



FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ

Journal of Natural and Applied Sciences

nisan



Cilt:26 Sayı: 01 Volume:26 Issue: 01 e-ISSN: 1308 6829

2022
ISPARTA



SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

Cilt 26, Sayı 1, Yıl 2022

SÜLEYMAN DEMİREL UNIVERSITY

Journal of Natural and Applied Sciences

Volume 26, Issue 1, Year 2022

e-ISSN: 1308-6529 | DOI: 10.19113/sdufenbed

Bu dergi, aşağıda listelenen veri tabanları tarafından taranmaktadır / This journal is indexed by the following abstracting and indexing databases
BASE, CAB Abstracts, CAS (Chemical Abstracts Service), CNKI Scholar, DOAJ, EBSCO Discovery Service (EDS), Google Scholar, Index
Copernicus, InfoBase Index, JournalTOCs, ResearchBib, Ulakbim TR Dizin (Mühendislik ve Temel Bilimler), WorldCat (OCLC),
Zentralblatt MATH

DERGİ HAKKINDA

Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi (SDÜ Fen Bil Enst Der), 1995 yılında kurulmuş bir bilimsel araştırma dergisidir. SDÜ Fen Bil Enst Der, 2001 yılından itibaren mühendislik ve mimarlık bilimleri, tarım ve orman bilimleri ve temel bilimler alanlarında düzenli olarak Nisan, Ağustos ve Aralık aylarında yılda üç sayı yayımlanan ulusal ve uluslararası hakemli-indeksli bir dergidir. Yayımlanmak üzere gönderilen bütün makaleler; hakemler ve editörler tarafından değerlendirilir. Makaleleri değerlendiren hakemlerin isimleri yazarlara bildirilmez. Dergide, Türkçe veya İngilizce dillerinde yazılmış orijinal araştırma makaleleri yayımlanmakta olup; teknik not, editöre mektup, tartışma, vaka takdimi ve derleme türünde bilimsel çalışmalar yayımlanmamaktadır. İngilizce dilinde yazılmış orijinal araştırma makaleleri yayımlanma önceliğine sahiptir. Dergiye yayımlanmak için gönderilen makalelerden herhangi bir değerlendirme ve başvuru ücreti alınmamaktadır.

ABOUT THE JOURNAL

Süleyman Demirel University Journal of Natural and Applied Sciences (SDU J Nat Appl Sci) is a scientific research journal founded in 1995. SDU J Nat Appl Sci is a national and international indexed journal with referees, which has been published in the areas of engineering and architecture sciences, agriculture and forestry sciences and fundamental sciences three times in a year including in April, August and December, regularly since 2001. Articles submitted to the journal for publication are evaluated by referees, editorial board and editor. Names of referees evaluating the articles aren't informed to the authors (Blind peer review). The full-length original research articles written in Turkish or English language are published, but technical notes, letters to the editors, expositions and surveys are not published in the journal. The full-length original scientific research articles written in English language have the priority of publication. The Journal of Natural and Applied Sciences does not charge any publication or processing fee.



SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ

İMTİYAZ SAHİBİ

İlker Hüseyin ÇARIKÇI, Prof. Dr.
Süleyman Demirel Üniversitesi Adına (Rektör)

BAŞ EDİTÖR

Şule Sultan UĞUR, Doç. Dr.
Süleyman Demirel Üniversitesi (Enstitü Müdürü)

EDİTÖRLER

Zehra ÜSTÜN, Dr. Öğr. Üyesi
Süleyman Demirel Üniversitesi
Cengiz GAZELOĞLU, Doç. Dr.
Süleyman Demirel Üniversitesi
(Enstitü Müdür Yardımcısı)
Banu ESENCAN TÜRKASLAN, Dr.
Öğr. Üyesi
Süleyman Demirel Üniversitesi
(Enstitü Müdür Yardımcısı)
Yasemin COŞKUN, Doç. Dr.
Süleyman Demirel Üniversitesi

Tunahan TURHAN, Doç. Dr.
Süleyman Demirel Üniversitesi
Ekinhan ERİŞKİN, Dr. Öğr. Üyesi
Süleyman Demirel Üniversitesi
Faruk Süleyman BERBER,
Öğr. Gör. Dr.
Süleyman Demirel Üniversitesi
Hakan OĞUZ, Prof. Dr.
Kahramanmaraş Sütçü İmam
Üniversitesi

