swart, P. K., and Melim, L., 2000. The origin of dolomites in Tertiary sediments from the margin of Great Bahama Bank: *Journal of Sedimentary Research*, **70**, 738–748.
- Swart, P. K., Reijmer, J. J., and Otto, R., 2009. A reevaluation of facies on Great Bahama Bank II: variations in the $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$ and mineralogy of surface sediments. In: *Perspectives in Carbonate Geology: A Tribute to the Career of Robert Nathan Ginsburg*, IAS Special Publication (Eds P.K. Swart, G.P. Eberli and J.A. McKenzie), Wiley-Blackwell, Oxford. **41**, 47–60.
- Swart, P. K., Cantrell, D. L., Arienzo, M. M., and Murray, S. T., 2016. Evidence for high temperature and $\delta^{18}\text{O}$ -enriched fluids in the Arab-D of the Ghawar Field, Saudi Arabia. *Sedimentology*, **63**, 1739–1752.
- Swart, P. K., Murray, S. T., Staudigel, P. T., and Hodell, D. A., 2019. Oxygen isotopic exchange between CO_2 and phosphoric acid: implications for the measurement of clumped isotopes in carbonates. *Geochem., Geophys. Geosyst.*, **20**, 1–21.
- Şenalp, M., Bahtiyar, I., Işıkalp, U., Uz, E. and Kaya, M. 2018. Sequence Stratigraphy and Sedimentology of the Paleozoic Successions on the Arabian Platform and Their Impact to Hydrocarbon Explorations in Southeast Turkey. *Turkish Association of Petroleum Geologists*, **396**.
- Şenalp, M., Tetiker, S., and Şentürk, M., 2021. Güneydoğu Türkiye'nin Paleozoyik İstiflerinin Stratigrafisi, Sedimentolojisi ve Hidrokarbon Potansiyeli. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, **64**, 143-198.
- Tang, J., Dietzel, M., Fernandez, A., Tripathi, A. K., and Rosenheim, B. E., 2014. Evaluation of kinetic effects on clumped isotope fractionation (Δ_{47}) during inorganic calcite precipitation. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **134**, 120–136.
- Temple. P. G., and Perry. L. J., 1962. Geology and oil occurrence. Southeast Turkey: *American Association Petroleum Geologists Bulletin*, **46**, 1596-1612.
- Tripathi, A. K., Eagle, R. A., Thiagarajan, N., Gagnon, A. C., Bauch, H., Halloran, P. R. and Eiler, J. M., 2010. $^{13}\text{C}^{18}\text{O}$ isotope signatures and “clumped isotope” thermometry in foraminifera and coccoliths, *Geochim. Cosmochim. Acta*, **74**, 5697–5717,
- Urey, H., 1947. The thermodynamic properties of isotopic substances. *Journal of Chemical Society*, **99**, 562–581.
- Veillard, C., John, C., Krevor, S., and Najorka, J., 2019. Rock-buffered recrystallization of Marion Plateau dolomites at low temperature evidenced by clumped isotope thermometry and X-Ray diffraction analysis. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. **252**.
- Veizer, J., Ala, D., Azmy, K., Bruckschen, P., and Buhl, D., 1999. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ evolution of Phanerozoic seawater. *Chemical Geology*, **161**, 59–88.
- Wacker, U., Fiebig, J., and Schoene, B. R., 2013. Clumped isotope analysis of carbonates: Comparison of two different acid digestion techniques. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, **27**, 1631–1642.
- Winkelstern, I. Z., and Lohmann, K. C., 2016. Shallow burial alteration of dolomite and limestone clumped isotope geochemistry. *Geology*, **44**, 467–470.
- Zaarur, S., Affek, H. P., and Brandon, M. T., 2013. A revised calibration of the clumped isotope thermometer. *Earth and Planetary Science Letters*, **382**, 47–57.
- Zenger, D. H., Dunham, J. B., Ethington, R. L., 1980. Concepts and models of dolomitization. *Society for Sedimentary Geology (SEPM)*, Special Publication, **28**, 320.

AKÜ FEMÜBİD 22 (2022) 045803 (944-962)

AKU J. Sci. Eng. 22 (2022) 045803 (944-962)

DOI: 10.35414/akufemubid.1111229

Araştırma Makalesi / Research Article

Atud (Mısır) Bölgesi'nde Bulunan Pan-African Temel Kayaçlarının Jeokimyasal Karakteristikleri

Demet KIRAN YILDIRIM¹, Amr ABDELNASSER^{1,2}¹ İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, İstanbul.² Benha Üniversitesi, Fen Fakültesi, Jeoloji Bölümü, Benha, Mısır.

Sorumlu yazar e-posta: kirand@itu.edu.tr

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5995-5723>

e-posta: amr.khalil@fsc.bu.edu.eg

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5994-7088>

Geliş Tarihi: 29.04.2022

Kabul Tarihi: 05.08.2022

Öz

Bu çalışmada, Atud bölgesindeki (Mısır'ın Orta Doğu Çölü) Prekambriyen Pan-African temel kayaçlarının jeolojik yerleşimlerini, jeokimyasal özelliklerini, saha ilişkilerini, tektonik yerleşimlerini ve petrojenezlerini belirlemek için petrografik ve jeokimyasal özellikleri ortaya konulmuştur. Atud Bölgesi'nde serpantinitle, bunların türevleri ve metatüfler, metagabro-diyorit kompleksi tarafından kesilmektedir. Metagabro-diyorit kompleksi ise olivin gabronoritik kayaçlar tarafından kesilmektedir. Serpantinitle, talk-karbonat ve kalk-silikat kayaçları metamorfik peridotitler olarak adlandırılmıştır. Nadir toprak elementleri (NTE) davranışları, HNTE ve pozitif Eu-anomalisi ile ANTE zenginleşmeleri ile karakterize edilir. Bu durum, hidrotermal akışkanların plajiyoklaz çözünmesi ve/veya sirkülasyonu ile doğada meydana gelen okyanus serpantinleşmesine işaret etmektedir. Metatüfler çoğunlukla en yüksek K/Rb oranına sahip olan bazik ile orta dereceli magma odalarından türetilmiştir. NTE paternleri, HNTE açısından zenginleşmiş, ANTE'den yoksun ve negatif Eu anomalilerine sahip genelde toleyitik ve kalk-alkalin kayaçlarla okyanus ada yayının metasedimentlerine benzemektedir. Ayrıca, dalma-batma zonu boyunca manto kaynağına eklenen bileşenler tarafından kirlenmiş bir magmadan kaynak kayaçlarının oluştuğunu ifade etmektedir, yani negatif Eu-, Sr- ve Zr- anomalileri göstermektedir. Metagabro-diyorit kompleksi kayaçlarının sırasıyla kalk-alkalin gabro ve gabro/diyorit ve diyorit ve gabro/diyorit olduğunu ortaya koymaktadır. Bu kayaçlar, sırasıyla metagabrolar ve diyoritler için klinopiroksen ve amfibol fraksiyonasyonuna işaret eden ada yayı ortamlarında meydana gelen kalk-alkali bazalt (CAB) ile karşılaştırılabilir. Öte yandan, olivin gabronorit kayaçları, K toleyitik magmatik afinitelere sahip gabroik kayaçlar olarak sınıflandırılır. NTE paternleri, HNTE ile zenginleşmeyi ve pozitif Eu-, Th-, Pb-, Sr- ve Zr-anomalileri ve plajiyoklaz ve olivin düşük basınçlı fraksiyonasyonunu ima eden negatif P- ve Ti-anomalileri ile ANTE açısından tüketilmeyi ortaya koymaktadır.

Anahtar kelimeler

Jeokimyasal Özellikler;
Atud Bölgesi; Orta
Doğu Çölü; Mısır

Geochemical Characteristics of the Pan-African Basement Rocks at Atud Area, Central Eastern Desert, Egypt

Abstract

This paper reports the geochemical characteristics of the Precambrian Pan-African basement rocks of the Atud area (Central Eastern Desert of Egypt) to clarify their geological setting, field relationships, and petrographic and geochemical characteristics to define their tectonic setting and petrogenesis. The Atud area is made up of serpentinites and their derivatives and metatuffs that intruded by metagabbro-diorite complex and later intruded by olivine gabbro-diorite rocks. The serpentinites, talc-carbonate, and calc-silicate rocks refer to be metamorphic peridotites. Their rare earth elements (REE) behavior is characterized by enrichment in LREE and flat HREE with positive Eu-anomaly. This suggests to the oceanic serpentinization in nature occurred with the plagioclase circulation/dissolution of the hydrothermal fluids. The metatuffs were mostly derived from basic to intermediate magmatic suites pointing to have highest K/Rb ratio. They are, therefore, similar to the metasediments of the oceanic island arc having tholeiitic to calc-alkaline affinities and negative Eu-anomalies, HREE-depleted, and LREE-enriched patterns. Moreover, their source rocks originated from a magma contaminated by components added to the mantle source along the subduction zone that is back to their negative Eu-, Sr-, and Zr- anomalies. The metagabbro-diorite complex rocks show calc-alkaline gabbro and gabbro/diorite and diorite and gabbro/diorite, respectively. They are comparable with the calc-alkaline

Keywords

Geochemical
Characteristics; Atud
Area; Central Eastern
Desert; Egypt

basalt (CAB) occurred in island arc setting indicating clinopyroxene and amphibole fractionation for the metagabbros and diorites, respectively. On the other hand, the olivine gabbro-norite rocks are low-K tholeiitic gabbroic rocks having enrichment in the LREE and flat HREE. In addition, their REE pattern show negative anomalies of P and Ti and positive anomalies of Eu, Pb, Sr, Th, and Zr. It concluded that the gabbro-norite rocks display low-pressure fractionation of olivine and plagioclase.

Afyon Kocatepe Üniversitesi©

1. Giriş

Atud Bölgesi Mısır'ın Mısır Doğu Çölü'nün orta kısmında yer almaktadır (Şekil 1a). Bu makale, Atud Bölgesi'ndeki (Mısır Orta Doğu Çölü) Prekambriyen Pan-Afrikan temel kayaçlarının jeokimyasal özelliklerine odaklanarak, sahadaki farklı litolojik birimlerin stratigraflarını, saha ilişkilerini ve petrografik özelliklerini açıklığa kavuşturmuştur. Bu çalışma ile kayaçların jeokimyasal ve petrokimyasal özelliklerini belirlemenin yanı sıra çalışma alanındaki kaya birimlerinin tektonik yerleşimini ve petrojenezini de belirlemek amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metod

Çalışma alanındaki altın içeren cevherli ve yan kayaçların kimyasal bileşimlerinin belirlenmesi amacı ile toplam 41 örnekte major oksit, iz element ve nadir toprak element analizleri İstanbul Teknik Üniversitesi Jeokimya Araştırma Laboratuvarları'nda (İTÜ/JAL) İstanbul'da yapılmıştır. Bu analizler, 0.01-12 nm dalga boyu aralığına sahip bir BRUKER S8 TIGER model X-ışını floresan spektrometresi (XRF) ve ELAN DRC-e Perkin Elmer modeli Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler için, Standart referans malzemelerin ölçülen ve yayınlanmış bileşimleri arasındaki karşılaştırmaya dayalı olarak, analizlerin nispi doğruluğu, ağırlıkça >%1 konsantrasyonlar için ~%1-2 ve ağırlıkça <%1 konsantrasyonlar için ~%5-10'dur.

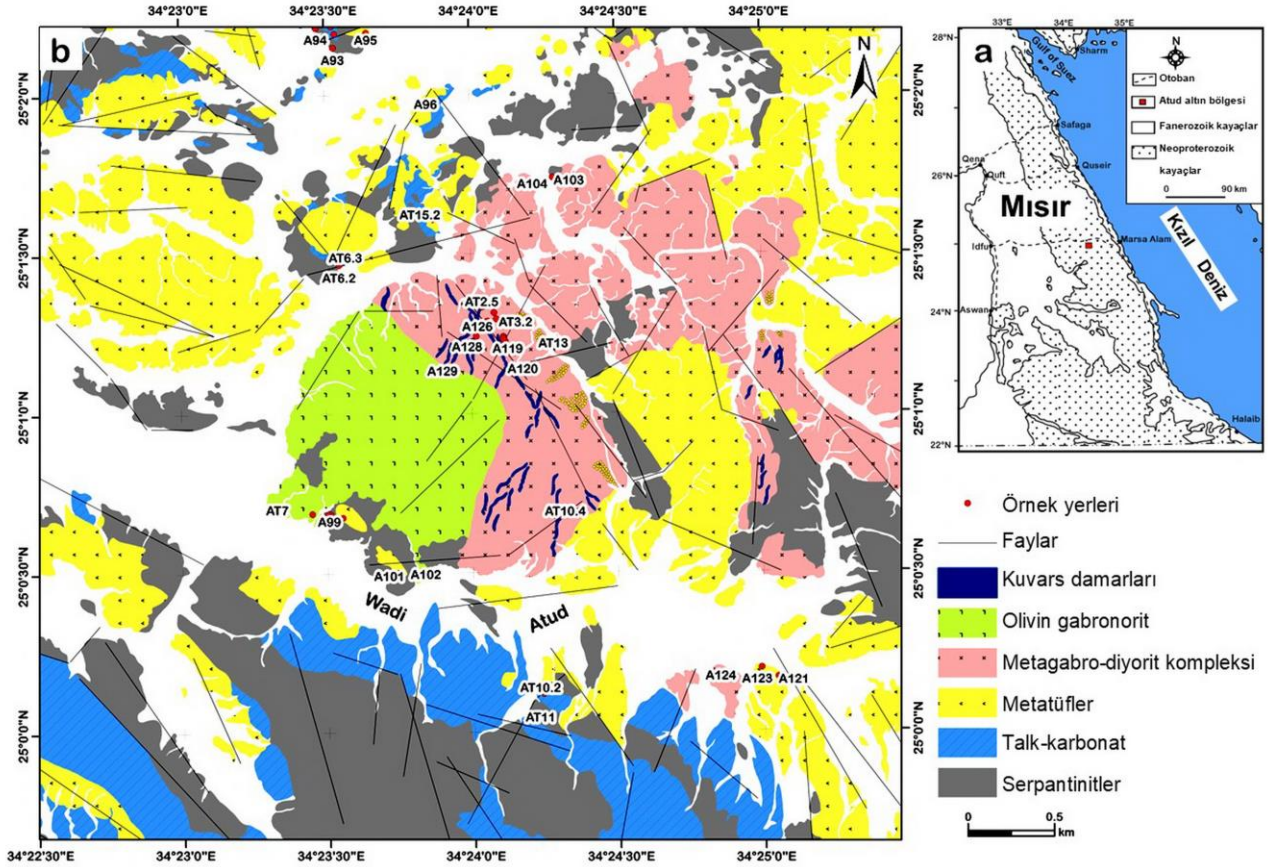
Çalışma alanından derlenen 30 örneğin mineralojik içeriklerinin belirlenmesi, mineral parajenezi, mineral ilişkileri, dokusal özellikler vb. özelliklerin saptanması amacıyla, İstanbul Teknik Üniversitesi Jeokimya Araştırma Laboratuvarları'nda (İTÜ/JAL)

Leica DM4500P model mikroskop ile incelenmiş ve fotoğraflanmıştır.

3. Jeoloji

Atud Bölgesi, Doğu Çölü'nün (Mısır) orta bloğunda yer almaktadır. Çalışma alanındaki arazi çalışmaları ve petrografik incelemelere göre, bölgede yoğunlukla serpantinitle ve metatüfler yer almaktadır. Bu kayaçlar metagabro-diyorit kompleksi tarafından kesilmektedir. Daha sonra bu kompleksin içerisine olivin gabronorit sokulumu yerleşmiştir (Şekil 1b). Atud çevresinde oluşan serpantinitle ve türevlerinin serpantinitle, talk-karbonat, dolomitik mermer ve kalk-silikat kayaçlarından oluştuğu görülmektedir (Şekil 1b ve 2a). Asıl serpantinitle kütleleri, talk-serpantinitle ve talk-karbonat kayaçları ile metatüflerle ilişkili olarak Atud bölgesinin güney ve güneydoğusunda yüzeylenmektedir (Şekil 2b ve 2c). Başta antigorit ile tremolit, az miktarda aktinolit, grafit ve kromit bulunmaktadır (Şekil 2d). Talk-karbonat kayaçları ise, çalışma alanının güney kesiminde, talk ve dolomitten oluşan metatüfler ve serpantinitle kayaçları (Şekil 1b ve 2b-c) ile daha az miktarda antigorit, grafit ve kromit ile geniş bir alana yayılmaktadır (Şekil 2e). Çalışma alanının kuzey kesiminde ise metatüflerle ilişkili kalsilikat kayaçları görülmektedir (Şekil 2h). Bu kayaçlar ise esas olarak ankerit, kalsit ve kuvars, az miktarda klinoklor, epidot ve kromitten oluşmaktadır (Şekil 2i).

Bölgede daha yaşlı kayaç topluluklarını kesen iki yönlü farklı tipte damar kayaçları bulunmaktadır (Şekil 1b); en yaşlı damar kayaçları serpantinitle kesen ankerit daylıları (KKD-GGB yönlü) ve en gençleri ise meta-gabro-diyorit kompleksini kesen porfiritik andezit ve aplitik daylılarıdır (KB-GD yönlü).



Şekil 1. a) Çalışma alanının (Atud Bölgesi-Mısır) yer bulduru haritası b) Jeoloji haritası (Abdelnasser and Kumral 2016, Gabra 1986, Harraz 1999)'dan değiştirilerek çizilmiştir.