Oğuz YAYLA, Doç. Dr.
Hacettepe Üniversitesi
Rağbet Ezgi DURAN, Doç. Dr.
Süleyman Demirel Üniversitesi
Sedat AKLEYLEK, Doç. Dr.
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Tunhan DEMİRCİ, Dr. Öğr. Üyesi
Süleyman Demirel Üniversitesi
Yalçın ERZURUMLU, Dr. Öğr. Üyesi
Süleyman Demirel Üniversitesi

DANIŞMA KURULU

Ahmet Ali İŞILDAR, Prof. Dr.
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniv.
Ayşegül ÖKSÜZ, Prof. Dr.
Süleyman Demirel Üniversitesi
Bahri KARLI, Prof. Dr.
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniv.
Erdoğan KÜÇÜKÖNER, Prof. Dr.
Süleyman Demirel Üniversitesi
Ersan AKYILDIZ, Prof. Dr.
Orta Doğu Teknik Üniversitesi
Ersin YÜCEL, Prof. Dr.
Anadolu Üniversitesi
Gerhard-Wilhelm WEBER, Prof. Dr.
Poznan Teknoloji Üniversitesi

Güven ÖNBİLGİN, Prof. Dr.
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Mehmet POLAT, Prof. Dr.
İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü
Metin AYDOĞDU, Prof. Dr.
Trakya Üniversitesi
Muhsin KONUK, Prof. Dr.
Üsküdar Üniversitesi
M. Zakir KANBUR, Doç. Dr.
Süleyman Demirel Üniversitesi
Osman ÇETİNKAYA, Prof. Dr.
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniv.

Serdar CARUS, Prof. Dr.
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniv.
Serpil PEHLİVAN, Prof. Dr.
Süleyman Demirel Üniversitesi
Şeref SAĞIROĞLU, Prof. Dr.
Gazi Üniversitesi
Tolga TAŞDİZEN, Doç. Dr.
Utah Üniversitesi
Urfat NURİYEV, Prof. Dr.
Ege Üniversitesi

TEKNİK EDİTÖRLER

Niyazi Erdem DELİKANLI,
Arş. Gör. Dr.
Bartın Üniversitesi
Sercan ÖNDER,
Arş. Gör.
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniv.

Yaşar Kemal ERDOĞAN
Arş. Gör.
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniv.

BÜRO İŞLERİ

Uğur KARATEPE, Memur
Süleyman Demirel Üniversitesi

KAPAK TASARIM

Mehmet ÖZKARTAL, Doç. Dr.
Süleyman Demirel Üniversitesi

Mehmet Nuri KIVRAK

PRIVILIGE OWNER

İlker Hüseyin ÇARIKÇI, Prof. Dr.
On Behalf of Süleyman Demirel University (President)

EDITOR IN CHIEF

Şule Sultan UĞUR, Assoc. Prof. Dr.
Süleyman Demirel University (Director of the Institute)

EDITORS

Zehra ÜSTÜN, Asst. Prof. Dr.
Süleyman Demirel University
Cengiz GAZELOĞLU, Assoc. Prof. Dr.
Süleyman Demirel University
(Associate Director of the Institute)
Banu ESENCAN TÜRKASLAN,
Asst. Prof. Dr.
Süleyman Demirel University
(Associate Director of the Institute)
Yasemin COŞKUN, Assoc.Prof.Dr.
Süleyman Demirel University

Tunahan TURHAN, Assoc. Prof. Dr.
Süleyman Demirel University
Ekinhan ERİŞKİN, Asst. Prof. Dr.
Süleyman Demirel University
Faruk Süleyman BERBER,
Teach.Asst.Dr.
Süleyman Demirel University
Hakan OĞUZ, Prof.Dr.
Kahramanmaraş Sütçü İmam
University

Oğuz YAYLA, Assoc. Prof. Dr
Hacettepe University
Rağbet Ezgi DURAN, Assoc.Prof.Dr.
Süleyman Demirel University
Sedat AKLEYLEK,Assoc. Prof. Dr
Ondokuz Mayıs University
Tunhan DEMİRCİ, Asst. Prof. Dr
Süleyman Demirel University
Yalçın ERZURUMLU, Asst. Prof. Dr.
Süleyman Demirel University