4. Tartışma ve Sonuçlar

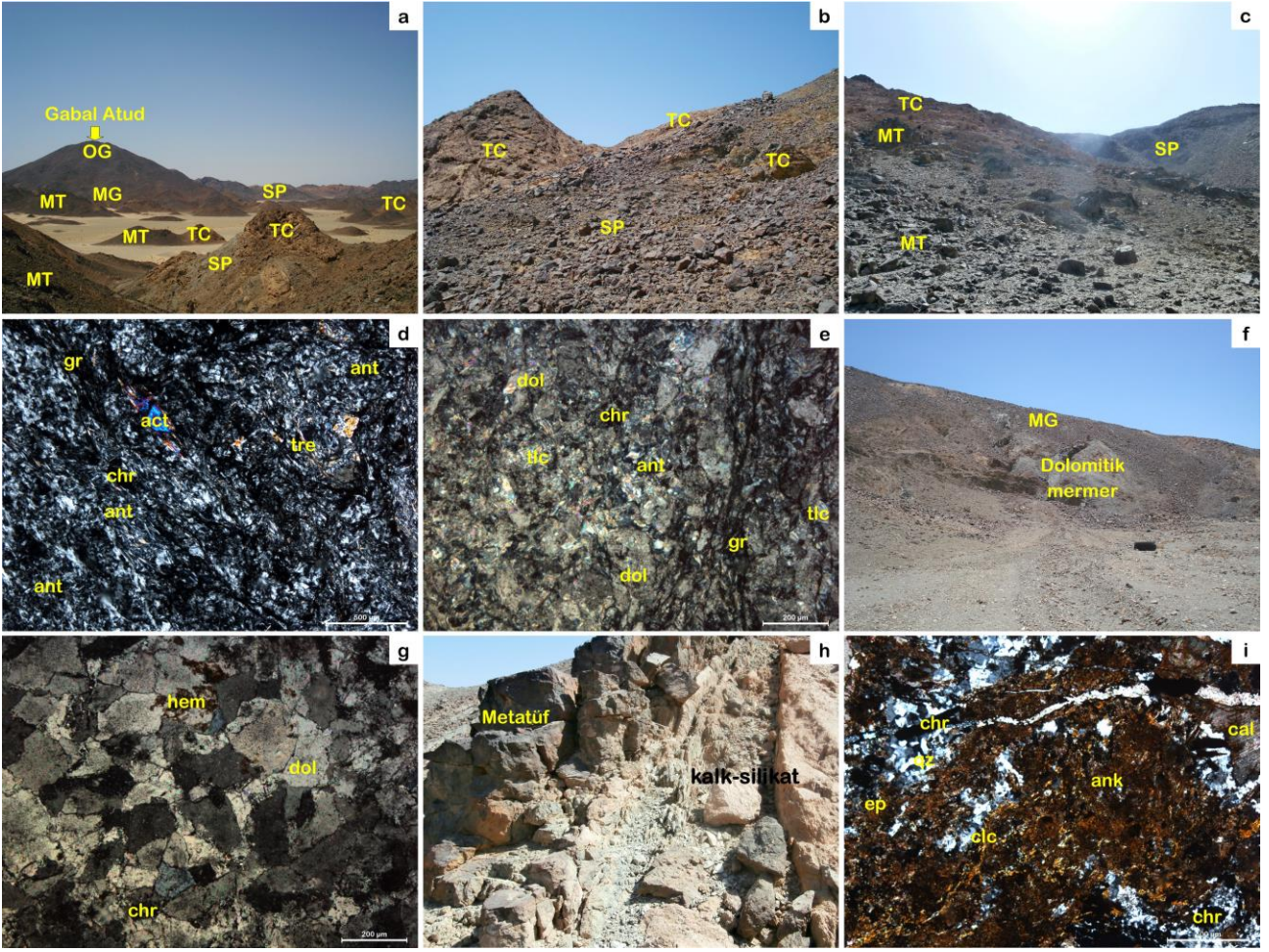
4.1. Mineralojik ve Petrografik İncelemeler

Atud'un güney kısmında dolomit (%90), az miktarda kromit ve götit içeren (Şekil 2g) metagabro-diyoritik kayaçlar (Şekil 2f) ile birlikte küçük izole dolomitik mermer kütleleri bulunmaktadır. Talk-karbonat ve serpantinitle kayaçları ile birlikte mafik lapilli metatüfler, çalışma alanının güneyinde yer almaktadır (Şekil 3a). Esas olarak bunlar kaolinleşmiş plajiyoklaz ve mikrokristalin tüflü bir matriks içerisinde bulunan tremolitli mikropertit, klinopiroksen, klinozoisit ve manyetitten oluşmaktadır (Şekil 3b).

Öte yandan, çalışma alanının kuzey kesiminde, çoğunlukla kaolinleşmiş mikropertit, flogopit ve çok daha ince bir tüflü matriks içine gömülmüş (Şekil 3c) biyotit ve manyetit ile kuvarstan oluşan kalk-silikat kayaçları (Şekil 2h) ile ilişkili ara metatüfler görülmektedir. Metaçört, Atud'un güney yamacında, kuvars ve feldspat bakımından zengin iki alternatif düzensiz bantlı laminadan oluşmaktadır (Şekil 3d).

Kuvars biyotit şistler ayrıca Atud'un güney yamacında yapraklanmış mostralı oluşturmalar ve faylanmayla etkilenirler (20° GD'ye eğimli K 30° B gidişli) (Şekil 3e). Esas olarak, kuvars ve biyotit içeren kaolinleşmiş K-feldspat ve kuvars damarcıkları ile kesilen az miktarda muskovit, karbonat ve manyetitten oluşmaktadır (Şekil 3f).

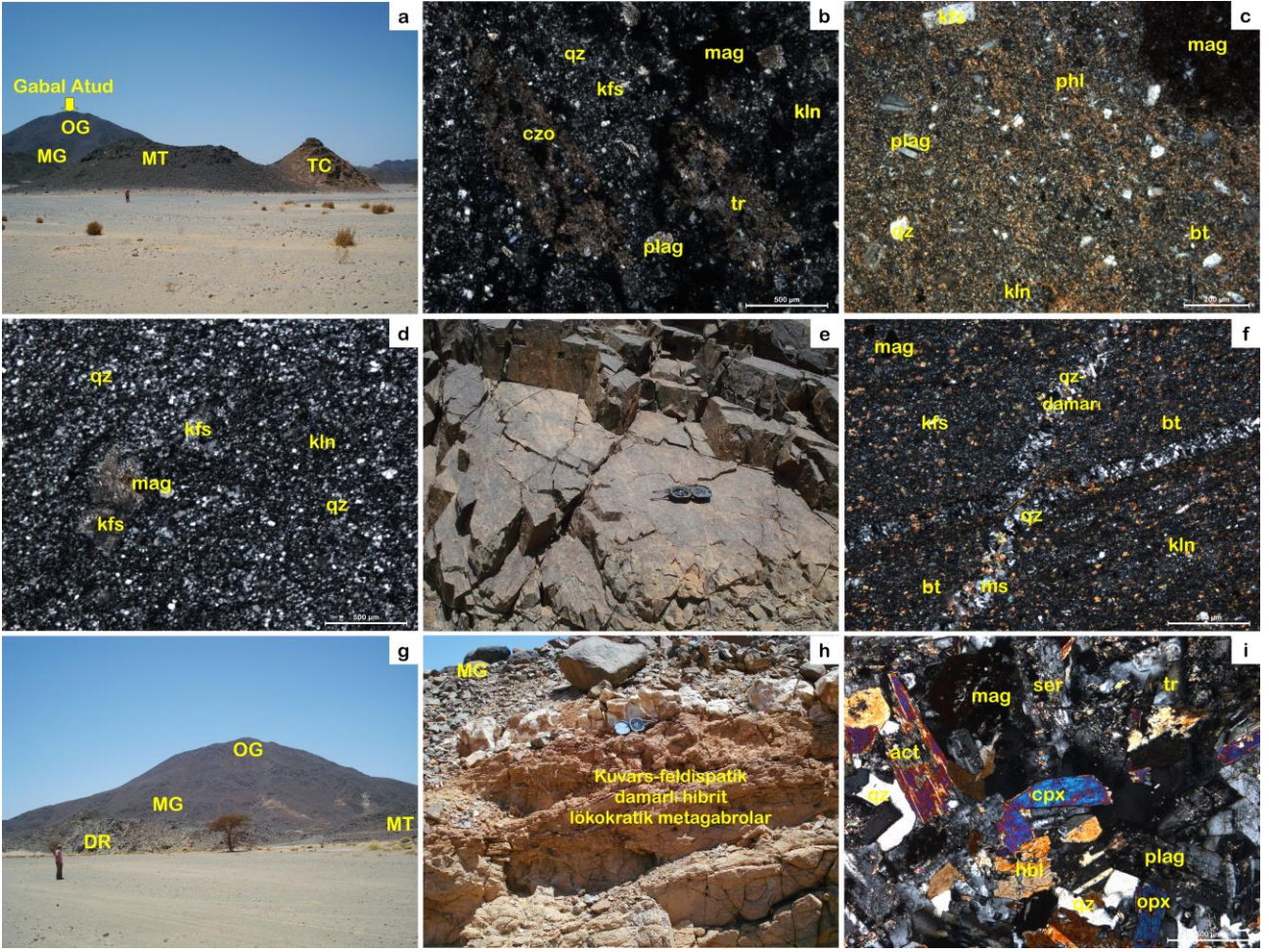
Bölgede daha yaşlı serpantinitle ve metatüflerin içerisinde intruzif şeklinde gözlemlenen bu kompleksin yanı sıra daha genç olivin gabronorit sokulumlarına da rastlanmaktadır. Atud'da, bunlar aralarında kuvarso-feldspatik damarlı hibrit lökokratik metagabroların bulunduğu metamorfozlu gabro ve diyorit kayaları (Şekil 3g) olarak sınıflandırılmaktadır (Şekil 3h). Bu kompleks, Atud'un doğu ve güneydoğu yamaçlarında çok sayıda mineralize ve mineralize olmayan kuvars damarları ve daykları tarafından kesilen Atud altın yatağının ana kayası olarak işlev görmektedir (Şekil 1b).



Şekil 2. a) Serpantinitler (SP) ve türevleri talk-karbonat (TC); Metagabro-diyorit kompleksi (MG) ve olivin gabro norit (OG) çevresindeki metatüflerle (MT) meydana gelmiştir; b) Talk karbonat kayaçları (TC) ile ilişkili serpantinitler (SP); c) Çalışma alanının güney kesiminde metatüflerle birleşmiş serpantinit (SP) ve talk karbonat kayaçları (TC); d) Serpantinit kayaçtaki tremolit (tre), aktinolit (act), grafit (gr) ve kromit (chr) ile antigorit (karınca) fotomikrografisi; e) Talk-karbonat kayaçlarında daha az antigorit (karınca), grafit (gr) ve kromit (chr) içeren talk (tlc) ve dolomit (dol); f) Atud'un güney yamacındaki dolomitik mermer; g) Dolomitik mermerin mineral bileşimi; h) Çalışma alanının kuzey kesiminde ara metatüflerle ilişkili kalk-silikat kayaçlar; i) Kalsit (cal), klinoklor (clc), epidot (ep) ve kalk-silikat kayaçta kromit (chr) ile ankerit (ank) ve kuvars (qz).

Metagabrolar esasen altere plajiyoklaz (bileşiminde labradorit, serisitleşmiş ve kaolinitleşmiş), aktinolit ve az miktarda klorit, kuvars, klinopiroksen ve ortopiroksen kalıntıları, hornblend ve manyetitten oluşmaktadır (Şekil 3i). Diyorit kayaçları, grimsi renkli, orta-iri taneli, hipidiyomorfik dokuludur. Serisitleşmiş plajiyoklaz, klorit ve hornblend, önemli miktarda kuvars ve demir oksit içermektedir (Şekil 4a-b).

Bunlar, deforme olmamış, masif, koyu gri ve başlıca plajiyoklaz (labradorit -bitovnit; %35-40), diyopsit (%25-30; kısmen altere olmuş aktinolit ve tremolit), hipersten (%15-20), kümülat olivin (kısmen serpantin minerallerine dönüşmüş, hacimce %15-20), ve demir oksit (%3) içermektedir (Şekil 4c-d).



Şekil 3. a) Atud Bölgesi'nde talk-karbonat ve serpantinitle oluşmuş mafik lapilli metatüfleri; b) Mafik lapilli metatüflerde mikrokristalin tüflü bir matris içinde kaolinitleşmiş plajiyoklas (plag) ve klinozoisit (szo) ve manyetit (mag) ile mikropertit (kfs); c) Ara metatüflerin mineral bileşimlerinin fotomikrografisi; d) Metaçört içinde düzensiz olarak kuvarşça zengin ve feldispatça zengin bantlı laminalar; e) Atud'un güney yamacındaki kuvarş biyotit şistleri üzerinde etkilenmiş faylanma (K 30°B, 20°GD'ye eğimli); f) Kuvarş biyotit şistleri kesen ince kuvarş damarları; g) Metagabro (MG) ve diyoritik kayaçlar (DR) Atud olivin gabronorit (OG); h) Atud metagabro (MG) ve diyoritik kayaçlar arasında oluşan kuvarşo-feldispatik damarlı hibrit lökokratik metagabrolar; i) Metagabro'nun mineral parajenezini.

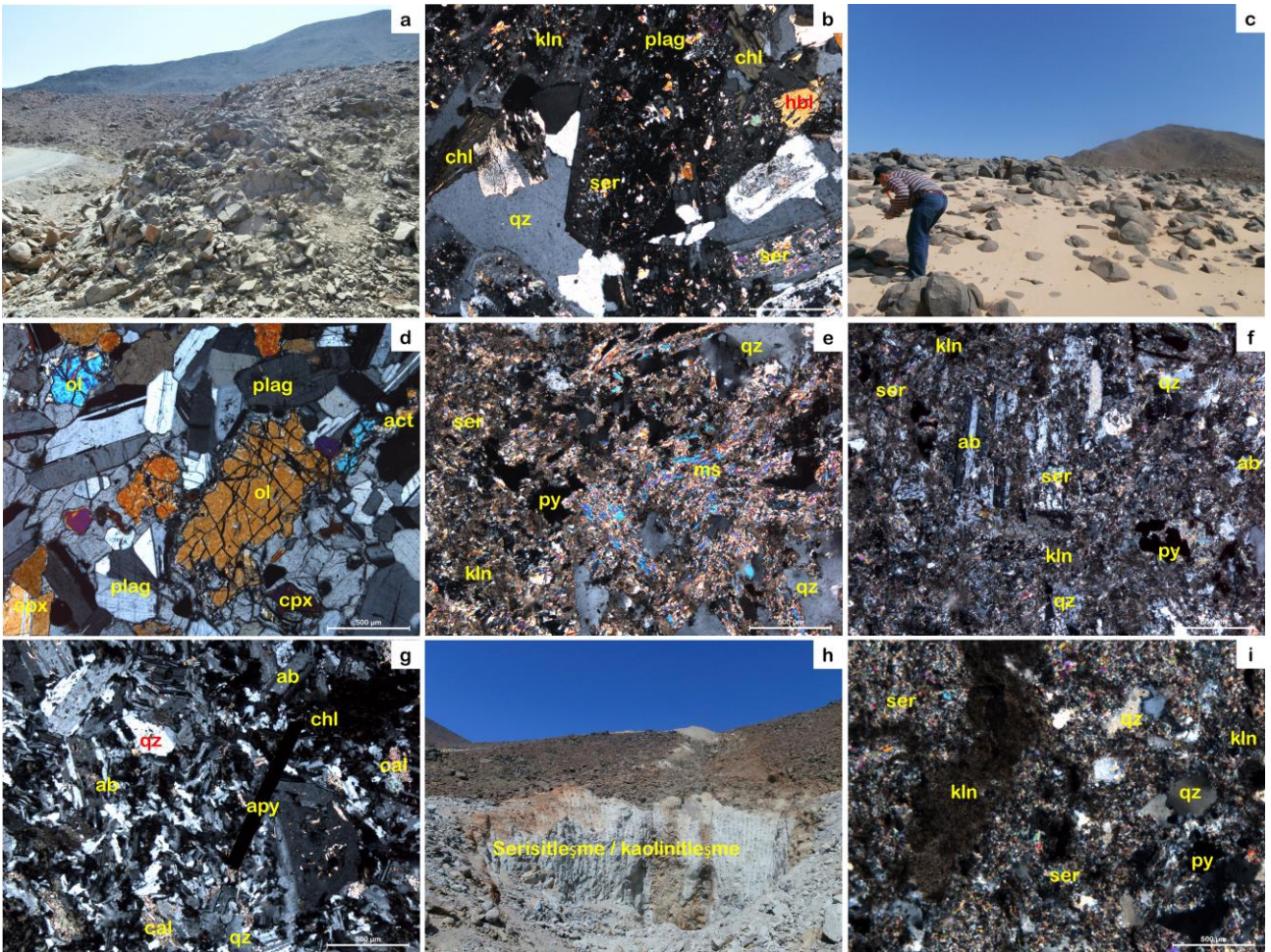
4.2. Jeokimyasal İncelemeler

Atud Bölgesi'ndeki serpantinitle ve bunların türevleri, metatüfler ve olivin gabronorit kayaçları ile temsil edilen farklı kaya birimlerinin majör, iz ve nadir toprak elementleri (NTE) verileri Çizelge 1 ve 2'de gösterilmektedir. Ayrıca farklı alterasyon bölgelerinin NTE analizleri de Çizelge 3'te verilmektedir.

Analiz edilen serpantinitle, talk-karbonat ve kalk-silikat kayaç örnekleri, metamorfik peridotitler ve mafik-ultramafik kümülat ofiyolitik kayaçlar alanına düşmektedir (Coleman 1977, Şekil 5a-b). Serpantinitle kayaçları metamorfize harzburjit, olivin vebsterit ve ortopiroksenitten, talk-karbonat kayaçları dünit ve

vebsteritten, kalk-silikat kayaçları ise piroksenit kayaçlarından türemiştir (Şekil 5c).

Yapılan bir araştırmada ultramafik kayaçların metamorfizmasını $\text{SiO}_2\text{-MgO-CaO-H}_2\text{O-CO}_2$ (CMS-HC) sistemi ile açıklayan Bucher and Frey (1994) bu sistemle bölgedeki serpantinitlelerin antigorit-enstatit-talk-tremolit bileşimlerinde, talk karbonat kayaçlarının ise talk, tremolit, diyopsit ve dolomit çevresinde yer aldığı görülmektedir (Şekil 5d). Öte yandan kalk-silikat kayaçlarının ise tremolit-talk-kuvarş bileşimindeki alana düştüğü gözlenmektedir (Şekil 5d).