ADVISORY BOARD

Ahmet Ali İŞILDAR, Prof. Dr.
Isparta University of Applied Sciences
Ayşegül ÖKSÜZ, Prof. Dr.
Süleyman Demirel University
Bahri KARLI, Prof. Dr.
Isparta University of Applied Sciences
Erdoğan KÜÇÜKÖNER, Prof. Dr.
Süleyman Demirel University
Ersan AKYILDIZ, Prof. Dr.
Middle East Technical University
Ersin YÜCEL, Prof. Dr.
Anadolu University
Gerhard-Wilhelm WEBER, Prof. Dr.
Poznan University of Technology

Güven ÖNBİLGİN, Prof. Dr.
Ondokuz Mayıs University
Mehmet POLAT, Prof. Dr.
İzmir Institute of Technology
Metin AYDOĞDU, Prof. Dr.
Trakya University
Muhsin KONUK, Prof. Dr.
Üsküdar University
M. Zakir KANBUR, Assoc. Prof. Dr.
Süleyman Demirel University
Osman ÇETİNKAYA, Prof. Dr.
Isparta University of Applied Sciences

Serdar CARUS, Prof. Dr.
Isparta University of Applied
Sciences
Serpil PEHLİVAN, Prof. Dr.
Süleyman Demirel University
Şeref SAĞIROĞLU, Prof. Dr.
Gazi University
Tolga TAŞDİZEN, Assoc. Prof. Dr.
University of Utah
Urfat NURİYEV, Prof. Dr.
Ege University

TECHNICAL EDITORS

Niyazi Erdem DELİKANLI,
Res. Asst. Dr. Bartın University
Sercan ÖNDER, Res. Asst.
Isparta University of Applied Sciences

Yaşar Kemal ERDOĞAN, Res. Asst.
Isparta University of Applied Sciences

OFFICE WORK

Uğur KARATEPE, Staff
Süleyman Demirel University

COVER DESIGN

Mehmet ÖZKARTAL, Assoc. Prof. Dr. **Mehmet Nuri KIVRAK**
Süleyman Demirel University