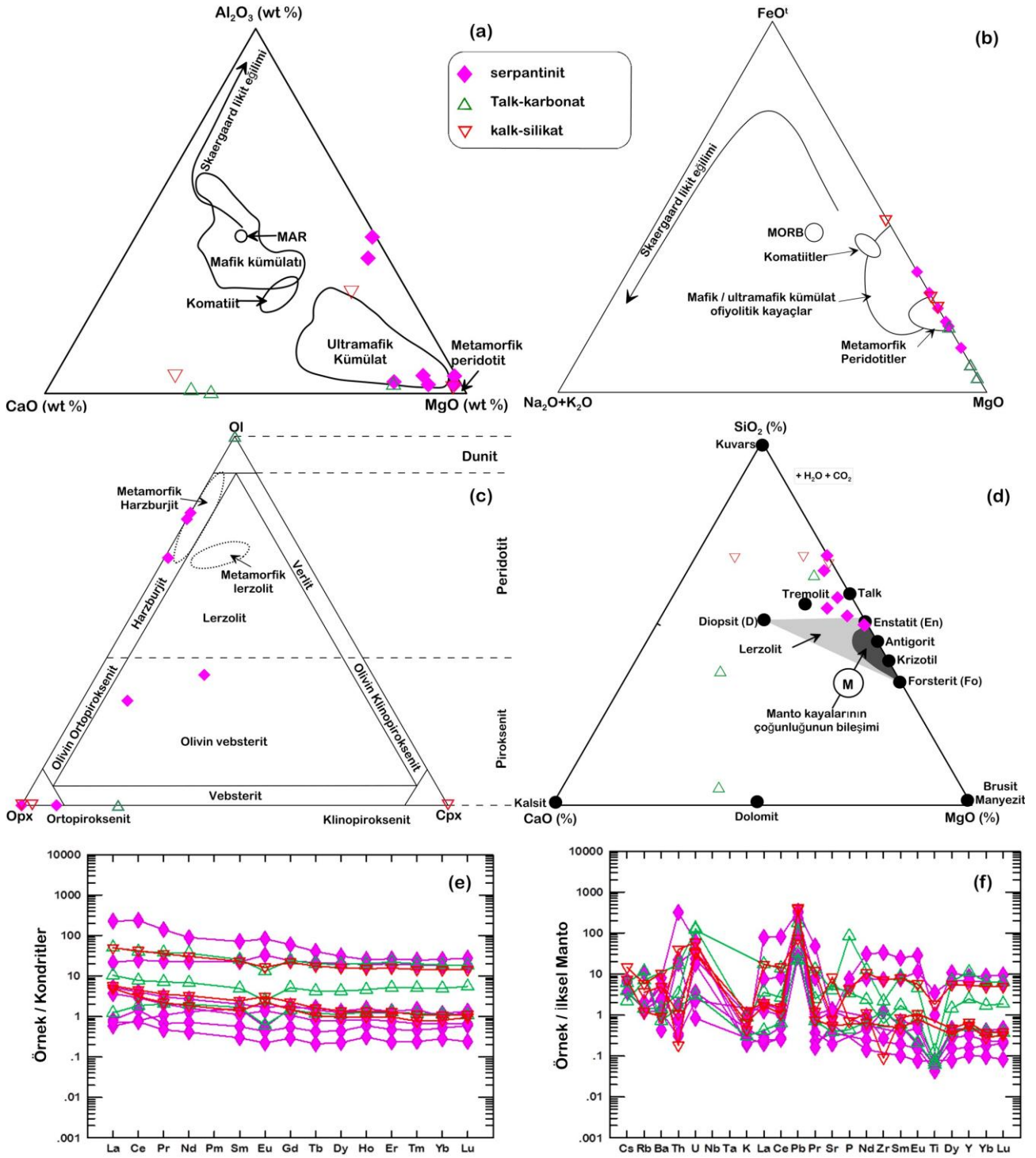
Şekil 4. a) Atud'un doğu yamacındaki diyorit; b) Önemli miktarda kuvars (qz) içeren serisitleşmiş plajiyoklaz (ser-plag), klorit (chl) ve hornblend (hbl); c) Atud'un batı yamacında büyük olivin gabronorit (OG) kayası; d) Olivin gabronoritte diyopsit (cpx), hipersten (opx) ve aktinolit (act) ile olivin (ol) ve plajiyoklaz (plag); e) Hidrotermal alterasyon zonu-1'de kuvars (qz) ve pirit (py) ile muskovit (ms), serisit (ser) ve kaolinit (kln); f) Kuvars (qz), albit (ab), serisit (ser) ve kaolinit (kln), zon-2'de pirit (py) ile; g) Klorit (chl), albit (ab), kalsit (cal), arsenopirit (apy) ve kuvars (qz) ile zon-3; h) Atud'un doğusunda meydana gelen serisitleşme/kaolinitleşme alterasyonu, i) Serisit (ser) ve kaolinit (kln), kuvars (qz) ve pirit (py) ile Atud'daki yüzey alterasyon ürünlerini temsil etmektedir.

Serpantinit, talk-karbonat ve kalk-silikat kayaçlarının kondrit normalize edilmiş NTE diyagramlarına bakıldığında, serpantinit, talk-karbonat ve kalk-silikat kayaçları için sırasıyla ortalama 25.8, 25.6 ve 23.6'lık HNTE zenginleşmeleri gözlemlenmektedir [Serpantinit için, $(La/Sm)_N=0.4-3.2$, talk-karbonat için 0.7-2.0 ve kalk-silikat kayaçlar için, 2.0-3.4] (Şekil 5e).

Ayrıca serpantinit, talk-karbonat ve kalk-silikat kayaçları için sırasıyla ortalama 8.1, 8.5 ve 6.1 ile

önemli ölçüde yükselmiş ANTE değerleri gösterirler. Serpantinit için $[(Gd/Yb)_N=1.0-2.2]$, talk-karbonat için 1.0-1.3 ve kalk-silikat kayaçlar için de 1.5-2.0] (Şekil 5e).

Pozitif Eu-anomali, serpantinit $[Eu/Eu^*=1.0]$ ve kalk-silikat kayaçlarını $[Eu/Eu^*=1.2]$ ayırt eder (Şekil 5e). Pozitif Eu anomalisi plajiyoklazların alterasyonu ve/veya hidrotermal akışkanların dolaşımını belirleyen okyanusal kayaçların serpantinleşmesi sırasında gelişmiştir (Debret *et al.* 2013, Douville *et al.* 2002, Paulick *et al.* 2006).



Şekil 5. Serpantinit ve türevlerinin (talk-karbonat ve kalk-silikat kayaçları) jeokimyasal diyagramları: a) $CaO-Al_2O_3-MgO$ diyagramı (Coleman 1977); b) AFM diyagramı (Coleman 1977); c) sınıflandırma ve adlandırma şeması (Streckeisen 1976), metamorfik harzburjit ve metamorfik lertzolit alanı (Coleman 1977); d) ultramafik kayaçların $SiO_2-MgO-CaO-H_2O-CO_2$ (CMS-HC) sisteminin kemografisi (Bucher ve Frey 1994); e) Kondrit ile normalize edilmiş NTE modelleri; f) İlkel manto ile normalize edilmiş eser element paternleri (Sun ve McDonough 1989).

Çizelge 1. Çalışma alanındaki serpantiniter, talk-karbonat ve kalk-silikat kayaçlarının ana, iz ve nadir toprak elementleri (NTE) değerleri.

Örnek No	Serpantiniter						Talk-karbonat kayaları				Kalk-silikat kayaları		
	A89	AT6.1	AT6.2	AT9.1	AT11.1	AT12.1	AT15	A97	AT8.1	A90	14.2	AT2.1	AT15.2
SiO ₂	52.33	44.48	27.77	58.89	39.36	40.10	30.53	24.27	2.53	50.05	51.34	52.21	54.42
Al ₂ O ₃	1.48	0.83	21.25	1.35	1.10	1.00	16.56	0.68	0.40	0.92	1.17	9.24	0.40
Fe ₂ O ₃ ^(T)	5.67	8.70	9.88	6.54	5.28	5.24	12.12	0.46	0.95	4.92	5.75	6.96	7.93
MgO	26.36	30.68	27.88	26.69	27.89	39.94	25.94	14.29	19.55	24.30	7.24	19.69	26.89
CaO	2.37	2.68	0.45	0.13	5.35	0.72	2.14	27.46	30.43	4.80	16.93	4.52	0.70
Na ₂ O								0.04			0.04	0.07	
K ₂ O	0.01	0.03	0.01	0.01		0.01	0.01	0.00	0.03	0.01	0.04	0.01	0.02
TiO ₂	0.01	0.02	0.22	0.01	0.01		0.76	0.03	0.02	0.01		0.39	
P ₂ O ₅		0.00	0.17				0.11	1.84	0.08	0.01	0.02	0.09	
MnO	0.06	0.12	0.28	0.04	0.08	0.05	0.23	0.03	0.09	0.06	0.30	0.14	0.07
Cr ₂ O ₃	0.52	0.30	0.00	0.57	0.28	0.27	0.18	0.02	0.00	0.27	0.58	0.08	0.38
L.O.I	11.19	11.68	11.96	5.49	20.36	12.32	11.23	30.89	45.76	14.65	16.04	6.40	8.51
İz and nadir toprak elementler (ppm)													
Ag	0.3	0.2	2.0	0.3	-0.4	0.7	0.3	0.2	0.3	0.2	0.2	0.7	1.4
As	2.0	33.9	33.3	53.0	69.9	43.1	48.4	4.0	32.1		106.5	31.3	68.2
Au (ppb)	184.7	66.6	41.2	4.0	11.1	25.5	6.0	14.9	6.9	49.4	19.8	25.5	20.9
Ba	3.0	37.8	55.7	17.2	8.2	35.2	16.3		10.2	5.0	72.8	6.4	34.2
Be	0.8	0.5	0.5	0.6	0.3	0.2	0.9	0.5	0.5	0.6	0.7	0.7	0.5
C	347.5	8095.6	584.9	1337.1	42574.0	2673.3	3204.0	74469.0	131000.0	1500.8	37658.0	0.0	1443.8
Cd	0.1	0.1	0.6	4.6	3.7	0.1	3.0	0.7	3.6	0.2	4.6	0.5	3.1
Co	92.0	92.7	15.0	32.2	64.6	80.9	53.8		19.0	68.0	161.7	39.6	79.5
Cr	3562.6	2041.7	0.0	3925.3	1897.3	1846.7	1238.4	122.5	23.9	1817.9	3958.1	565.1	2584.2
Cu	11.5	13.4	2.3	51.8	32.4	5.8	-4.7	96.4	50.4	76.3	25.9	6.9	17.1
Ga	5.6	3.6	18.0	2.0	1.1	1.8	16.3	2.2	0.6	4.4	5.8	7.6	2.2
Hf	0.1	0.1	9.1	0.1	0.0	0.1	2.8	0.3	0.1	0.1	0.1	2.7	0.1
Li	0.5	4.9	60.3	10.0	1.5	3.6	35.7	21.8	3.8	0.9	47.1	23.3	8.1
Ni	0.5	1878.9	61.7	1022.1	1256.5	1992.4	403.5	296.0	31.3	0.5	1385.1	574.4	1526.9
Pb	1.9	7.1	24.1	22.3	16.4	15.3	16.6	1.5	12.4	2.3	27.4	5.2	29.5
Pd	0.3	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2	0.5	0.5	0.2	0.8	0.1	0.2
Pt	0.05	0.01	0.1	0.02	0.03	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01
Rb	7.0	0.9	0.8	0.9	0.8	0.9	1.3	4.5	0.9	7.3	3.7	0.8	2.3
Ru	0.1	0.04	0.01	0.1	0.1	0.04	0.03	0.1	0.03	0.1	0.1	0.04	0.1
S	76.4	419.5	87.5	76.7	117.7	144.3	59.5	102.9	177.9	104.2	409.6	55.5	1280.6
Sb	1.3	0.9	0.3	0.4	1.2	3.3	0.4	9.6	0.7	4.4	159.1	0.5	0.9
Sn	0.8	0.9	1.6	0.8	1.1	0.6	1.8	0.8	0.6	0.8	1.5	1.5	1.2
Sr	4.1	28.4	20.8	7.8	26.6	12.3	13.0	86.3	107.9	8.2	176.0	16.2	11.5
Te	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.3	0.1	0.2
Tl	0.0	0.0	0.0	-0.1	-0.1	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
U	0.0	0.5	1.3	0.1	0.0	0.4	0.8	2.5	2.7	0.1	0.7	1.2	0.7
Zn	86.7	15.2	163.3	15.1	16.7	54.2	71.9	63.5	48.5	49.5	15.5	48.1	4.9
Zr	14.0	3.0	372.0				82.0	24.0	7.0	14.0	1.0	80.0	
Sc	185.0	81.7	60.5	101.7	74.8	81.6	97.3	85.5	13.1	192.8	100.4	111.6	122.4
Y	2.1	1.9	39.4	0.7	1.4	0.5	31.8	50.4	11.2	2.3	3.0	24.5	2.5
La	0.1	1.2	53.6	0.2	0.9	0.2	5.1	12.0	2.5	0.3	1.4	11.7	1.2
Ce	0.5	2.5	144.8	0.9	1.8	0.5	15.1	24.5	4.8	1.1	2.8	25.9	1.9
Pr	0.1	0.3	13.2	0.1	0.2	0.04	2.2	3.6	0.7	0.2	0.3	3.4	0.2
Nd	0.6	1.2	41.6	0.3	0.8	0.2	10.6	17.1	3.2	0.9	1.5	14.3	0.9
Sm	0.2	0.3	10.9	0.1	0.2	0.05	3.4	3.9	0.8	0.3	0.4	3.5	0.2
Eu	0.03	0.1	4.8	0.02	0.1	0.01	1.9	0.8	0.1	0.0	0.2	1.0	0.1
Gd	0.3	0.4	12.2	0.1	0.2	0.1	4.9	5.0	1.1	0.3	0.5	4.5	0.3
Tb	0.1	0.1	1.5	0.02	0.03	0.01	0.8	0.7	0.2	0.0	0.1	0.7	0.0
Dy	0.3	0.3	7.9	0.1	0.2	0.1	5.2	4.9	1.1	0.3	0.3	4.1	0.2
Ho	0.1	0.1	1.4	0.03	0.05	0.02	1.1	1.1	0.3	0.1	0.1	0.9	0.1
Er	0.2	0.2	4.4	0.1	0.1	0.04	3.3	3.7	0.9	0.2	0.2	2.6	0.2
Tm	0.04	0.03	0.6	0.01	0.02	0.01	0.5	0.5	0.1	0.03	0.03	0.4	0.02
Yb	0.2	0.2	4.3	0.1	0.1	0.05	3.1	3.2	0.8	0.2	0.2	2.4	0.1
Lu	0.03	0.03	0.7	0.02	0.02	0.01	0.5	0.5	0.1	0.0	0.03	0.4	0.02
Th	1.9	0.1	27.1	0.1	0.03	0.03	1.5	1.5	0.3	0.1	0.02	3.4	0.1
Parametreler													
FeO ^t	5.8	9.0	10.2	6.3	6.0	5.4	12.5	0.6	1.6	5.2	6.2	6.8	7.9
Na ₂ O+K ₂ O	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0
Σ REE	2.9	6.9	302.0	2.1	4.6	1.2	57.6	81.6	16.6	4.0	7.9	75.5	5.5
Σ LREE	1.6	5.6	269.0	1.6	3.8	0.9	38.3	61.9	12.0	2.9	6.5	59.7	4.5
Σ HREE	1.3	1.3	33.1	0.5	0.8	0.2	19.3	19.7	4.5	1.2	1.4	15.8	1.0
Eu/Eu*	0.3	0.9	1.3	0.8	1.3	0.8	1.4	0.5	0.5	0.4	1.3	0.7	1.6
(La/Sm) _n	0.4	2.5	3.0	1.4	3.2	2.3	0.9	1.9	2.0	0.7	2.2	2.0	3.4
(Gd/Yb) _n	1.6	1.5	2.2	1.0	1.5	1.0	1.3	1.3	1.0	1.2	2.0	1.5	1.8
Diopsit	6.9	10.1	0.0	0.0	23.4	0.8	0.0	0.0	0.0	19.6	60.3	0.0	2.1
Hipersten	77.1	57.5	14.7	78.0	36.7	30.1	15.2	0.0	0.0	67.1	0.0	59.6	83.5
olivine		26.7	56.3		32.8	63.0	52.7	34.7	61.0				

Serpantinit, talk-karbonat ve kalk-silikat kayaçları için oluşturulan spider diyagramına bakıldığında, U, Pb ve Eu'nun zenginleşme gösterdiği Th, Ti ve Rb'nin tüketildiği bu kayaçlarda karbonat oluşumunun varlığına işaret ettiği söylenebilmektedir (Deschamps *et al.* 2010) (Şekil 5f).

İncelenen metatüflerin analiz edilen örnekleri, çoğunlukla bazik bileşime sahip magmatizmadan türeyen yüksek K/Rb değerine sahiptir. Buna rağmen bazı örnekler de metavolkanik tüfler alanında asidik ara katkılar da gözlemlenmektedir (Floyd and Leveridge 1987) (Şekil 6a). Tortul kayaçların jeokimyasına dayanan dört köken halinde tanımlanan F1–F2 sınıflandırma diyagramına göre; P1-mafik ve daha az orta dereceli magmatik köken; P2-orta dereceli magmatik köken, P3-Felsik magmatik köken ve P4-kuvartoz tortul köken olduğunu göstermektedir (Roser and Korsch 1986).

Araştırılan metatüflerin çoğu ortaç magmatik kökenli (P2) alanına, bazı örnekler ise mafik ve felsik magmatik kökenli (P1 ve P3) alanına düşmektedir (Şekil 6b). Bhatia (1983), kabuğun bileşimine göre kıta kenarlarını ve okyanus havzalarını dört ayrı alt-başlık halinde incelemiştir; (1) Okyanus ada yaylarındaki komşu tortul havzalara karşılık gelen okyanus ada yayları ve bunların tortulları kalk-alkalin veya toleyitik yay magmatik kayaçlarından türemiştir. (2) bir kıta kabuğu üzerinde oluşan havzalar, ada yaylarına komşu tortul havzalarla karşılaştırılabilir ve kıta ada yayları ile bunların tortulları esas olarak felsik volkanik kayalardan türemiştir. Yay önü, yay arkası ve yaylar arası havzalarda birikim alanları olarak gözlemlenebilir. (3) Aktif kıta kenarları, kalın bir kıta kabuğu üzerinde veya ona komşu olarak gelişmiş tortul havzaları içerir ve bunların tortulları, esas olarak And tipi yerleşimde yükselen temelin granit-gneys ve silisli volkanitlerinden türemektedir. (4) Kıtaların kenarları boyunca meydana gelen Atlantik tipi riftli kıta kenarlarını oluşturan pasif kenarların yanı sıra aktif olmayan yakınsak kenarlara komşu olan

okyanus havzalarının kenarları ve çarpışma ojenleri ile bunların tortulları, yaşlı tortul ve metamorfik kayaçların ergimesi ile gelişir.

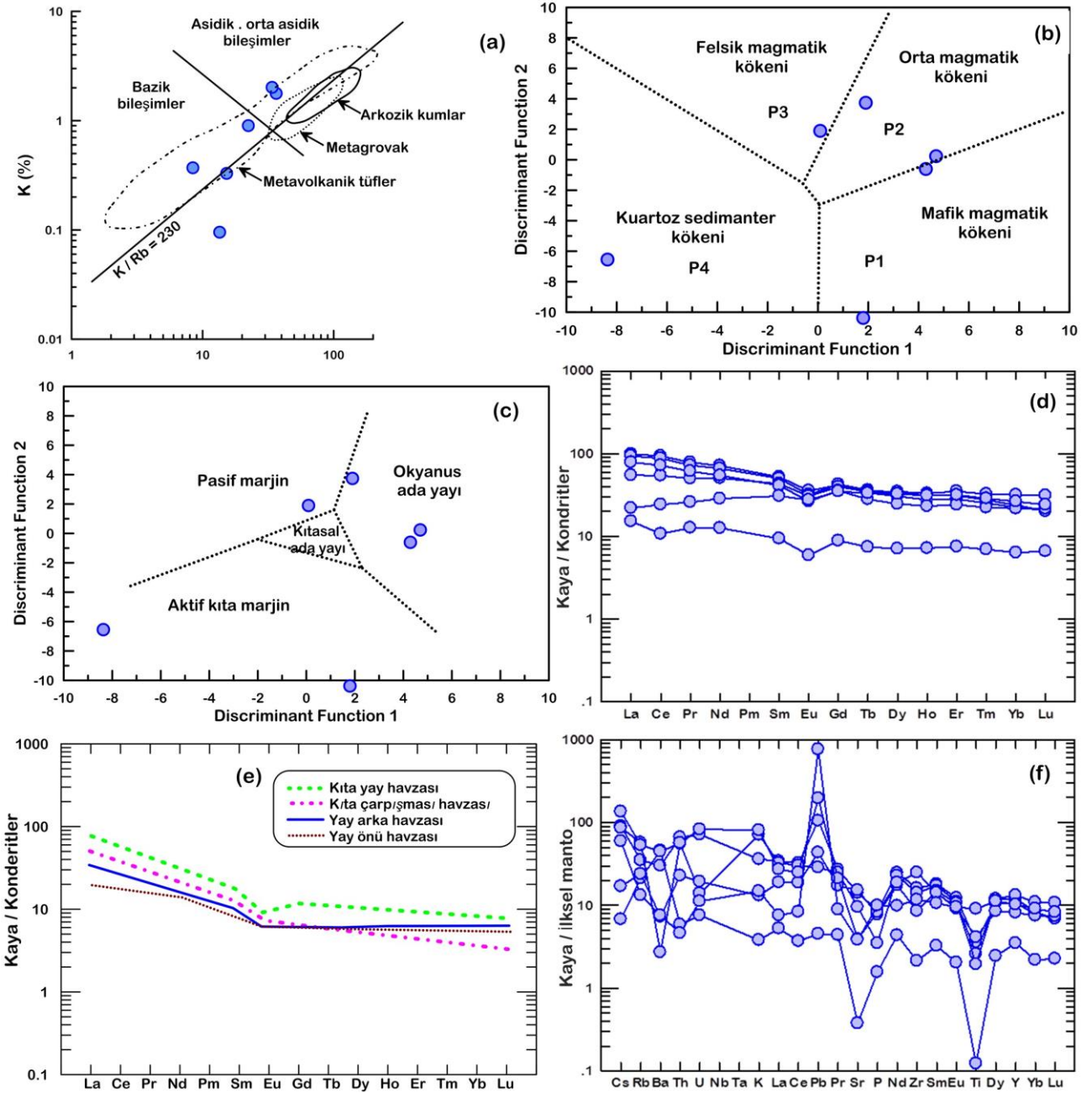
Şekil 6c'de incelenen metatüflerin çoğunlukla kalk-alkalin ve toleyitik kayaçlardan türeyen okyanusal ada yayının metasedimentlerine veya yaşlı metamorfik/sedimanter kayaçların ergime ürünlerine benzer olma eğiliminde olduğunu göstermektedir. Metatüflerin kondrite göre normalize edilmiş NTE değerlerine bakıldığında, bu kayaların ANTE $[(Gd/Yb)_N = 1.5]$ ve negatif Eu-anomalisi $[Eu/Eu^* = 0.7]$ göstermesine karşın HNTÉ $[(La/Yb)_N = 2.6]$ açısından zenginleştiği görülmektedir (Şekil 6d). İncelenen metatüflerin NTE profili, McLennan *et al.* (1990)'nın yaptığı araştırmadaki kıtasal yay havzası ile karşılaştırılabilir (Şekil 6e).

İncelenen metatüflerin ilksel manto-normalize uyumsuz element spider diyagramına göre, Cs, U, K, La, Pb, Nd ve Y elementlerince zenginleştiği, Ba, Sr, Zr, Eu, Ti ve Yb elementlerince fakirleştiği görülmektedir (Şekil 6f). Negatif Eu- $[Eu/Eu^* = 0.7]$, negatif Sr- $[Sr/Sr^* = 0.04]$ ve negatif Zr- $[Zr/Zr^* = 0.06]$ anomalilerine baktığımızda bu metatüflerin ilksel magma kaynağının yitim sırasında etkileşimde olduğu ikincil metasomatik çözeltiler ile kirletilmiş bir manto kaynağından türemiş olduğu söylenilebilir (Wilson 2007).

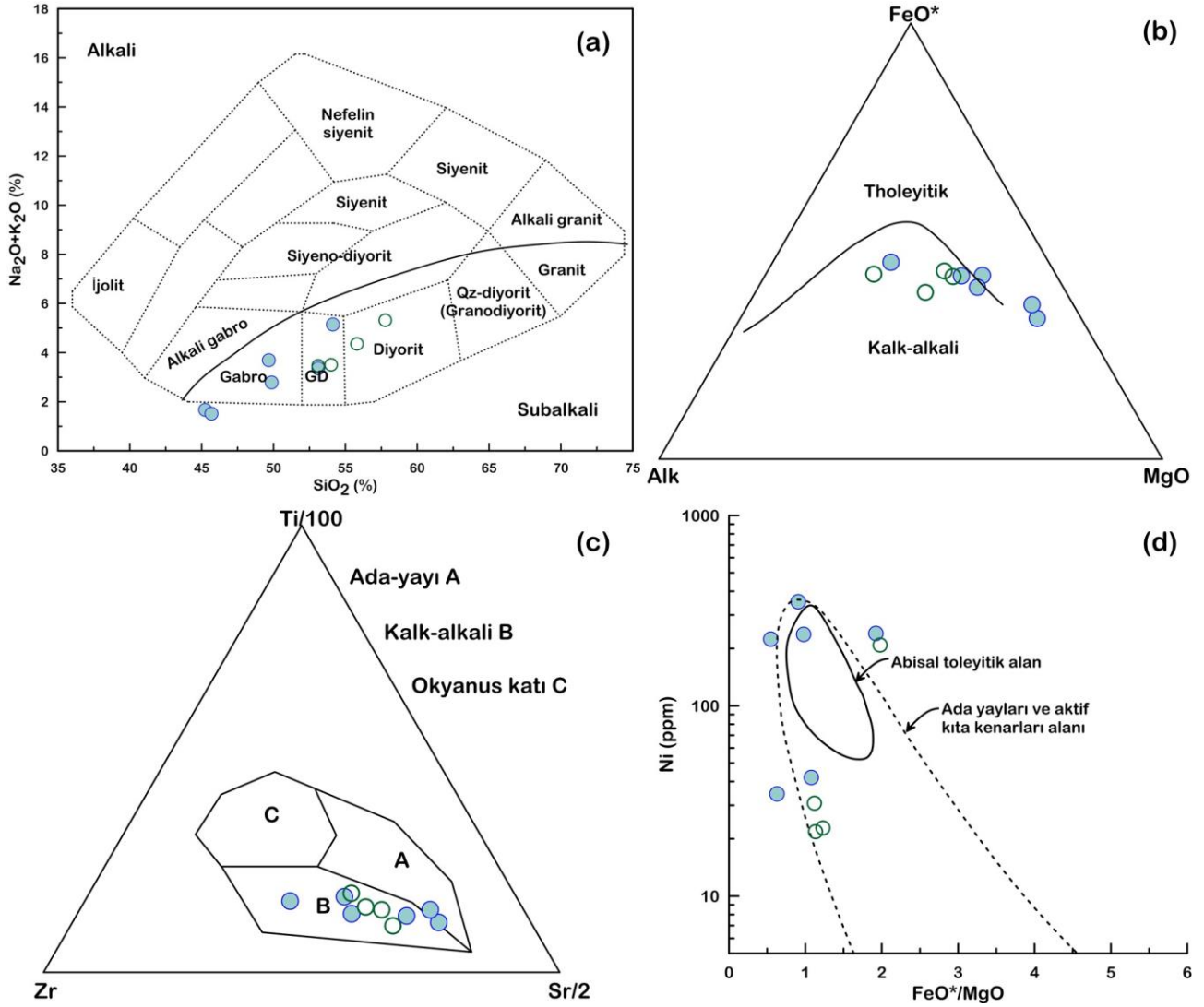
Cox ve diğ. (1979) tarafından önerilen $Na_2O+K_2O - SiO_2$ diyagramında (Şekil 7a), metagabroların gabro ve gabro/diyorit alanlarında olduğunu, diyoritlerin ise diyorit ve gabro/diyorit alanlarına düştüğü görülmektedir. Bu kayaçların kalk-alkali afiniteleri vardır (Şekil 7b) ve kalk-alkali bazalta (CAB) eşdeğerdir (Şekil 7c). Ni ve FeO^*/MgO içeriği arasındaki ilişki Miyashiro and Shido (1975) tarafından volkanik kayaçları farklı tektonik ortamlara göre ayırt etmek için kullanılmıştır, bununla birlikte analiz edilen metagabro-diyorit kompleksinin çizimleri çoğunlukla ada yayı alanına düşmektedir (Şekil 7d).

Çizelge 2. Çalışma alanındaki metatüfler ve olivin gabronorit kayaçlarının ana, iz ve nadir toprak elementleri (NTE) değerleri.

Örnek No	Metatüfler				Olivin gabronorit							
	A95	A100	A101	A122	AT6.3	AT12.2	A44	A98	A102	A126	A129	AT7
SiO ₂	58.58	97.78	69.89	68.87	61.63	44.53	45.55	47.19	47.33	46.55	45.55	44.80
Al ₂ O ₃	16.40	0.74	13.07	12.48	16.27	12.07	16.12	16.15	19.99	19.35	18.14	19.02
Fe ₂ O ₃ ^(T)	7.12	0.57	4.70	2.68	6.57	16.17	7.88	5.93	5.25	5.31	6.79	7.00
MgO	3.24	0.09	1.20	0.63	2.36	7.97	11.22	11.82	9.78	10.02	12.96	11.08
CaO	5.52	0.11	1.40	8.58	1.74	10.22	13.70	15.69	15.59	15.49	13.41	13.32
Na ₂ O	4.25	0.19	4.39	2.10	6.22	1.89	1.53	0.94	1.21	1.05	1.00	1.62
K ₂ O	1.09	0.11	2.14	0.40	2.43	0.45	0.18	0.07	0.08	0.11	0.09	0.14
TiO ₂	0.78	0.03	0.56	0.42	0.90	1.97	0.61	0.29	0.27	0.24	0.20	0.45
P ₂ O ₅	0.19	0.03	0.08	0.17	0.18	0.22	0.07	0.03	0.03	0.04	0.04	0.07
MnO	0.13	-	0.12	0.24	0.15	0.24	0.13	0.10	0.08	0.09	0.11	0.11
Cr ₂ O ₃	0.02	0.06	0.02	0.03	0.01	0.00	0.07					0.11
LOI	2.68	0.29	2.43	3.40	1.35	3.92	2.93	1.21	1.36	1.68	2.16	1.85
İz and nadir toprak elementleri (ppm)												
Ag	0.6	0.1	0.2	0.9	1.2	0.8	0.7	0.2	0.3	0.6	0.5	0.2
As	5.0	45.0	12.0	2.0	30.8	25.5	2.0	5.0	5.0	6.0	4.0	23.2
Au (ppb)	27.3	46.5	33.3	19.0	26.4	14.0	34.3	171.3	17.1	133.9	20.5	19.8
Ba	211.0	320.0	19.0	51.0	312.0	52.9	32.0	24.0	38.0	29.0	27.0	38.8
Be	1.8	0.5	1.1	1.2	2.1	0.6	0.8	0.6	0.4	0.9	0.8	0.5
C	4437.2	2137.9	2017.7	4418.7	1979.5	1034.8	1143.3	75.7	110.2	113.0	112.8	1265.5
Cd	0.2	0.2	0.1	0.4	0.5	4.1	0.3	0.2	0.2	0.3	0.3	0.5
Co	14.0	438.0	8.0	2.0	29.8	41.0	56.0	49.0	41.0	41.0	56.0	66.9
Cr	139.6	404.4	112.2	231.3	47.9	0.0	500.2	0.0	0.0	0.0	0.0	729.4
Cs	0.7	0.1	0.7	0.1	1.1	0.5	0.1	0.0	0.0	0.3	0.4	0.1
Cu	11.8	40.7	36.6	13.2	8.1	55.2	50.2	62.0	55.0	41.0	10.1	43.7
Ga	42.6	4.6	19.5	22.2	32.4	14.5	21.0	8.5	8.9	16.9	15.2	11.1
Hf	1.8	0.4	1.8	2.3	4.4	2.0	1.3	0.7	1.1	0.5	0.4	1.0
In	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Ir	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.1	0.0	0.0
Li	17.7	0.4	3.3	1.9	10.7	8.6	3.1	1.3	0.7	2.0	3.0	25.3
Ni	164.4	164.5	273.5	338.3	30.2	37.8	304.2	67.0	74.0	384.8	352.4	126.0
Pb	7.5	0.3	2.0	3.1	13.9	54.3	40.5	-0.4	-0.3	2.0	1.1	14.6
Pd	1.1	0.4	1.6	1.5	0.3	0.5	1.1	0.6	0.5	0.6	0.4	1.0
Pt	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Rb	22.3	13.5	36.4	15.3	33.9	8.4	11.7	5.8	7.0	7.8	8.2	2.0
Rh	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.05	0.04
Ru	0.1	0.2	0.2	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.04
S	69.6	902.9	213.3	374.8	139.3	230.5	159.2	2392.1	2043.1	1436.7	158.9	902.3
Sb	1.0	0.4	0.3	4.0	0.4	0.5	13.9	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2
Sn	2.5	1.3	2.4	2.1	3.0	1.8	1.3	0.9	0.9	0.9	0.9	0.8
Sr	298.4	8.0	201.3	320.8	82.5	81.2	399.6	269.0	327.0	363.3	350.0	256.4
Te	-	0.1	-	-	0.1	0.1	0.0	0.2	0.2	0.1	0.0	0.1
Tl	0.2	0.0	0.1	0.03	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
U	1.5	0.2	0.3	0.4	1.7	0.2	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2
V	397.5	237.8	293.5	183.7			400.0	392.3	315.9	367.0	315.0	
Zn	133.9	35.1	57.2	91.5	65.8	81.8	132.9	40.0	31.1	52.7	57.0	39.9
Zr	181.0	24.0	159.0	96.0	279.0	131.0	48.0	30.0	31.0	28.0	27.0	108.0
Sc	195.3	222.7	200.3	176.1	114.3	110.8	268.1	237.0	214.7	227.5	209.8	99.5
Y	49.2	15.9	55.5	60.3	37.2	46.6	19.7	11.7	10.5	9.7	8.2	7.9
La	23.5	3.6	22.3	13.0	18.7	5.2	4.4	2.2	2.4	2.2	2.3	2.0
Ce	57.4	6.6	53.8	33.3	44.3	14.9	11.4	5.5	5.8	8.0	5.3	5.1
Pr	7.5	1.2	6.9	4.8	5.8	2.5	1.7	0.8	0.9	0.8	0.8	0.7
Nd	33.5	5.9	30.9	23.7	25.4	13.4	8.6	4.5	4.4	4.1	3.8	3.6
Sm	8.0	1.4	7.7	6.6	6.3	4.7	2.6	1.4	1.3	1.2	1.1	1.1
Eu	2.1	0.3	1.8	1.8	1.5	1.6	1.1	0.7	0.7	0.7	0.6	0.5
Gd	8.6	1.8	8.8	8.2	7.4	7.2	3.2	1.9	1.8	1.6	1.3	1.5
Tb	1.3	0.3	1.4	1.3	1.1	1.2	0.5	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2
Dy	7.8	1.8	8.6	8.8	6.3	8.3	3.3	2.0	1.8	1.6	1.4	1.4
Ho	1.6	0.4	1.8	1.9	1.3	1.8	0.7	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3
Er	4.7	1.2	5.2	5.8	4.0	5.2	2.0	1.2	1.0	1.0	0.8	0.9
Tm	0.6	0.2	0.7	0.8	0.6	0.7	0.3	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1
Yb	3.8	1.1	4.1	5.4	3.7	4.5	1.7	1.0	0.9	0.8	0.7	0.7
Lu	0.5	0.2	0.5	0.8	0.6	0.6	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Th	5.6	0.5	4.7	1.9	4.8	0.4	0.5	7.7	0.3	3.1	0.3	0.2
Parametreler												
Na ₂ O+K ₂ O							1.7	1.0	1.3	1.2	1.1	1.8
FeO ⁱ /MgO							0.7	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6
K/Rb	403.6	70.6	488.3	215.8	595.6	440.3						
F1	4.3	-8.4	0.1	4.7	1.9	1.8						
F2	-0.6	-6.5	1.9	0.2	3.7	-10.4						
Σ REE	160.8	26.1	154.5	116.2	126.9	71.8	41.5	22.2	21.8	23.1	18.8	18.4
Σ LREE	131.9	19.1	123.5	83.2	102.1	42.2	29.7	15.1	15.5	17.1	13.9	13.1
Σ HREE	28.9	7.0	31.0	33.0	24.8	29.6	11.8	7.1	6.4	6.0	5.0	5.3
Sr _N	3.3	0.1	2.2	3.6	0.9	0.9	4.4	3.0	3.6	4.0	3.9	2.8
Ce _N	66.4	7.6	62.2	38.5	51.2	17.2	13.2	6.4	6.7	9.2	6.2	5.9
Sm _N	39.4	7.1	37.9	32.7	31.1	23.3	12.6	7.0	6.6	6.1	5.4	5.4
(La/Yb) _N	4.1	2.2	3.6	1.6	3.4	0.8	1.7	1.5	1.8	1.8	2.2	1.8
(Gd/Yb) _N	1.8	1.3	1.7	1.2	1.6	1.3	1.5	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
Eu/Eu*	0.8	0.6	0.7	0.7	0.7	0.8	1.2	1.2	1.4	1.4	1.5	1.3
Sr/Sr*	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.3	0.4	0.5	0.5	0.6	0.5
Zr/Zr*	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3



Şekil 6. Metatüflerin jeokimyasal diyagramları: a) K-Rb diyagramı (Van de Kamp 1968, Condi *et al.* 1970, Van de Kamp *et al.* 1976, Caby *et al.* 1977, Floyd and Leveridge 1987); b) F1 ve F2 diskriminant fonksiyonlarının grafiği (Rosser ve Korsch 1986); c) Fonksiyon 1'e karşı II boyunca diskriminant fonksiyonlarının grafiği (Bhatia 1983); d) Kondrit ile normalize edilmiş REE modelleri (Sun and McDonough 1989); e) McLennan *et al.* (1990); f) İlksele manto-normalize iz element paternleri (Sun and McDonough 1989).