| | |
|---|---------|
| Balıkesir / Antandros Antik Kenti Kazısı Toprak Örneklerinin Metagenomik Analizi..... <i>Metagenomic Analysis of Soil Samples of Balıkesir/Antandros Ancient City Excavation</i> Dilan BAL, Berceste BALCI, Alper YILMAZ, Gürcan POLAT, Ercan ARICAN | 1-12 |
| Geleneksel Sille Evleri'nde Enerji Etkin Mimari Çözümlerin İncelenmesi <i>Development and Implementation Methodology for Extending Scope in Web Application Penetration Testing</i> Havva Gamze KÖZOĞLU, Fatih CANAN, Mustafa KORUMAZ | 13-24 |
| <i>Muraena helena</i> Linnaeus, 1758 (Akdeniz Müren Balığı)'nın Mide Mukozasının Histolojik ve Histokimyasal Olarak İncelenmesi <i>Histological and Histochemical Investigation of the Stomach Mucosa of Muraena helena Linnaeus, 1758 (Mediterranean Moray Fish)</i> Fatma KAYA, Mehmet Rüştü ÖZEN | 25-34 |
| Farklı Taşıyıcı Sistemlerin Gömülü Enerji ve Gömülü Karbon Değerlerinin Müstakil Konutlar Bağlamında Karşılaştırılması <i>Comparison of Embodied Energy and Embodied Carbon Values of Different Structure Systems in the Context of Single-Detached Housing</i> Hatice Sena AZKUR, Fatih CANAN | 35-46 |
| Biyobozunur Mg-Ag Döküm Alaşımlarının Mikroyapı Mekanik ve İn Vitro Korozyon Özelliklerinin İncelenmesi <i>Investigation of Microstructure, Mechanical and In Vitro Corrosion Properties of Biodegradable Mg-Ag Casting Alloys</i> Levent ELEN, Yunus TÜREN, Hayrettin AHLATCI, Mehmet ÜNAL | 47-51 |
| Gökdelenlerde Alınan Deprem Önlemleri ve Sisam Depremi Bağlamında Folkart Kuleleri'nin İncelenmesi..... <i>Earthquake Measures in Skyscrapers and Folkart Towers Analysis in the Context of Sisam Earthquake</i> Esra ÖZTÜRK, Kutluğ SAVAŞIR | 52-62 |
| Flexural Tensile Strength Measurement and Determination for Kerbstones with Unsymmetrical Section..... <i>Simetrik Kesitli Olmayan Bordür Taşları için Eğilmede Çekme Dayanımı Ölçümü ve Tayini</i> Cengiz Duran ATIŞ, Abdisamed Ahmed ABDILAHİ, Serhan İLKENTAPAR, Uğur Durak, Okan KARAHAN | 63-68 |
| Silisyum İnce Filmlerde Taban Malzemelerin Elektronik Kusurlar Üzerine Etkisinin Belirlenmesi..... <i>Determination of the Effect of Substrates on Electronic Defects in Silicon Thin Films</i> Gökhan YILMAZ | 69-76 |
| Removal of Ammonia Gas Using Chabazite Type Natural Zeolite..... <i>Şabazit Tipi Doğal Zeolit Kullanılarak Amonyak Gazının Uzaklaştırılması</i> Aytaç GÜNAL, Burcu ERDOĞAN | 77-82 |
| Ödemiş Kuzey Bölgesinin İmar ve Bölge Planlama Alanı İncelenmesi..... <i>Investigation of The Zoning and Regional Planning Area of the North Odemis Region</i> İbrahim ACAR, Züheyr KAMACI, Serdar KAPUCU | 83-89 |
| Eko-Psikolojiyi Etkileyen Değişkenlerin Belirlenmesi <i>Identifying Variables Affecting Eco-Psychology</i> Ahmet Erkan METİN, Atila GÜL | 90-105 |
| Gümüş Nanopartiküllerin Yeşil Sentezi ve Bazı Gıda Patojenleri Üzerindeki Antimikrobiyal Etkileri..... <i>Green Synthesis of Silver Nanoparticles and Their Antimicrobial Effects on Some Food Pathogens</i> Abdulkerim HATİPOĞLU | 106-114 |
| Investigation of Photocatalytic Decolorization Parameters of Acid Violet 7 Dye With poly(ethylene glycol dimethacrylate-2-vinyl pyridine) -TiO ₂ Photocatalytic Polymer Microbeads <i>Poli(etilen glikol dimetakrilat-2-vinil piridin) -TiO₂ Fotokatalitik Polimer Mikro Küreleri ile Asit Violet 7 Boyasının Fotokatalitik Renk Giderme Parametrelerinin İncelenmesi</i> Şeyma YALÇIN, Ali KARA | 115-121 |
| Bazı Fungusitlerin Genotoksik Potansiyellerinin <i>Drosophila</i> SMART ve KOMET Yöntemleri ile Araştırılması. <i>Investigation of Genotoxic Potentials of Some Fungicides by Drosophila SMART and KOMET Methods</i> Ayşen Yağmur KURŞUN, Merve GÜNEŞ, Burçin YALÇIN, Havva ERTUĞRUL, Bülent KAYA | 122-131 |

| | |
|---|---------|
| Mermer Ocak İşletmeciliğinde Yastıklama Uygulamasının Üretim Verimine Etkisinin Araştırılması..... | 132-140 |
| <i>Investigation of the Effect of Cushioning on Production Efficiency in Marble Quarry Management</i> | |
| Nazmi ŞENGÜN, İhsan BİLGİN | |
| İyon Değişirme Prosesi Kullanan Su Yumuşatma Sistemlerinde TOPSIS Karar Verme Modeliyle Mevcut En İyi Tekniklerin Seçimi..... | 141-152 |
| <i>Selection of Best Available Techniques for Water Softening/Ion Exchange Processes Employing TOPSIS Decision Making Model</i> | |
| Alperen KIR, Elif ŞİMŞEK, Emrah ÖZTÜRK, Mehmet KİTİŞ | |
| Bir Deniz Akvaryumu Su Alım Ünitesi Civarında Gözlemlenen Bazı Sucul Canlılar | 153-159 |
| <i>Some Aquatic Creatures is Observed Around A Marine Aquarium Water Intake Unit</i> | |
| Kemal GÖKOĞLU, Mete KUŞAT | |
| Katı Atık Depo Alanlarında Bulunan Atıklardan Biyogaz Enerjisi Üretme Potansiyelinin Değerlendirilmesi; Van İli Örneği..... | 160-170 |
| <i>Evaluation of The Potential of Producing Biogas Energy From Wastes in Landfills; Van Province Example</i> | |
| Dilara ÖZTÜRK, Ayşe ÖZGÜVEN | |
| Energy and Exergy Analysis of a Shell and Tube Heat Exchangers Having Smooth and Corrugated Inner Tubes | 171-181 |
| <i>Pürüzsüz ve Koruge İç Borulara Sahip Bir Gövde Borulu Isı Değişiricisinin Enerji ve Ekserji Analizi</i> | |
| Ali CELEN | |
| Örnek Bölütlemesi ile Nesne ve Renk Sınıflandırması | 182-189 |
| <i>Object and Color Classification with Instance Segmentation</i> | |
| Ahmet ÖZCAN, Ömer ÇETİN | |

Balıkesir/Antandros Antik Kenti Kazısı Toprak Örneklerinin Metagenomik Analizi

Dilan BAL¹, Berceste BALCI¹, Alper YILMAZ², Gürcan POLAT³, Ercan ARICAN*¹

¹İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, 34134, İstanbul, Türkiye
²Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji Fakültesi, Biyomühendislik Bölümü, 34210, İstanbul, Türkiye
³Ege Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi, Arkeoloji Bölümü, 35040, İzmir, Türkiye

(Alınış / Received: 08.03.2020, Kabul / Accepted: 19.07.2021, Online Yayınlanma / Published Online: 20.04.2022)

Anahtar Kelimeler

16S rRNA,
Metagenomik,
Mikroorganizma,
Toprak

Özet: Bugüne kadar, biyosferde bulunan mikroorganizmaların çok azı kültürlenme metoduyla tespit ya da teşhis edilebilmiştir. Kültürlenmemiş ya da kültürlenemeyen mikroorganizmalar ise, mikrobiyal çeşitliliğin büyük bir bölümünü oluşturmaktadır. Metagenomik analiz, kültürlenme yapılmaksızın, çevreden direkt alınan örneklerin DNA izolasyonu sonrasında elde edilen mikroorganizmaların tür tayininin yapılmasına, genetik çeşitliliğinin, popülasyon yapısının ve bu mikroorganizmaların insan yaşantısını da etkileyen ekolojik rollerinin anlaşılmasına olanak vermektedir. Metagenomik; ilaç, biyoyakıt, biyoteknoloji, tarım, ekoloji gibi birçok farklı çalışma alanında yardımcı disiplin olarak önemli rol oynamaktadır. Paleomikrobiyoloji çalışmalarında da son yıllarda sıkça kullanılmaya başlanan metagenomik, insanlık tarihindeki mikrobiyal evrim araştırmalarına katkı sunar ve bize geçmiş zamanların mikro ekosistemini anlama perspektifi verir. Bu çalışmada, Balıkesir/Antandros Antik Kenti nekropolünden kültürlenme yapılmaksızın direkt alınan toprak örneklerindeki mikroorganizmaların DNA izolasyonu yapıldı ve sonrasında 16S rRNA genlerinin V3-V4 bölgeleri PZR yöntemi ile çoğaltıldı. Çoğaltılan bölgeler Illumina MiSeq sistemi ile dizilendi. Elde edilen dizilerin metagenomik analizi QIIME 1.9.1 kullanılarak yapıldı ve mikrobiyal çeşitlilik belirlendi.

Metagenomic Analysis of Soil Samples of Balıkesir/Antandros Ancient City Excavation

Keywords

16S rRNA,
Metagenomics,
Microorganism,
Soil

Abstract: Until now, very few of microorganisms in the biosphere have been detected and defined via cultivation methods. Microorganisms which, can not be cultured or haven't been cultured, make up of significant part of microbial diversity. Metagenomic analysis provides information about genetic diversity, population structure and ecological roles that affect human life of these microorganisms after DNA isolation of environmental samples without culturing. Metagenomics plays a significant role as discipline auxiliary to various different fields such as medicine, biofuels, biotechnology, agriculture, ecology. Metagenomics, which is started to be widely used in paleomicrobiology studies as well, contributes to microbial evolution studies in human history and gives us a perspective to understand ancient micro ecosystem. In this thesis, DNA isolation of microorganisms in culture-independent soil samples taken directly from Balıkesir/Antandros Ancient City Necropolis was performed and afterwards V3-V4 regions of 16S rRNA were multiplied by using PCR method. Replicated regions were sequenced using Illumina MiSeq system. Metagenomic analysis of these sequences was performed using QIIME 1.9.1 and microbial diversity was detected.