Şekil 7. Metagabro-diyorit jeokimyasal diyagramları: a) alkali ve subalkali arasındaki ayırım çizgisi (Cox *et al.* 1979); b) AFM üçlü diyagramı (Irvine and Baragar 1971); c) Ti/100-Zr-Sr/2 üçlü diyagramı (Pearce and Cann 1973); d) FeO*/MgO-Ni diyagramı (Miyashiro and Shido 1975).

Zr/Y oranlarının, kaynağın heterojenliği nedeniyle okyanus ortası sirtlardan levha içi bazaltlara doğru arttığını, oysa volkanik ark bazaltlarının düşük Zr ve Zr/Y oranı, tükenmiş bir kaynağın yüksek derecede kısmi ergimesinden kaynaklanmaktadır (Pearce and Norry 1979). Öte yandan, bazaltların yüksek Zr ve benzeri Zr/Y oranı, açık sistem fraksiyonel kristalleşmesinden kaynaklanmaktadır.

Floyd (1993) amfibol ve klinopiroksen fraksiyonlaşmasının Zr varlığını önemli ölçüde

arttırdığını, oysa olivin ve plajiyoklaz fraksiyonlaşmasının Zr/Y oranını değiştirmediğini belirtmiştir.

Zr'ye karşı Zr/Y ikili diyagramına dayalı olarak, Zr/Y oranlarının önemli bir varyasyonu artan Zr ile artar (Şekil 8a). Bu durum, feldspatlı veya feldspatsız mafik fazların fraksiyonel kristalleşmesini göstermektedir (Drury *et al.* 1983).

Çizelge 3. Çalışma alanındaki metagabro-diorite kompleksinin ana, iz ve nadir toprak elementleri (NTE) değerleri.

Örnek no	Metagabro							Diyorit			
	A 42	A105	A124	A96	A124	A128	AT10.4	A14	A 103	A115	A116
SiO ₂	53.11	49.87	54.13	49.67	54.13	45.24	45.68	57.77	53.10	54.00	55.80
Al ₂ O ₃	15.81	16.19	16.79	13.79	16.79	13.96	16.72	16.69	18.33	15.79	16.37
Fe ₂ O ₃	7.83	8.53	7.73	9.00	7.73	6.47	7.05	6.71	7.39	7.43	6.24
MgO	6.94	8.19	3.86	9.43	3.86	11.26	10.45	3.16	5.58	6.34	5.25
CaO	6.99	10.26	5.16	8.57	5.16	15.69	15.09	6.59	8.66	7.18	6.40
Na ₂ O	2.62	2.43	3.10	2.93	3.10	1.46	1.37	4.39	3.10	2.84	3.53
K ₂ O	0.74	0.36	2.05	0.76	2.05	0.20	0.14	0.93	0.37	0.67	0.83
TiO ₂	0.74	0.65	1.23	1.00	1.23	0.45	0.48	0.92	0.98	0.71	0.63
P ₂ O ₅	0.13	0.11	0.38	0.35	0.38	0.06	0.06	0.26	0.18	0.12	0.11
MnO	0.14	0.14	0.11	0.16	0.11	0.12	0.13	0.11	0.13	0.13	0.11
Cr ₂ O ₃		0.05	0.01	0.09	0.01	0.17	0.05	0.01			
LOI	3.99	3.23	5.45	4.26	5.45	4.91	2.28	2.45	2.28	3.66	3.78
İz ve Nadir Toprak Elementleri (ppm)											
Ag	0.9	0.8	1.4	1.1	1.4	0.6	0.3	0.7	0.3	0.8	1.1
As	16.0	3.0	1.0	7.0	1.0	9.0	33.0	8.0	3.0	26.0	10.0
Au (ppb)	35.9	156.2	22.2	27.2	22.2	69.6	8.4	75.1	16.9	49.5	27.7
Ba	167.0	113.0	43.0	131.0	43.0	26.0	41.5	208.0	126.0	160.0	194.0
Be	1.2	1.2	1.8	1.5	1.8	0.9	0.5	1.4	0.7	1.4	1.3
C	349.9	1647.1	6602.0	2461.8	6602.0	3620.0	1096.6	2543.7	100.7	323.2	399.5
Cd	0.4	0.3	0.5	0.7	0.5	0.3	4.0	0.2	0.2	0.6	0.6
Co	31.0	50.0	28.0	44.0	28.0	36.0	45.2	42.0	24.0	31.0	26.0
Cr	0.0	329.8	95.8	604.1	95.8	1132.4		93.7	0.0	0.0	0.0
Cs	32.0	0.3	0.4	0.3	0.4	0.4	0.0	0.9	0.1	0.6	1.3
Cu	15.1	21.8	72.1	22.3	72.1	28.8	12.7	18.5	15.8	22.6	19.5
Ga	0.7	30.9	62.4	32.2	62.4	15.4	10.0	40.8	15.9	33.4	38.4
Hf	1.6	0.8	5.9	3.1	5.9	0.9	0.9	1.2	3.1	2.6	1.2
In	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1
Ir	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
Li	10.0	8.6	15.3	12.6	15.3	4.8	4.8	12.2	3.0	9.4	10.1
Ni	42.0	237.4	240.0	352.5	240.0	224.1	34.5	209.3	23.0	31.0	22.0
Pb	3.6	8.1	25.4	16.3	25.4	14.9	21.0	15.8	0.2	3.9	4.8
Pd	1.0	0.7	5.4	2.7	5.4	0.8	1.1	0.9	1.2	0.8	0.8
Pt	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Rb	29.5	15.0	39.8	19.0	39.8	10.7	1.8	36.5	11.0	60.0	27.0
Rh	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Ru	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.0	0.1	0.1	0.1	0.2
S	250.0	132.1	99.4	208.2	99.4	104.5	1398.3	235.8	244.3	656.9	213.5
Sb	0.8	4.1	4.6	8.8	4.6	7.9	0.2	5.5	0.5	0.7	1.1
Sn	1.7	1.3	2.9	1.8	2.9	1.6	0.8	2.0	1.7	1.6	1.5
Sr	436.2	362.9	366.0	347.1	366.0	336.5	229.7	454.2	334.0	317.0	443.9
Te		-	-	-	-	0.0	0.0	-	-	-	-
Tl	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1
U	0.5	0.2	1.2	0.7	1.2	0.2	0.3	0.5	0.1	0.4	0.4
V	369.7	510.4	486.7	577.6	486.7	443.8		344.4	417.1	442.1	389.4
Zn	101.9	109.7	141.1	189.4	141.1	84.8	20.8	134.6	51.1	105.6	109.2
Zr	80.0	47.0	202.0	115.0	202.0	42.0	73.0	107.0	105.0	86.0	96.0
Sc	245.6	234.4	216.5	220.0	216.5	275.7	123.7	221.5	217.7	213.2	206.5
Y	29.1	22.0	58.0	31.6	58.0	17.0	9.6	36.0	37.5	29.4	24.6

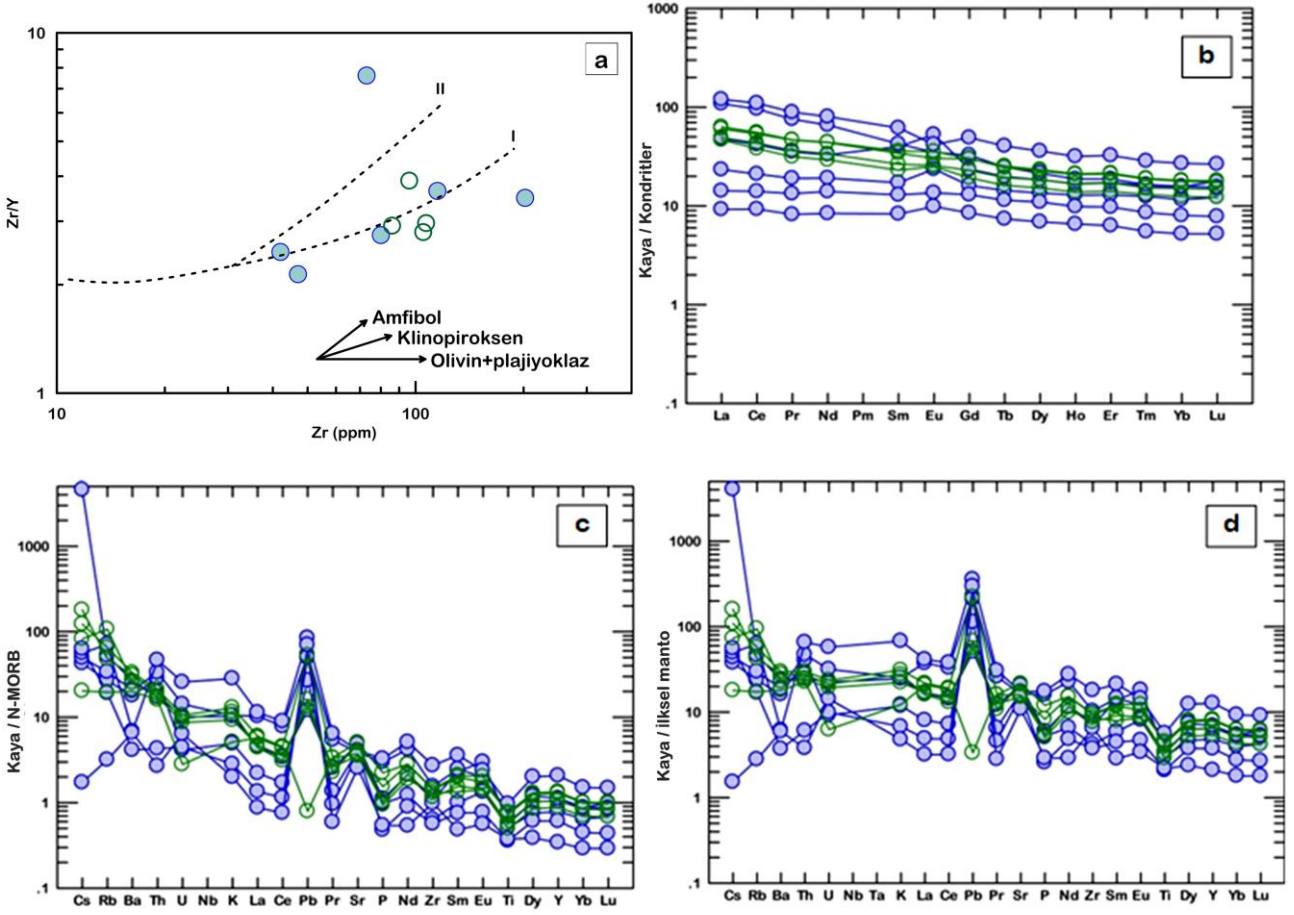
Çizelge 3. devamı

Örenk no	Metagabro						Diyorit				
	A 42	A105	A124	A96	A124	A128	AT10.4	A14	A 103	A115	A116
La	11.3	5.5	28.4	25.7	28.4	3.4	2.2	15.0	14.3	11.7	11.0
Ce	25.6	12.9	67.2	58.7	67.2	8.6	5.7	34.0	32.8	26.5	23.3
Pr	3.3	1.8	8.5	7.2	8.5	1.3	0.8	4.4	4.4	3.5	3.0
Nd	15.4	8.9	37.4	30.8	37.4	6.5	3.9	20.7	20.4	15.7	13.6
Sm	6.1	2.6	9.4	6.5	9.4	2.0	1.3	5.5	5.2	4.1	3.5
Eu	3.1	1.4	2.4	2.0	2.4	0.8	0.6	2.1	1.8	1.5	1.4
Gd	4.8	3.3	10.1	6.7	10.1	2.7	1.7	6.2	6.1	4.7	4.0
Tb	0.7	0.5	1.5	0.9	1.5	0.4	0.3	0.9	0.9	0.7	0.6
Dy	4.7	3.4	9.1	5.4	9.1	2.8	1.8	5.7	5.9	4.7	3.9
Ho	1.0	0.7	1.8	1.1	1.8	0.6	0.4	1.2	1.2	0.9	0.8
Er	2.9	2.1	5.4	3.1	5.4	1.6	1.0	3.5	3.6	2.8	2.3
Tm	0.4	0.3	0.7	0.4	0.7	0.2	0.1	0.5	0.5	0.4	0.3
Yb	2.7	2.0	4.6	2.7	4.6	1.4	0.9	3.0	3.1	2.6	2.1
Lu	0.5	0.3	0.7	0.4	0.7	0.2	0.1	0.4	0.5	0.4	0.3
Th	2.1	3.4	5.6	4.0	5.6	0.5	0.3	2.5	1.9	2.1	2.3
Parametreler											
FeO*	7.5	8.0	7.4	8.5	7.4	6.2	6.6	6.2	6.8	7.1	5.9
Na ₂ O+K ₂ O	3.4	2.8	5.1	3.7	5.1	1.7	1.5	5.3	3.5	3.5	4.4
FeO*/MgO	1.1	1.0	1.9	0.9	1.9	0.5	0.6	2.0	1.2	1.1	1.1
Zr/Y	2.7	2.1	3.5	3.6	3.5	2.5	7.6	3.0	2.8	2.9	3.9
Σ REE	82.4	45.9	187.2	151.6	187.2	32.4	20.8	103.1	100.7	80.1	70.2
Σ LREE	64.8	33.1	153.3	130.9	153.3	22.5	14.4	81.7	78.9	62.9	55.9
Σ HREE	17.6	12.7	33.9	20.7	33.9	9.8	6.4	21.5	21.8	17.2	14.3
Eu/Eu*	1.7	1.4	0.8	0.9	0.8	1.1	1.2	1.1	1.0	1.0	1.2
(La/Sm) _N	1.1	1.3	1.9	2.4	1.9	1.0	1.1	1.7	1.7	1.8	1.9
(Gd/Yb) _N	1.5	1.3	1.8	2.0	1.8	1.6	1.6	1.6	1.6	1.5	1.5
Sr/Sr*	0.2	0.3	0.1	0.1	0.1	0.4	0.4	0.1	0.1	0.1	0.2

Metagabro örnekleri ise, ada yaylarından mafik fazlardan kristalize olan klinopiroksen fraksiyonasyonunu yansıtırken (Drury *et al.* 1983), buna karşın metadiyorit örnekleri, And tipi yaylardan mafik fazlardan kristalize olan amfibol fraksiyonlaşmasını yansıtır (Drury *et al.* 1983) ve tipik kalk-alkali volkanik yay lavlarıdır (Brown *et al.* 1977). Metagabro-diyorit kompleks kayaçlarının kondrit-, N-tipi MORB ve ilksel manto-normalize REE paternleri, doğrusal profillerle karakterize edilir (Şekil 8b-d). Bu paternler, metagabro için ortalama LREE değerleri 81.8 ve diyoritik kayaçlar için ortalama 69.9 olan zenginleşmiş bir HNTE ile karakterize edilir. (La/Sm)_N değerleri ise metagabro için 1.1-2.4 ve diyoritik kayalar için 1.7-2.0 olarak gözlemlenmektedir (yüksek oranla daha fazla amfibol grubu mineral içeren mafik kayaçlarda

ONTE grubu elementlerin zenginleşmesi daha düşük (La/Sm)_N değerlerine sebep olmaktadır.

Metagabro için ortalama 19.3 ve diyoritik kayaçlar için 18.7 olan nispeten yatay ANTE paternleri ise diyoritik kayaçların nispeten daha uzun süre kıtasal kontaminasyona maruz kaldığını göstermektedir. [metagabro ve diyoritik kayaçlar için sırasıyla ortalama (Gd/Yb)_N = 1.6 ve 1.5]. Modeller ayrıca hafif pozitif Eu anomalileri de göstermektedir (sırasıyla metagabro ve diyoritik kayaçlar için Eu/Eu* = 0.8-1.7 ve 1.0-1.2). Pozitif Eu anomalileri, Eu ve hafif NTE varlığına katkıda bulunan ve ANTE'nin azalmasına yol açan magmadaki plajiyoklaz fraksiyonlaşmasından kaynaklanmaktadır (Hassanipak *et al.* 1996).

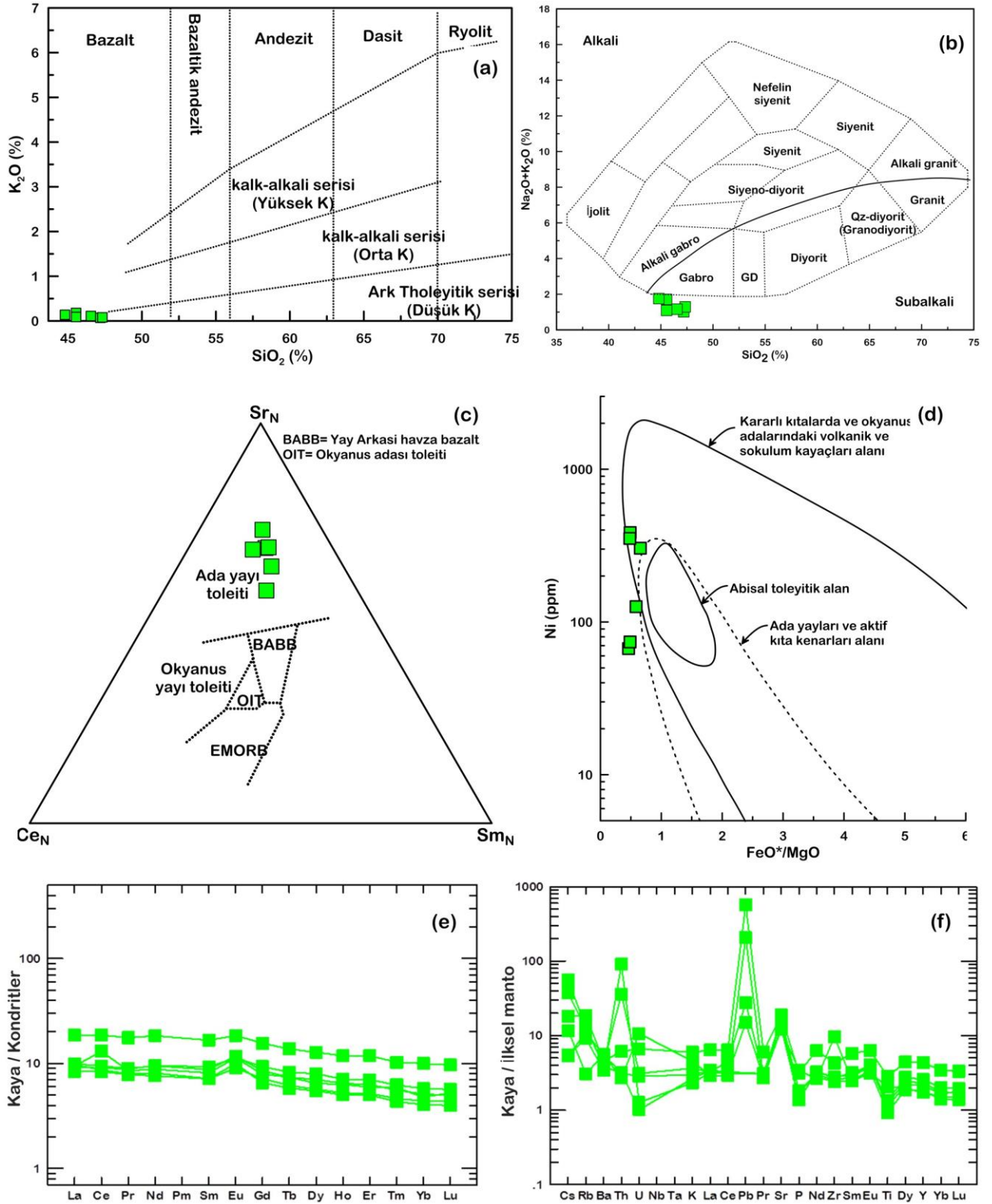


Şekil 8. Metagabro-diyorit diyagramlarının jeokimyasal diyagramları: a) Zr/Y - Zr ikili diyagramı, fraksiyonel kristalleşme vektörleri (Drury *et al.* 1983, Floyd 1993); b) Kondrit ile normalize edilmiş REE modelleri (Sun and McDonough 1989); c) N-tipi MORB ile normalize edilmiş modeller (Sun and McDonough 1989); d) İlksel manto-normalize iz element paternleri (Sun and McDonough 1989).

Çizelge 2'de görülen olivin gabronorit kayaçlarının jeokimyasal verilerine dayanarak, gabroik kayaçlar olarak sınıflandırılan (Şekil 9b) düşük K toleyitik magmatik afinitelere sahip oldukları kanıtlanmıştır ve Ikeda (1990)'nın ada-yayı toleyitlerine (IAT) karşılık gelmektedir.

Ayrıca, Miyashiro and Shido (1975)'nin durağan kıta ve okyanus adaları ortamlarında gelişen intruzif kayaçlara da benzerlik gösterdiği düşünülmektedir (Şekil 9d). Olivin gabronorit kayalarının kondrit

normalize edilmiş NTE paternleri, HNTE'nin zenginleştiği [ort.(La/Yb)N=1.8] ve pozitif Eu [ort. Eu/Eu*=1.3] anomalilerine sahip ANTE [ort. (Gd/Yb)N=1.6] 'nin düz bir trend sunduğu görülmektedir (Şekil 9e). Analiz edilen kayaçların ilksel manto-normalize uyumsuz element spider diyagramı, Th, Pb, Sr, Zr ve Eu'nun pozitif anomalilerini, negatif P- ve Ti-anomalileri ortaya koymaktadır ve plajiyoklaz ve olivin'in düşük basınçlı fraksiyonasyonuna işaret etmektedir (Hawkesworth *et al.* 1977, Şekil 9f).



Şekil 9. Olivin gabronoritin jeokimyasal diyagramları: a) K_2O - SiO_2 diyagramı (Le Maitre *et al.* 1989), b) alkali ve subalkali arasındaki ayırım çizgisi (Cox *et al.* 1979, Miyashiro 1978), c) Ce_N - Sr_N - Sm_N diyagramı (Ikeda 1990), d) FeO^t/MgO -Ni diyagramı (Miyashiro and Shido 1975), e) f) Kondrit ve ilksel manto ile normalize edilmiş REE pateni (Sun and McDonough 1989).

5. Tartışma ve Sonuç

Atud Bölgesi'nde, Mısır Doğu Çölü'nün Orta kısmındaki gabroik intrüzyonla ilişkili geniş bir

yayılım gösteren mezotermal orojenik damar tipi bir altın cevherleşmeleri de görülmektedir. Atud'un kuzeydoğu, doğu, güneydoğu yamacındaki KB-GD kırılğan-sünek kesme zonları boyunca kuvars damarı ve yoğun yeşilist fasiyesi hidrotermal alterasyon

toplulukları ile sınırlıdır (Abdelnasser 2016, Abdelnasser and Kumral 2016, 2017; Abdelnasser *et al.* 2018) Atud sahası, serpantinitle ve metatüfler içine sokulmuş ve daha sonra olivin gabronorit kayaları tarafından kesilmiş olan metagabro-diyorit kompleksini içermektedir. Bu kaya birimleri, majör, iz ve NTE jeokimyası için analiz edilmiştir. Bu bilgiler ışığında elde edilen sonuçlar aşağıda verilmektedir.

(1) serpantinit ve türevleri (talk-karbonat ve kalk-silikat kayaçları) çoğunlukla metamorfik peridotitler olarak temsil edilmektedir. Serpantinitle esas olarak antigorit-enstatit-talk-tremolit içerirken, talk-karbonat kayaçları talk, tremolit, diyopsit ve dolomit içerir. Kalk-silikat kayaçları, Bucher ve Frey (1994)'in CMS-HC sistemine uygun olarak tremolit-talk-kuvars içerir. Hafif NTE zenginleşmeleri ve yatay ANTE ve pozitif Eu-anomalisi bu kayaçlarda gözlemlenmektedir. Bu durumun okyanusal kayaçların serpantinleşmesi ile plajiyoklaz alterasyonu ve/veya hidrotermal akışkanların dolaşımı ile gerçekleştiğini düşündürür.

(2) Metatüflerin en yüksek K/Rb oranı, bu kayaların çoğunlukla bazik, orta ve nadiren asidik afinitelere sahip magmatik süitlerden türediğini ortaya koymaktadır. Çoğunlukla kalk-alkalin ve toleyitik kayaçlardan okyanus ada yayınının metasedimanlar ile karşılaştırılabilir. NTE paternleri, McLennan *et al.* (1990) kıtasal yay havzası (CAB) özelliklerini göstermektedir. HNTE açısından zenginleşmiş, ANTE açısından ise tüketilmiştir ve bunun yanı sıra negatif Eu anomalilerine sahiptir. Ek olarak, negatif Eu-, Sr- ve Zr- anomalileri, manto kaynağına yitim zonu ile eklenen bileşenler tarafından kirlenmiş bir magmadan kaynak kayaçlarının oluştuğunu ifade eder.

(3) Olivin gabronorit kayaçları, Ikeda'nın (1990) ada yayı toleyitleri (IAT) ile uyumlu, düşük K toleyitik magmatik afinitelere sahip gabroik kayaçlar olarak sınıflandırılır. NTE paternleri, HNTE açısından zenginleşmeyi ve pozitif Eu-, Th-, Pb-, Sr- ve Zr-anomalileri ise yatay ANTE'yi ve plajiyoklaz ve olivin düşük basınçlı

fraksiyonasyonunu işaret eden negatif P- ve Ti-anomalilerini ortaya koymaktadır.

Teşekkür

Bu çalışma, Mısır-Türk kültür ve misyon işbirliği ile İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) BAP Projesi tarafından desteklenmiştir (Proje No. 39183). Analizlerin yapılması sırasında emeği geçen İstanbul Teknik Üniversitesi Jeokimya Araştırma Laboratuvarı (ITU-JAL) ekibine teşekkür ederiz.

6. Kaynaklar

- Abdelnasser A., 2016. Genesis of the gold mineralization at Atud area, Central Eastern Desert of Egypt: Geological, ore mineralogical and geochemical approaches. ITU Academic Archive: Istanbul Technical University, 157.
- Abdelnasser A., Kumral M., 2016. Mineral chemistry and geochemical behavior of hydrothermal alterations associated with mafic intrusive-related Au deposits at the Atud area, Central Eastern Desert, Egypt. *Ore Geology Reviews*, **77**, 1-24.
- Abdelnasser A., Kumral M., 2017. The nature of gold-bearing fluids in Atud gold deposit, Central Eastern Desert, Egypt. *International Geology Review*, **59**, 1845-1860.
- Abdelnasser A., Kumral M., Zoheir B., Karaman M., Weihed P., 2018. REE geochemical characteristics and satellite-based mapping of hydrothermal alteration in Atud gold deposit, Egypt. *Journal of African Earth Sciences*, **145**, 317-330.
- Abdelrahman A.M., Doig R., 1987. The Rb-Sr geochronological evolution of the Ras Gharib segment of the northern Nubian Shield. *Journal of the Geological Society*, **144**, 577-586.
- Bhatia M.R., 1983. Plate tectonics and geochemical composition of sandstones. *The Journal of Geology*, 611-627.
- Brown L.D., Reilinger R.E., Holdahl S.R., Balazs E.I., 1977. Postseismic crustal uplift near Anchorage, Alaska. *Journal of Geophysical Research*, **82**, 3369-3378.
- Bucher K., Frey M., 1994. Petrogenesis of metamorphic rocks. 6. baskı ve Winkler'in revizyon edilmiş Springer-Verlag, New York, 318.
- Caby R., Dostal J., Dupuy C., 1977. Upper Proterozoic volcanic graywackes from northwestern Hoggar (Algeria)—geology and geochemistry. *Precambrian Research*, **5**, 283-297.

- Coleman R., 1977. Ophiolites Springer-Verlag. New York, NY, 229.
- Condi K.C., Macke J.E., Reimer T.O., 1970. Petrology and geochemistry of early Precambrian graywackes from the Fig Tree Group, South Africa. *Geological Society of America Bulletin*, **81**, 2759-2776.
- Cox K.G., Bell J.D., Pankhurst R.J., 1979. The Interpretation of Igneous Rocks: George Allen & Unwin, 450.
- Debret B., Andreani M., Godard M., Nicollet C., Schwartz S., Lafay R., 2013. Trace element behavior during serpentinization/de-serpentinization of an eclogitized oceanic lithosphere: A LA-ICPMS study of the Lanzo ultramafic massif (Western Alps). *Chemical Geology*, **357**, 117-133.
- Deschamps F., Guillot S., Godard M., Chauvel C., Andreani M., Hattori K., 2010. In situ characterization of serpentinites from forearc mantle wedges: timing of serpentinization and behavior of fluid-mobile elements in subduction zones. *Chemical Geology*. 269, 262-277.
- Douville E., Charlou J., Oelkers E., Bienvenu P., Colon C.J., Donval J., Fouquet Y., Prieur D., Appriou P., 2002. The rainbow vent fluids (36 14' N, MAR): the influence of ultramafic rocks and phase separation on trace metal content in Mid-Atlantic Ridge hydrothermal fluids. *Chemical Geology*, **184**, 37-48.
- Drury S., Holt R., Van Clasteren P., Beckinsale R., 1983. Sm-Nd and Rb-Sr ages for Archaean rocks in western Karnataka, South India.
- Floyd P., 1993. Geochemical discrimination and petrogenesis of alkalic basalt sequences in part of the Ankara melange, central Turkey. *Journal of the Geological Society*, **150**, 541-550.
- Floyd P., Leveridge B., 1987. Tectonic environment of the Devonian Gramscatho basin, south Cornwall: framework mode and geochemical evidence from turbiditic sandstones. *Journal of the Geological Society*, **144**, 531-542.
- Gabra S., 1986. Gold in Egypt: A commodity package, minerals, petroleum and groundwater assessment program: USAID project 363-0105. Geological Survey of Egypt.
- Ghoneim M., 1989. Mineral chemistry of some gabbroic rocks of the central Eastern Desert, Egypt. *Journal of African Earth Sciences (and the Middle East)*, **9**, 289-295.
- Harraz H.Z., 1999. Wall rock alteration, Atud gold mine, Eastern Desert, Egypt: processes and P T X_{CO2} conditions of metasomatism. *Journal of African Earth Sciences*, **28**, 527-551.
- Harraz H.Z., Ashmawy M., 1994. Structural and lithogeochemical constraints on the localization of gold deposits at the El Sid-Fawakhir gold mine area, Eastern Desert, Egypt. *Egyptian Journal Geology*, **38**, 629-648.
- Hashad A., 2015. Present status of geochronological data on the Egyptian basement complex. Evolution and mineralization of the Arabian-Nubian shield. 1, 31-46.
- Hassanipak A., Ghazi A.M., Wampler J., 1996. Rare earth element characteristics and K-Ar ages of the Band Ziarat ophiolite complex, southeastern Iran. *Canadian Journal of Earth Sciences*, **33**, 1534-1542.
- Hawkesworth C., O'nions R., Pankhurst R., Hamilton P., Evensen N., 1977. A geochemical study of island-arc and back-arc tholeiites from the Scotia Sea. *Earth and Planetary Science Letters*, **36**, 253-262.
- Ikeda Y., 1990. Ce_N/Sr_N/Sm_N- A trace-element discriminant for basaltic rocks from different tectonomagmatic environments. *Neues Jahrbuch Fur Mineralogie-Monatshefte*. 145-158.
- Irvine T., Baragar W., 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian journal of earth sciences*, **8**, 523-548.
- Le Maitre R.W.B., Dudek P., Keller A., Lameyre J., Le Bas J., Sabine M., Schmid P., Sorensen R., Streckeisen H., Woolley A., 1989. A classification of igneous rocks and glossary of terms: Recommendations of the International Union of Geological Sciences, Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks: International Union of Geological Sciences.
- McLennan S., Taylor S., McCulloch M., Maynard J., 1990. Geochemical and Nd Sr isotopic composition of deep-sea turbidites: crustal evolution and plate tectonic associations. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **54**, 2015-2050.
- Miyashiro A., 1978. Nature of alkalic volcanic rock series. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **66**, 91-104.
- Miyashiro A., Shido F., 1975. Tholeiitic and calc-alkalic series in relation to the behaviors of titanium, vanadium, chromium, and nickel. *American Journal of Science*, **275**, 265-277.
- Paulick H., Bach W., Godard M., De Hoog J., Suhr G., Harvey J., 2006. Geochemistry of abyssal peridotites

(Mid-Atlantic Ridge, 15 20' N, ODP Leg 209): implications for fluid/rock interaction in slow spreading environments. *Chemical Geology*, **234**, 179-210.

Pearce J.A., Cann J., 1973. Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses. *Earth and Planetary Science Letters*. **19**, 290-300.

Pearce J.A., Norry M.J., 1979. Petrogenetic implications of Ti, Zr, Y, and Nb variations in volcanic rocks. *Contributions to mineralogy and petrology*, **69**, 33-47.

Roser B., Korsch R., 1986. Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using content and ratio. *The Journal of Geology*. 635-650.

Streckeisen A., 1976. To each plutonic rock its proper name. *Earth-science reviews*, **12**, 1-33.

Sun S.-S., McDonough W., 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. *Geological Society, London, Special Publications*, **42**, 313-345.

Van de Kamp P.C., 1968. Geochemistry and origin of metasediments in the Haliburton-Madoc area, southeastern Ontario. *Canadian journal of earth sciences*, **5**, 1337-1372.

Van de Kamp P.C., Leake B.E., Senior A., 1976. The petrography and geochemistry of some Californian arkoses with application to identifying gneisses of metasedimentary origin. *The Journal of Geology*. 195-212.

Wilson M., 2007. Igneous petrogenesis a global tectonic approach: Springer Science & Business Media, 466.

AKÜ FEMÜBİD 22 (2022) 045901 (963-971)

AKU J. Sci. Eng. 22 (2022) 045901 (963-971)

DOI: 10.35414/akufemubid.1077035

Araştırma Makalesi / Research Article

Atık Vişne Çekirdeği Pirolitik Yağın Dizel Motorlarda Alternatif Yakıt Olarak Kullanılabilirliği

Arif Hakan YALÇIN¹, İbrahim MUTLU²¹Afyon Kocatepe Üniversitesi, Sultandağı Meslek Yüksekokulu, Ulaştırma Hizmetleri Bölümü, Afyonkarahisar.²Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar

Sorumlu yazar e-posta: ahyalcin@aku.edu.tr

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-7661-5296>

e-posta: ibrahimmutlu@aku.edu.tr

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-5563-1000>

Geliş Tarihi: 21.02.2022

Kabul Tarihi: 07.08.2022

Öz

Bu çalışmada, piroliz yöntemiyle atık vişne çekirdeklerinden elde edilen pirolitik yağ (PY) fizikokimyasal olarak karakterize edildi. PY'nin fizikokimyasal yakıt özellikleri dizel ile kıyaslandığında yetersiz olduğu görüldü. Bu nedenle PY'nin dizel motorlarda alternatif bir yakıt olarak kullanılabilmesi için modifiye edilmesi gerekmektedir. Yakıt özelliklerini iyileştirmek için PY'yi dizel ile karıştırmak iyi bir yaklaşım olabilirdi. Ancak PY dizel ile doğrudan homojen olarak karışmadı. PY'yi dizel ile homojen olarak karıştırmak için organik bir çözücü gerekiyordu. Bu yüzden, n-bütanolü yardımcı bir çözücü olarak kullanarak çeşitli ağırlık oranlarında (ağırlıkça %) PY ile dizel karışımlarını başarılı bir şekilde hazırladık. Üçlü karışımların homojen olarak karışım sağlama bilirliliği, 48 saat sonra değerlendirildi. Sonuçlar, n-bütanol kullanılarak çok çeşitli kararlı homojen PY ve dizel karışımları yaratmanın mümkün olduğunu ortaya koyan üçlü faz diyagramında gösterildi. Karışım yakıtlar fizikokimyasal özellik yönünden PY'ye kıyasla artan kalorifik değer ve setan sayısı ve azalan kinematik viskozite, yoğunluk ve su içeriği gösterdi. Ancak setan sayısındaki artış dizele kıyasla optimum değerde olmadığı için karışımlara setan artırıcı olarak 2-EthylhexylNitrate (2-EHN) ilave edildi. Böylece karışım yakıtların setan sayıları yaklaşık %84 oranında iyileştirildi. Sonuç olarak fizikokimyasal özellik yönünden ağırlıkça %40 dizel içeren (PY/Dizel/N-Bütanol/2-EHN) karışım yakıtların bir dizel motorunda alternatif bir yakıt olarak kullanılabilceği belirlendi.

Anahtar kelimeler

Piroliz;
Biyokütle;
Biyoyağ;
Biyoyakıt;
2-EHN

The Usability of Waste Sour Cherry Kernel Pyrolytic Oil as Alternative Fuel in Diesel Engines

Abstract

In this study, pyrolytic oil (PO) obtained from waste sour cherry kernels by pyrolysis method was characterized physicochemically. The physicochemical fuel properties of PO were found to be insufficient when compared to diesel. Therefore, PO had to be modified in order to be used as an alternative fuel in diesel engines. A good approach would be to mix PO with diesel to improve fuel properties. However, PO did not mix directly with diesel homogeneously. An organic solvent was required to mix the PO homogeneously with the diesel. Therefore, we have successfully prepared diesel blends with PO in various weight ratios (wt.%) using n-butanol as a co-solvent. The homogeneity of the triple mixtures was evaluated after 48 hours. The results are illustrated in the triple phase diagram demonstrating that it is possible to create a wide variety of stable homogeneous mixtures of PO and diesel using n-butanol. The blended fuels showed increased calorific value and cetane number and decreased kinematic viscosity, density and water content compared to PO in terms of physicochemical properties. However, since the increase in cetane number was not at optimum value compared to diesel, 2-EHN was added to the mixtures as a cetane improver. As a result, it was determined that mixed fuels containing 40% diesel by weight (PO/Diesel/N-Butanol/2-EHN) in terms of physicochemical properties can be used as an alternative fuel in a diesel engine.