1. Giriş

Günümüzde Balıkesir ili, Edremit ilçesi, Altınoluk beldesi sınırları içerisinde yer alan Antandros Antik Kenti'nde yapılan kazı çalışmaları Prof. Dr. Gürcan Polat'ın başkanlığında 2001 yılından beri devam etmektedir [1]. Kazı çalışmalarının yürütüldüğü dört

sektörden biri olan nekropolün, 700 yıl kesintisiz olarak kullanıldığı belirlenmiştir. Nekropolün, konumlandığı tepenin yamacında yer alması ve kullanılan alanların sürekli erozyon sonucu toprak altında kalması, mezarların üst üste olmasını ve yapıların mezarların üstüne inşa edilmiş olmasını açıklamaktadır. Antandros Antik Kenti nekropolü

uzun yıllar boyunca kullanmış olması dolayısıyla farklı kültür ve dönemlere ait mezar, gömü çeşitleri ve yapılar ev sahipliği yapmaktadır [2]. Antik kalıntılardaki mikroorganizmaların tespiti ve teşhisi ile mikroorganizmaların evriminin ve insan popülasyonu ile simbiyotik ilişkisinin anlaşılmasına olanak veren paleomikrobiyoloji, tarihsel ve arkeolojik kaynaklarda ortaya konan hipotezlerin, bilimsel olarak kanıtı verilerle desteklenmesini sağlamaktadır. Metagenomik çalışmaların son yıllarda gelişmesiyle birlikte paleomikrobiyoloji çalışmaları da hız kazanmıştır [3].

Metagenomik, mikroorganizma topluluklarını içeren örneklerin kültür edilmesine gerek duyulmaksızın direkt olarak doğal ortamlarından alınıp, içindeki mikroorganizmaların DNA'larının izole edilmesi ve bu DNA'ların yeni nesil dizileme teknikleri kullanılarak analiz edilmesidir. Metagenomik alanında yapılan ilk çalışmalar, yaklaşık olarak 1.5 kb'lık 16S rRNA genlerini hedef alan Sanger dizileme yöntemini baz almıştır [4]. Bu 1.5 kb'lık kodlama yapan dizi, gene dağılmış halde bulunan 9 tane korunmuş (C1-C9) bölge, 9 tane çok değişken (V1-V9) bölge içermektedir [5]. Daha güncel çalışmalara bakıldığında ise metagenomik çalışmalarda dizileme için hedef bölge olarak bu çok değişken (V1-V9) bölgelerin, dizileme yöntemi olarak ise yeni nesil dizileme yöntemlerinden biri olan Illumina'nın tercih edildiği görülmektedir. Yeni nesil dizileme yöntemleri daha düşük maliyetle günde 5000 Mb'lık DNA dizileyebiliyorken, Sanger dizileme yöntemi daha yüksek maliyetle, günde yaklaşık 6 Mb'lık DNA dizileyebilmektedir [6]. Metagenomik çalışmalarda dizilenmek üzere hedeflenen DNA dizisinin boyutu, çevresel örneklerden elde edilen mikroorganizmaların çeşidi ve mikroorganizmalara ait DNA miktarlarının fazla olması sebebiyle Illumina dizileme yöntemi tercih edilmektedir [7].

Yapılan metagenomik çalışmalarda, 16S rRNA geninin çok değişken bölgelerini hedef alan dizileme yöntemi ile elde edilen verilerin metagenomik analizinde kullanılmak üzere genellikle QIIME programının tercih edildiği görülmektedir [8]. QIIME ile DNA dizileri kalite kontrolden geçirildikten sonra, dizilere ait işlevsel taksonomik birimler (OTU'lar) belirlenebilir ve belirlenen OTU'lara taksonomik atamalar yapılarak mikrobiyal çeşitlilik belirlenebilir [9].

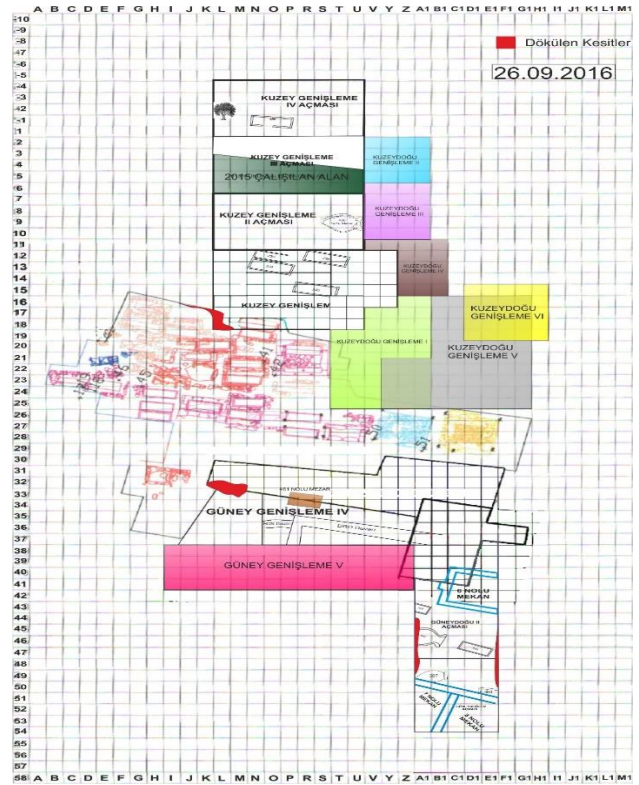
Bu çalışmada Balıkesir/Antandros Antik Kenti nekropolünün farklı konumlarından alınan toprak örneklerindeki mikroorganizmaların kültürleme yönteminden bağımsız DNA izolasyonu işlemi sonrasında, 16S rRNA genlerinin çok değişken V3-V4 bölgesinin çoğaltılması, çoğaltılan bölgelerin Illumina dizileme yöntemiyle dizilmesi, dizileme verilerinin metagenomik analizinde QIIME programı kullanılarak OTU'ların belirlenmesi, buna bağlı olarak taksonomik analizin yapılması ve örnek alınan bölgelerin

mikroorganizma çeşitliliğinin ortaya konması amaçlanmıştır. Elde edilen verilerle arkeolojik bulguların bilimsel olarak desteklenmesi beklenmektedir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Balıkesir/Antandros antik kenti toprak örneklerinin toplanması

Çalışma kapsamında kullanılan Balıkesir/Antandros Antik Kenti kazısı toprak örnekleri, arkeologlar gözetiminde açılan mezarlardan, çıkarılan mezar hediyelerinden, nekropolde bulunan ve depolama amaçlı kullanıldığı düşünülen pithoslardan alındı. Açılan mezarlardan örnek alınırken - bağırsaklardaki bakteriler göz önünde bulundurularak - örnek konumu olarak iskelet seviyesi karın bölgesi tercih edildi. Açılan mezarlardan çıkarılan mezar hediyelerinin (örneğin; koku kabı olarak kullanıldığı tahmin edilen buluntular) içerisinde de toprak örnekleri alındı. Balıkesir/Antandros Antik Kenti nekropolü, farklı dönemlerde yerleşim alanı olarak da kullanıldığından, büyük depolama kaplarına (pithos) da rastlandı. Bu pithosların içerisinde de toprak örnekleri alındı.



Şekil 1. 2016 yılı nekropol genel plan karesi.

Şekil 1'de Balıkesir/Antandros Antik Kenti nekropolünün 2016 yılı genel plan karesi görülmektedir. 2016 yılı kazı sezonunda toplam 6 farklı mezardan (mezar kodları; 453, 480, 486, 487, 490, 493), Kuzeydoğu Genişleme V açması içerisinde bulunan depolama amaçlı kullanıldığı düşünülen pithostan, açılan mezarlarda bulunan 2 adet mezar

hediyesinden toplam 8 adet toprak örneği steril şekilde alındı. Örneklerin alındığı mezarlar çoğunlukla Kuzeydoğu Genişleme III ve Kuzeydoğu Genişleme IV açmalarında yer almaktadır. Alınan sadece bir örnek Kuzey Genişleme III açmasında yer almaktadır.