Keywords

Pyrolysis;
Biomass;
Biooil;
Biofuel;
2-EHN

1. Giriş

Hava kirliliği ve fosil yakıtlardaki azalma sorunları biyokütleden elde edilen alternatif biyoyakıtların geliştirilmesi ve uygulanması ile ortadan kaldırılabılır. Biyokütleden elde edilen biyoyağ veya pirolitik yağ (PY) yenilenebilir, sürdürülebilir ve temiz bir enerji kaynağıdır (Bridgwater *et al.* 1999, Zhang *et al.* 2007). Yapılan son araştırmalarda, PY'nin içten yanmalı motor uygulamalarında yenilenebilir bir biyoyakıt olarak kullanılabilceği vurgulanmaktadır (Barth and Kleinert 2008). PY'nin dizel motorlarda doğrudan kullanımı, düşük setan sayısı, düşük kalorifik değer, yüksek kinematik viskozite ve yüksek su içeriği gibi zayıf özellikleri nedeniyle sınırlıdır (Kim and Lee 2015, Lee *et al.* 2020, Yalçın ve Mutlu 2021). PY'nin geleneksel dizel motorlarda güvenilir bir şekilde kullanılması için en uygun yöntem PY'yi hidrokarbon yakıtlar ile karıştırarak yakıt özelliklerini yükseltmektir (Lee *et al.* 2014, Karagöz 2020, Doğan vd. 2012). Ancak polarite ve yoğunluk farklılıkları nedeniyle PY'nin kararsız bir karışım oluşturması ve kısa bir sürede faz ayrışması göstermesi nedeniyle hidrokarbon yakıtlar ile doğrudan karışa bilirliği sınırlıdır (Lin *et al.* 2016). Bu nedenle, PY'nin hidrokarbon yakıtlar ile karışabilmesi ve motorlarda başarılı bir şekilde yakılabilmesi için çözücü bir katkı maddesi kullanılması gerekmektedir. Organik bir çözücü olarak alkol kullanımı, kararlı karışımların oluşmasına izin vermektedir. N-bütanol kullanılarak PY, dizel ile karıştırıldığında en geniş homojen kararlı karışım seçimini vermiştir (Alcala and Bridgwater 2013, Yalçın ve Mutlu 2021). N-bütanol 2,2 mm²/s'lik kinematik viskozitesi ile harmanlanmış yakıtın viskozitesini etkili bir şekilde düşürebilmektedir (Lee *et al.* 2020, Yalçın ve Mutlu 2021). Ayrıca n-bütanol, etanol ile kıyaslandığında daha yüksek bir kalorifik değere ve kendi kendine tutuşa bilirlik özelliğine sahiptir (Nguyen and Honnery 2008).

Bu çalışmada, vişne çekirdeğinden piroliz yolu ile elde edilen PY ve dizel karışımlarına n-bütanol ekleyerek elde edilen harmanları karışa bilirlik açısından değerlendirdik. Karışabilme ve karışamama arasındaki sınırı değerlendirmek için üç

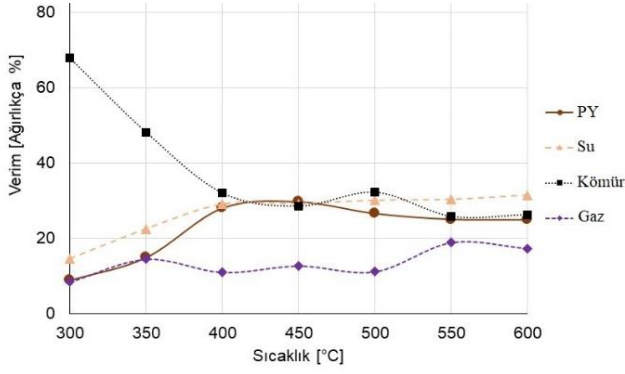
bileşene ait her bir oran ağırlıkça % olarak değiştirildi. Harman homojenliği, 48 saat sonra görsel olarak değerlendirildi. Homojen karışımları oluşturan seçilmiş numune serileri, fizikokimyasal olarak karakterize edildi ve bunların özellikleri CI motor deneylerinde gelecekte kullanılmak üzere ilgi çekici karışımlar oluşturmak için birbirleriyle ve dizel ile karşılaştırıldı. Bu amaçla, PY, dizel ve dizel/PY/n-bütanol karışımları arasında kinematik viskozite, yoğunluk, su içeriği, setan sayısı ve alt ısı değer (LHV), açısından kıyaslanarak CI motorlarda yakıt olarak kullanılabilirliğine yönelik incelendi (Lee *et al.* 2020, Alcala and Bridgwater 2013, Yalçın ve Mutlu 2021). CI motorlarda alternatif bir yakıt olarak PY kullanımına yönelik herhangi bir faz ayrımı olmaksızın n-bütanol yardımıyla PY ve dizel ile çok çeşitli stabil homojen karışımların oluşturulduğu ve yakıt karışımlarına ait fizikokimyasal veriler ile PY'nin bazı negatif fizikokimyasal özelliklerinin (örneğin; yüksek kinematik viskozite, düşük kalorifik değer ve setan sayısı) katkı maddesi olarak n-bütanol ve 2-EHN eklenerek telafi edildiği görüldü.

2. Materyal ve Metot

Çalışmamızda PY'nin bir dizel motorunda alternatif yakıt olarak kullanılabilirliğine yönelik deneysel çalışmalar yapılmış olup genel olarak üç aşamadan oluşmaktadır.

2.1 Piroolitik Yağ Ekstraksiyonu ve Optimizasyon

Piroliz işlemi, yağ olarak temini sağlanan vişne çekirdeği tanelerinin güneş altına tamamen kurutulduktan sonra, oksijensiz bir ortamda piroliz yoluyla termal olarak ayrıştırılarak buhar üretilmesi ve soğutulup yoğunlaştırılarak sıvı haline dönüştürülmesi işlemidir. Maksimum pirolitik yağ verimi, piroliz prosesine ait optimum çalışma koşulları olan 10 °C/dak. ısıtma hızında, 450 °C reaktör sıcaklığında, 0,5 L/dak. azot gazı akış hızında ve kırık vişne çekirdeği taneleri halinde elde edilmiştir. Ağırlık olarak, tespit edilen optimum çalışma koşulları altında ki ürün verimleri Şekil 1'de gösterildiği gibi olup %29,7 piroliz yağı, %29,1 sulu faz, %28,5 biyolojik kömür ve %12,7 gaz şeklindedir.



Şekil 1. Reaksiyon sıcaklığının piroliz ürün verimine etkisi (ağırlıkça % hammadde esasına göre).

2.2 Pirolitik Yağ, Dizel ve N-Bütanol Karışımlarının Hazırlanması

İlk olarak, vişne çekirdeğinden piroliz yolu ile elde edilen PY dizele eklendi, ancak PY Şekil 2'de görüldüğü gibi dizel ile homojen olarak karışmadı. Bu yüzden, dizel, PY ve n-bütanol karışımları, bazı modifikasyonlarla Alcalá ve Bridgwater (2013) ile aynı metodoloji kullanılarak hazırlandı.



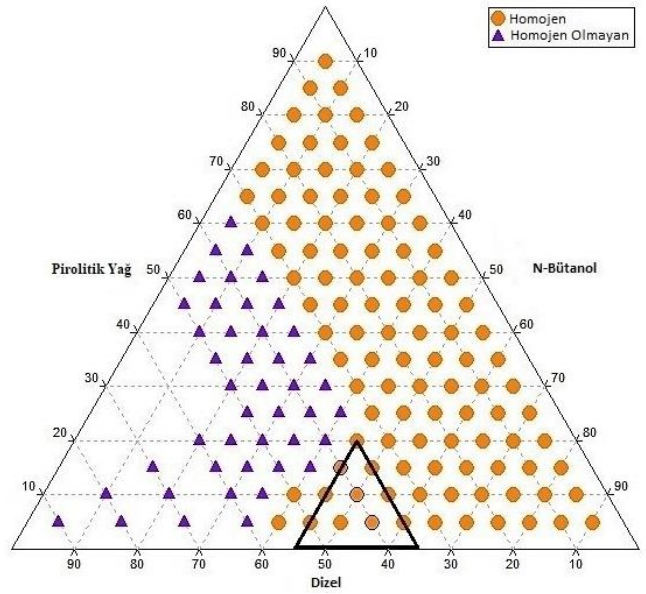
Şekil 2. Faz ayrımı (ağırlıkça %90 dizel %10 Pirolitik yağ).

Karışımların oluşturulmasında şişelere önce dizel, ardından n-bütanol ve son olarak PY Çizelge 1'de verilen ağırlık oranlarında % olarak eklendi. Hazırlanan karışım şişeleri kapatıldıktan sonra hafifçe çalkalandı. Karışımlar oda sıcaklığında 48 saat dinlendirildikten sonra homojen veya homojen olmama durumları görsel olarak değerlendirildi (Bkz. Şekil 3) ve elde edilen sonuçlar üçlü faz diyagramını oluşturmak için kullanıldı.



Şekil 3. Dizel/pirolitik yağ/n-bütanol karışımları.

Hazırlanan karışımlar, harman oranlarına ve homojenliklerine göre genel olarak Çizelge 1'de (ağırlıkça % D, dizel / ağırlıkça % PY, pirolitik yağ / ağırlıkça % B, n-bütanol) gösterilen çalışma planına göre hazırlandı (Eksi (-) homojen olmayan karışımları, artı (+) ise homojen olan karışımları belirtir). Çalışma planına göre hazırlanan karışım yakıtların homojen veya homojen olmama durumlarına göre belirlenen sonuçlar Şekil 4'te gösterildiği gibi üçlü bir faz diyagramında özetlendi.



Şekil 4. Dizel/PY/N-Bütanol karışımları üçlü faz diyagramı.

2.3 Pirolitik Yağ Karışımlarının Fizikokimyasal Karakterizasyonu

PY ve homojen karışımların fizikokimyasal özellikleri, karışımların CI motorlarda kullanılabilirliği için uygunluk yönünden bir gösterge olan standart yöntemler (ASTM / EN ISO) izlenerek ulusal akredite bir laboratuvarında ölçüldü. Dizel yakıt özellikleri yerel bir petrol şirketinden, n-bütanolün özellikleri ise tedarikçi firmadan elde edildi. Ölçümler sonucunda karışım yakıtların setan sayılarında düşüş tespit edildi. Setan sayılarındaki bu düşüşün yanma

üzerine etkisi olumsuz olduğundan harmanların setan sayılarını artırmak için bazı harmanlara setan artırıcı 2-EHN (CAS No: 27247-96-7, saflık: %97) ağırlıkça %5 oranında eklendi (Lee *et al.* 2020). 2-EHN'nin fizikokimyasal özellikleri de temini sağlanan yerel tedarikçiden elde edildi. Dizel, PY, n-bütanol ve 2-EHN'nin fizikokimyasal özellikleri Çizelge 2'de, karışım yakıtların özellikleri Çizelge 3'te gösterilmektedir.

Çizelge 1. Dizel/PY/N-bütanol karışımı homojenlikleri.

Karışımlar	Homojenlik
D90/PY5/B5	-
D80/PY10/B10	-
D70/PY15/B15	-
D60/PY20/B20	-
D50/PY25/B25	-
D40/PY30/B30	-
D30/PY35/B35	+
D20/PY40/B40	+
D10/PY45/B45	+

Çizelge 2. Dizel, PY, N-bütanol ve 2-EHN bileşimleri ve yakıt özellikleri.

	Dizel	PY	N-bütanol	2-EHN
Kinematik viskozite (mm ² /s) 40°C'de	2,7	8,4	2,2	1,8 (20 °C'de)
LHV (MJ/kg)	42,9	25,6	33,1	28,5
Su içeriği (ağırlıkça %)	0	1,5	0	0,1
Yoğunluk (kg/m ³)	822	1089	810	963
Setan sayısı	52,0	-	15,9	-

Çizelge 3. Karışım yakıtların bileşimleri ve yakıt özellikleri.

Karışımlar	Kinematik viskozite (mm ² /s) 40°C	Yoğunluk (kg/m ³)	LHV (MJ/kg)	Su (ağırlıkça %)	Setan sayısı
Dizel	2,7	822	42,9	0	52,0
D40/PY0/B60	2,4	815	37,0	0	27,7
D40/PY5/B55	2,7	829	36,6	0,08	27,0
D40/PY10/B50	3,0	843	36,3	0,15	26,8
D40/PY15/B45	3,3	857	35,9	0,23	26,0
D40/PY0/B55/2-EHN5	2,4	822	36,8	0,01	51,6
D40/PY5/B50/2-EHN5	2,7	836	36,4	0,08	51,1
D40/PY10/B45/2-EHN5	3,0	850	36,0	0,16	48,1
D40/PY15/B40/2-EHN5	3,3	864	35,7	0,23	46,9

3. Bulgular ve Tartışma

Biyo-yağlar için asıl amacın fiziksel, katalitik veya kimyasal teknikler yoluyla daha kararlı ve arzu edilen bir yakıtı dönüştürmek olduğu kapsamlı çalışmaların konusu olmuştur (Bridgwater 2012). Genel olarak bu çalışmadaki amaç; vişne çekirdeğinden elde edilen PY'nin, içten yanmalı motorlarda alternatif yakıt olarak kullanılabilirliği için fizikokimyasal yakıt özellikleri yönünden uygunluğunun araştırılmasıdır. Almasi vd. (2021) çalışmalarında soğuk sıkma yöntemi ile elde ettikleri vişne çekirdeği yağından transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel üretip optimize etmişlerdir. Gözke ve Açıklalın (2021) çalışmalarında vişne sap ve etli kısımlarını kullanarak piroliz yöntemi ile elde edilen ürün verimliliği üzerine optimize ve karakterize etmişlerdir. Görüldüğü üzere vişne bitkisi hammadde olarak kullanılarak piroliz proses ve optimizasyon işlemi ve biyodizel üretimi üzerine akademik çalışmalar bulunmaktadır ancak piroliz

yöntemi ile vişne çekirdeğinden elde edilen piroliz yağının içten yanmalı motorlarda yakıt olarak kullanılabilirliğine yönelik fizikokimyasal yakıt özellikleri yönünden araştırma bulunmamaktadır. Bu nedenle çalışmamızda elde etmiş olduğumuz sonuçlar ile literatürdeki bu boşluğun doldurulacağı düşünülmektedir.

Bu çalışmada, atık vişne çekirdeklerinden piroliz ile PY elde edilmiştir. Standart yöntemler izlenerek harici bir laboratuvarında belirlenen PY'nin (kinematik viskozite, kalorifik değer (LHV), su içeriği ve yoğunluk) fizikokimyasal özelliklerine ait sonuçlar Çizelge 2'de gösterilmektedir. PY'nin özellikleri geleneksel dizel ile karşılaştırıldığında PY, kimyasal bileşim ve özellikler açısından dizel ve n-bütanolden farklıdır. Üretilen PY'nin 40°C'de kinematik viskozitesi, geleneksel dizelden yaklaşık 3 kat daha yüksek olan 8,4 mm²/s olarak bulundu. Yüksek viskozite, geleneksel dizel motorlar için alternatif bir yakıtın doğrudan kullanımını uygunsuz hale getirir.

Yüksek viskoziteli bir yakıt motor tortularını artırır, yakıtı pompalamak için daha fazla enerji gerektirir ve yakıt pompası elemanlarında ve enjektörlerde aşınmayı artırır (Alptekin ve Çanakçı 2008, Maroa ve Inambao 2019). Ayrıca PY yoğunluğunun 1089 kg/m^3 olduğu ve geleneksel dizelden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu yoğunluk farkı, iki akışkanın karışamamasını kısmen açıklar (Lin *et al.* 2016).

PY'nin LHV'si, geleneksel dizelden 1,7 kat daha düşük olan yaklaşık $25,6 \text{ MJ/kg}$ 'dir ve bu, PY'nin enerji yoğunluğunun dizelden daha düşük olduğunu gösterir.

PY'nin su içeriği, besleme stokunda bulunan sudan ve piroliz reaksiyonlarından üretilen sudan kaynaklanır (Alcala and Bridgwater 2013, Chong and Bridgwater 2017). PY kararsızdır ve yüksek su içeriği nedeniyle yağlı sulu fazlara ayrılır (Lee *et al.* 2020). PY içindeki su, sıvının ısıtma değerini düşürür ama aynı zamanda viskoziteyi de azaltır (Hossain *et al.* 2016). PY'de ki su içeriği, büyük gizli buharlaşma ısısı ile yanma sıcaklığını düşürmede de rol oynar (Kim and Lee 2015). PY'de su bulunması, ateşleme gecikmesine ve enjektörlerde ve yakıt beslemesinde korozyon sorunlarına da neden olur (Oasmaa *et al.* 2015). PY'nin daha uzun tutuşma gecikmesi, esas olarak daha düşük silindir içi sıcaklığa bağlanabilir (Park *et al.* 2018). Bu nedenle, karışımdaki su içeriği, herhangi bir enerji vermediğinden ve korozyon ve yanma sorunlarına neden olabileceğinden arzu edilmez. Muhtemelen, PY'nin düşük su içeriği (ağırlıkça %1,5) korozyon ve yanma sorunlarına neden olmayabilir, ancak PY'yi uzun vadede stabil hale getirebilir.

PY yüksek kinematik viskozite, yoğunluk ve LHV gibi yeterince uygun olmayan yakıt özelliklerine sahip olduğundan, doğrudan dizel motorlarda kullanılamaz. Bu nedenle, PY'nin dizel ile karıştırılması, PY'nin yakıt özelliklerini iyileştirmek için iyi bir çözüm olabilir. Dizel, diğer özelliklerinden ziyade karışım yakıtların setan sayısını artırarak karışımların kendiliğinden tutuşabilmesini iyileştirebilir (Lee *et al.* 2020).

Verilerimiz, PY'nin dizel ile doğrudan karışmadığını gösterdi (Bkz. Şekil 2). Bu nedenle, PY'yi dizel ile karıştırmak için organik bir çözücü gerekliydi. N-bütanolün organik bir çözücü olarak kullanımı, uzun bir süre boyunca homojen ve kararlı PY ve biyodizel karışımlarının oluşmasına izin vermektedir (Alcala and Bridgwater 2013). Ayrıca, n-bütanol, biyoyağ karışımı yakıtların viskozitesini ve asitliğini düşürme ve ilaveten kalorifik değerini artırma özelliğine sahiptir, bu yüzden n-bütanolün doğrudan bir dizel motorda kullanılması mümkündür (Lee *et al.* 2020, Yalçın ve Mutlu 2021). PY'nin özelliklerini ve PY'nin dizel ile homojen olarak karışabilirliğini artırmak için dizel, PY ve n-bütanol karışım yakıtları hazırlanmıştır. Optimal karışım oranını belirlemek için karışımlar homojenlik ve fizikokimyasal özellikler açısından incelenmiştir. Bu amaçla, dizel, PY ve n-bütanolün ağırlıkça çeşitli yüzdelere üçlü karışımlar hazırlanmıştır. İlk olarak, dizel oranı ağırlıkça %10 ve katları olacak şekilde üçlü karışımlar hazırlandı ve PY ve n-bütanol oranları eşit tutuldu. %10, %20 ve %30 dizel oranlarında homojenlik sonuçları bulunmuştur (Bkz. Çizelge 1). Daha sonra karışımların homojenliklerini daha detaylı inceleyebilmek için dizel oranı sabit, PY ve n-bütanol oranları ters orantılı olacak şekilde tutulup karışım yakıtları hazırlanmış ve harman homojenlikleri üçlü faz diyagramında özetlenmiştir (Bkz. Şekil 4). Yakıt karışımlarındaki dizel, PY ve n-bütanol oranlarının bir fonksiyonu olan ve bileşenlerin fraksiyonlarına karşılık gelen üçlü faz diyagramdaki her bir nokta, üç bileşenli karışım yakıtları faz davranışını gösterdi. Karışım yakıtları görsel olarak değerlendirildi ve niteliksel olarak karışabilen (homojen) veya karışmayan (homojen olmayan) tiplerde sınıflandırıldı. Şekil 4'ten, PY, dizel ve n-bütanol ile farklı türden homojen ve tek fazlı karışım yakıtları elde etmenin mümkün olduğu görülebilir.

PY ve n-bütanol için bütün üçlü karışımlarda, %30 ağırlık oranına kadar dizel ile homojen karışımlar elde edilmiştir. %30 ve %60 ağırlık oranları arasındaki dizel karışımlarında hem homojen olamayan hem de homojen karışım yakıtları elde edilmiştir. Ancak, ağırlıkça %60 oranından sonra ki tüm dizel karışımlarında elde edilen sonuçlar homojen değildir. Özetle, dizel miktarındaki artışa

bağlı olarak polar olmayan karışımların homojen olmadığını, n-bütanol miktarlarında ki artış ile karışımların homojen hale geldiğini gözlemledik. Homojen olmayan olarak belirlenen ağırlık olarak %90 dizel/ %5 PY/ %5 n-bütanol karışım yakıtı dışındaki bütün karışımlar 48 saat sonraki gözlemde hiçbir faz ayrımı göstermedi (Bkz. Şekil 3). Ayrıca homojen olarak karışabilen fakat karışım şişelerin dibinde çözünmemiş katı partiküller içeren tek fazlı numuneler de homojen olmayan olarak tanımlandı. Homojen tek fazlı harmanların bir seçimi, bir dizi fizikokimyasal yakıt özelliği için test edildi. Çizelge 3'te gösterildiği gibi üçlü karışım yakıtların fizikokimyasal yönden bazı özellikleri, ölçülmüştür. PY karışımlarının tüm özellikleri, PY ve geleneksel dizel ile karşılaştırılmıştır. Fizikokimyasal özellik olarak dizel ile benzer veya eşit özelliklere sahip karışımlar, optimum karışım bileşimleri olarak belirlendi. Optimum fizikokimyasal yakıt özelliklerine sahip üçlü karışım yakıtlar, Şekil 4'te gösterildiği gibi küçük bir üçgen bölgede tasvir edilmiştir.

Harmanlanmış yakıtlarda ağırlıkça %35 dizel bulunması, yetersiz kendiliğinden tutuşma gösterir (Lee *et al.* 2020). Karışım yakıtların kendiliğinden tutuşabilme özelliğini artırmak için ateşleme geliştiricileri eklemek bu tip sorunların aşılmasına yönelik çözümlerden biridir veya karışımlarda dizel oranını artırmaktır (Kim *et al.* 2015, Lee *et al.* 2020). Çalışmamızdaki hedeflerden biri, karışım yakıtlardaki dizel oranını minimum orana indirmek olduğundan, kendiliğinden tutuşabilmeyi artırmak için ağırlıkça %40 dizel ve %60 n-bütanol içeren (PY'siz) yakıt karışımını baz yakıt olarak seçtik. Daha sonra karışımlardaki n-bütanol oranını azaltıp baz yakıtın PY oranını artırarak, ağırlıkça %5, 10 ve 15 PY içeren karışım yakıtlar hazırlandı ve Çizelge 3'te görüldüğü üzere fizikokimyasal özellik yönünden karakterize edildi.

Çizelge 3'te gösterildiği gibi, ağırlıkça %40 dizel içeren karışım yakıtların yoğunluk ve kinematik viskozitesi değerleri PY'ye kıyasla dizele yakın bir değerde olacak şekilde azalmıştır. Harmanlanmış yakıtların kinematik viskoziteleri, geleneksel dizelinkine yakın olan 2,4-3,3 mm²/s arasındadır.

Harmanlanmış yakıtlar, dizelden biraz daha düşük olan orijinal PY ile karşılaştırıldığında artan kalorifik değerler göstermiştir. Ayrıca, PY içeriğinin artmasıyla harmanlanmış yakıtların yoğunlukları ve kinematik viskoziteleri artarken, kalorifik değerler azalmıştır. PY içeriği arttıkça yakıtın enerji yoğunluğu azaldığından, PY içeriği yüksek olan karışım yakıtlar için enjeksiyon süresi daha uzundur. Daha yüksek oranda PY içeriği düşük enerji giriş hızına yol açtığı için yanma fazında gecikmeye neden olur (Kim *et al.* 2015).

Yakıtlarda yüksek oranda su içeriği istenmez. Karışım yakıtlarımız, PY ile karşılaştırıldığında ihmal edilebilir düzeyde su içeriği (ağırlıkça %0-0,23) içermektedir. Ek olarak karışımların su içeriği, PY içeriği arttıkça artmaktadır (Bkz. Çizelge 3).

Genel olarak n-bütanol, PY ve dizel arasındaki yoğunluk farklarını azaltarak karışımların stabilitesini iyileştirdi, kinematik viskoziteyi düşürdü ve karışımların kalorifik değerini artırdı.

2-EHN içermeyen harmanlanmış yakıtların setan sayıları 26,0-27,7 arasında olup, geleneksel dizelden daha düşüktü. Dizel yakıtın minimum setan sayısı Avrupa Birliği'nde ≥ 51 ve Amerika Birleşik Devletleri'nde ≥ 40 olarak belirtilmiştir (Lapuerta *et al.* 2009). PY içeriği ne kadar yüksek olursa setan sayısı o kadar düşük olur (Bkz. Çizelge 5). Düşük setan sayısı değerleri, ateşleme gecikmesine neden olan karışımın kendiliğinden tutuşabilirliğini düşürmesi ve sonuç olarak yanmanın başlamasını geciktirmesi ve bu da eksik yanma ile sonuçlanabilmesi nedeniyle istenmeyen bir durumdur (Hossain *et al.* 2016, Murugan *et al.* 2008, Midhun Prasad and Murugavelh 2020, Simsek and Uslu 2020). Bu nedenle, karışımlarımızın setan sayısını arttırmak için harmanlanmış yakıtlara ağırlıkça %5 2-EHN ekledik (Lee *et al.* 2020). 2-EHN ilavesi ile harmanlanmış yakıtların setan sayıları (46,9-51,6) dizel için minimum setan sayısı spesifikasyonuna yükseltilmiştir.

Özetle karışım yakıtların kalorifik değerleri, kinematik viskoziteleri, setan sayıları ve su içeriği gibi bazı fizikokimyasal özelliklerin n-bütanol ve

dizelin varlığıyla iyileştirildiğini gösterdik. Ağırlıkça %40 dizelin varlığı ile elde edilen karışım yakıtlar PY ile kıyaslandığında setan sayısındaki artış dizele kıyasla optimum değerde olmadığı için elde edilen yakıtların dizel motor uygulamalarında elverişsiz olabileceği anlaşıldı. Bu yüzden Lee vd. (2020)'e göre karışım yakıtlara diğer bir katkı maddesi olan setan artırıcı olarak %5 oranında 2-EHN eklenmesi ile karışım yakıtların setan sayılarını %84 oranında artırıldı ve böylece karışım yakıtların kendiliğinden tutuşabilme özellikleri iyileştirildi (Bkz. Çizelge 3). Böylece, CI motorlarda yakıt olarak test edilebilecek geliştirilmiş fizikokimyasal özelliklere sahip harmanlanmış yakıtlar elde edilmiştir. 2-EHN setan artırıcı ilavesi ile setan sayısı iyileştirilmiş Dizel ve PY karışım yakıtlar yapılan bir dizi motor deneyi çalışmalarında başarıyla test edilmiştir (Lee *et al.* 2020, Lee *et al.* 2014, Huang *et al.* 2012, Karagöz 2020, Simsek and Uslu 2020). İleride, elde edilen bu karışım yakıtlar ile çalışan bir dizel motorun yanma, performans ve egzoz emisyon özellikleri değerlendirilip saf dizel çalışmasıyla karşılaştırılabilir.

4. Sonuç

PY, piroliz yolu ile vişne çekirdeklerinden ekstrakte edilebilmektedir. Ağırlıkça %29,7 oranında elde edilen maksimum PY verimine neden olan optimum piroliz proses parametreleri, 10 °C/dak. ısıtma hızı, 450°C reaktör sıcaklığı ve 0,5 L/dak. N₂ akış hızı ve kırılmış taneler şeklindedir. Standart yöntemler kullanılarak saptanan PY'nin fizikokimyasal yakıt özellikleri, dizel yakıtına kıyasla yetersiz olduğu görüldü, bu da PY'nin geleneksel dizel motorlarda alternatif bir yakıt olarak kullanılmadan önce modifiye edilmesi gerektiğini gösterdi. PY'nin yoğunluğunun 1089 kg/m³ olduğu tespit edildi, bu da geleneksel dizelden daha yüksek, iki sıvının karışmama nedenini kısmen açıklıyor. PY'nin kinematik viskozitesi 8,4 mm²/s idi ve bu da geleneksel dizelden daha yüksekti. Yüksek viskozite, motor tortularına neden olabilir ve yakıt pompası ve enjektör aşınmasını artırabilir. Ayrıca PY, düşük enerji yoğunluğunun göstergesi olarak düşük kalorifik değer (yüksek oksijen içeriği nedeniyle) göstermiştir. Ek olarak, PY düşük su içeriğine

(ağırlıkça %1,5) sahiptir. Düşük su içeriği, yakıtın stabilitesini iyileştirip tutuşma gecikmesini ve aşındırıcılığını azaltırken, yakıtın viskozitesini artırabilir.

PY'yi belirlediğimiz elverişsiz yakıt özelliklerini iyileştirmek için dizel ile karıştırdık. PY'nin polaritesi nedeniyle organik bir çözücü ilavesi olmaksızın dizel ile stabil karışımlar oluşturması zordur. Bu yüzden, n-bütanolü yardımcı bir çözücü olarak kullanarak PY ile dizel karışımlarını başarılı bir şekilde hazırladık. Alcalá ve Bridgwater (2013)'in çalışmasına uygun olarak, n-bütanol kullanılarak çok çeşitli PY ve dizelin herhangi bir faz ayrımı olmaksızın homojen bir şekilde karıştırılabileceğini gösterdik.

Üçlü faz diyagramının küçük üçgen bölgesindeki (Bkz. Şekil 4) homojen tek fazlı karışımların bir seçimi, geleneksel dizele neredeyse benzer özellikler gösteren fizikokimyasal olarak karakterize edildi. Yeterli otomatik tutuşabilirliğe sahip minimum dizel oranı, çalışmamızda yer alan önemli hedeflerden biri olduğundan, ağırlıkça %40 dizel ve %60 n-bütanol içeren ve PY içermeyen harmanlanmış yakıt baz yakıt olarak seçildi. Daha sonra baz yakıttaki PY ve n-bütanol oranları ayarlanarak ağırlıkça %5, 10 ve 15 PY içeren harmanlanmış yakıtlar üretildi. Sonuçlarımız, bazı PY özelliklerinin, PY'nin kendi başına kullanımına göre önemli bir avantajı temsil eden dizel ve n-bütanol ile karıştırılarak yükseltilebileceğini göstermektedir.

N-bütanol, kinematik viskoziteyi etkili bir şekilde düşürdü ve karışım yakıtların kalorifik değer ve stabilitesini artırdı. Dizel, düşük setan sayısı ve kalorifik değer gibi PY ile ilişkili bazı olumsuz özellikleri azaltır. Ayrıca karışım yakıtlara 2-EHN eklenmesi ile karışım yakıtların setan sayıları dizel için minimum setan sayısı spesifikasyonuna yükseltilmiştir. Sonuç olarak çalışmamız, dizel/PY/n-bütanol şeklinde elde edilen karışımlara diğer bir katkı maddesi olan setan artırıcı (2-EHN) eklenmesi ile CI motor uygulamalarında potansiyel alternatif bir biyoyakıt kaynağı olabileceğini göstermiştir. Böylece bileşenlerin uygun oranları seçilerek optimal fizikokimyasal özelliklere sahip uygun bir yakıt elde edilmiştir.

5. Kaynaklar

- Alcala, A., Bridgwater, A.V., 2013. Upgrading fast pyrolysis liquids: Blends of biodiesel and pyrolysis oil. *Fuel*, **109**, 417-426.
- Almasi, S., Najafi, G., Ghobadian, B., Jalili, S., 2021. Biodiesel production from sour cherry kernel oil as novel feedstock using potassium hydroxide catalyst: optimization using response surface methodology. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, **35**, 102089
- Alptekin, E., Canakci, M., 2008. Determination of the density and the viscosities of biodiesel–diesel fuel blends. *Renewable Energy*, **33(12)**, 2623-2630.
- Barth, T., Kleinert, M., 2008. Motor Fuels From Biomass Pyrolysis. *Chemical Engineering & Technology*, **31(5)**, 773-781.
- Bridgwater, A.V., 2012. Upgrading biomass fast pyrolysis liquids. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, **31(2)**, 261-268.
- Bridgwater, T., Meier, D., Radlein, D., 1999. An Overview of Fast Pyrolysis of Biomass. *Organic Geochemistry*, **30**, 1479-1493.
- Chong, K.J., Bridgwater, A.V., 2017. Fast Pyrolysis Oil Fuel Blend for Marine Vessels. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, **36(3)**, 677-684.
- Doğan, O., Çelik, M.B., Özdalyan, B., 2012. The effect of tire derived fuel/diesel fuel blends utilization on diesel engine performance and emissions. *Fuel*, **95**, 340-346.
- Gözke, G., Açıkalın, K., 2021. Pyrolysis characteristics and kinetics of sour cherry stalk and flesh via thermogravimetric analysis using isoconversional methods. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, **146**, 893–910.
- Hossain, A.K., Serrano, C., Brammer, J.B., et al., 2016. Combustion of fuel blends containing digestate pyrolysis oil in a multi-cylinder compression ignition engine. *Fuel*, **171**, 18-28.
- Huang, Y., Han, X., Shang, S., Wang, L., 2012. Performance and emissions of a direct-injection diesel engine operating on emulsions of corn stalk bio-oil in diesel. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, **226(8)**, 1119-1129.
- Karagöz, M., 2020. Investigation of performance and emission characteristics of an CI engine fuelled with diesel – waste tire oil – butanol blends. *Fuel*, **282**, 118872.
- Kim, T.Y., Lee, S.H., 2015. Combustion and emission characteristics of wood pyrolysis oil-butanol blended fuels in a DI diesel engine. *International Journal of Automotive Technology*, **16(6)**, 903-912.
- Kim, T.Y., Lee, S., Kang, K., 2015. Performance and emission characteristics of a high-compression-ratio diesel engine fueled with wood pyrolysis oil-butanol blended fuels. *Energy*, **93**, 2241-2250.
- Lapuerta, M., Rodriguez-Fernandez, J., de Mora, E.F., 2009. Correlation for the estimation of the cetane number of biodiesel fuels and implications on the iodine number. *Energy Policy*, **37(11)**, 4337-4344.
- Lee, S., Woo, S.H., Kim, Y., Choi, Y., Kang, K., 2020. Combustion and emission characteristics of a diesel-powered generator running with N-butanol/coffee ground pyrolysis oil/diesel blended fuel. *Energy*, **206**, 118201.
- Lee, S., Kim, T., Kang, K., 2014. Performance and emission characteristics of a diesel engine operated with wood pyrolysis oil. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, **228(2)**, 180-189.
- Lin, B.J., Chen, W.H., Budzianowski, W.M., Hsieh, C.T., Lin, P.H., 2016. Emulsification analysis of bio-oil and diesel under various combinations of emulsifiers. *Applied Energy*, **178**, 746-757.
- Maroa, S., Inambao, F., 2019, The effect of cetane number and oxygen content in the performance and emissions characteristics of a diesel engine using biodiesel blends. *Journal of Energy in Southern Africa*, **30**, 1–13.
- Midhun Prasad, K., Murugavelh, S., 2020. Experimental investigation and kinetics of tomato peel pyrolysis: Performance, combustion and emission characteristics of bio-oil blends in diesel engine. *Journal of Cleaner Production*, **254**, 120115.

- Murugan, S., Ramaswamy, M.C., Govindan, N., 2008. Use of tyre pyrolysis oil in diesel engines. *Waste Management*, **28**, 2743-2749.
- Nguyen, D., Honnery, D., 2008. Combustion of bio-oil ethanol blends at elevated pressure. *Fuel*, **87(2)**, 232-243.
- Oasmaa, A., van de Beld, B., Saari, P., Elliott, D.C., Solantausta, Y., 2015. Norms, Standards, and Legislation for Fast Pyrolysis Bio-oils from Lignocellulosic Biomass. *Energy & Fuels*, **29(4)**, 2471-2484.
- Park, I., Kim, Y., Lee, S., 2018. Morphological Change and Number-Size Distributions of Particulate Matter (PM) from a Diesel Generator Operated with Wood Pyrolysis Oil-Butanol Blended Fuel. *International Journal of Automotive Technology*, **19(3)**, 413-420.
- Simsek, S., Uslu, S., 2020. Investigation of the effects of biodiesel/2-ethylhexyl nitrate (EHN) fuel blends on diesel engine performance and emissions by response surface methodology (RSM). *Fuel*, **275**, 118872.
- Yalçın, A.H., Mutlu, İ., 2021. Pyrolysis of sour cherry kernels: physicochemical characterization of pyrolysis oil in blends of diesel and n-butanol. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, **10(5)**, 666-672.
- Zhang, Q., Chang, J., Wang, T., Xu, Y., 2007. Review of biomass pyrolysis oil properties and upgrading research. *Energy Conversion and Management*, **48(1)**, 87-92.