453 No'lu mezardaki buluntular göz önünde bulundurularak tarihlendirme, kazı ekibi tarafından M.Ö. 2. yy olarak yapılmıştır. Birincil kremasyonun küllerinin urne kabının içerisine konulduğu gözlemlenmiştir. 453 No'lu mezarda bulunan HTJ 3 kodlu mezar hediyesi içerisinden toprak örneği alındı. HTJ 3 kodlu mezar hediyesinin Şekil 1'de görülen plan karedeki konumu 2-3/S-T'dir.

480 No'lu mezarın tarihlendirmesi kazı ekibi tarafından M.Ö. 4. yy olarak yapılmıştır. 480 No'lu mezarın iskelet seviyesinin tahmini karın bölgesinden toprak örneği alındı. 480 No'lu mezarın Şekil 1'de görülen plan karedeki konumu 11/A1-B1'dir.

486 No'lu mezardaki buluntular göz önünde bulundurularak tarihlendirme, kazı ekibi tarafından M.Ö. 2. yy sonu olarak yapılmıştır. Bu mezar, birincil kremasyon çatı kiremiti mezardır. 486 No'lu mezarın iskelet seviyesinin tahmini karın bölgesinden toprak örneği alındı. 486 No'lu mezarın Şekil 1'de görülen plan karedeki konumu 13-14/ V-Z'dir.

486 No'lu çatı kremi mezarda bireyin kafatası kemiklerinin üst seviyesinden ele geçirilen mezar hediyesi HUI 5, khytridion formundadır. Tarihlendirmesi kazı ekibi tarafından 2. yy sonu -1. yy başı olarak yapılmıştır. Birincil kremasyon 486 No'lu mezar hediyesi olan HUI 5'in içerisinden toprak örneği alındı. HUI 5 kodlu mezar hediyesinin Şekil 1'de görülen plan karedeki konumu 13/Y'dir.

487 No'lu mezarın kazı ekibi tarafından M.Ö. 5. yy olarak yapılmıştır. 487 No'lu mezarın iskelet seviyesinin tahmini karın bölgesinden toprak örneği alındı. 487 No'lu mezarın Şekil 1'de görülen plan karedeki konumu 12/Y-Z'dir.

490 No'lu mezarın tarihlendirmesi kazı ekibi tarafından Hellenistik dönem (M.Ö. 330-30) olarak yapılmıştır. 490 No'lu mezarın iskelet seviyesinin tahmini karın bölgesinden toprak örneği alındı. 490 No'lu mezarın Şekil 1'de görülen plan karedeki konumu 12-13/Y'dir.

493 No'lu mezarın tarihlendirmesi kazı ekibi tarafından M.Ö. 6. yy olarak yapılmıştır. 493 No'lu mezarın iskelet seviyesinin tahmini karın bölgesinden toprak örneği alındı. 493 No'lu mezarın Şekil 1'de görülen plan karedeki konumu 13/Z-A1'dir.

Kuzeydoğu Genişleme V açmasında yer alan ve amphoralarla aynı açmada bulunması sebebiyle depolama amaçlı kullanıldığı düşünülen pithosun içerisinden toprak örneği alındı.

2.2. Toprak örneklerinden DNA izolasyonu

Balıkesir/Antandros Antik Kenti nekropolünden alınan toprak örneklerinin DNA izolasyon işlemi, steril kabin içerisinde yapıldı. İzolasyon öncesinde kabin 20 dk. boyunca UV ışık ile sterilize edildi. İzolasyonu yapılacak toprak örneği, içerisindeki taşların fiziksel parçalanmasını hızlandırmak amaçlı otoklavlanmış havan içerisinde dövülüp toz haline getirildi. DNA izolasyon prosedürü, NORGEN firmasının, sadece topraktan DNA izolasyonu için tasarladığı Soil DNA Isolation Kit (Norgen Biotek, Ontario, Kanada, Katalog no: 26500) prosedürünün bazı solüsyon miktarları optimize edilerek uygulandı.

2.3. PZR yöntemi ile 16S rRNA geni V3-V4 bölgesinin çoğaltılması

İzolasyonu yapılan toprak örneklerinin 16S rRNA geni V3-V4 bölgeleri PZR yöntemiyle çoğaltıldı. Bu PZR çalışmasıyla, izolasyonu yapılan örneklerin çalışıp çalışmadığının kontrolü yapıldı. Bu protokolda kullanılan primer çiftleri (S-D-Bact-0341-b-S-17, S-D-Bact-0785-a-A-21), 16S rRNA geni, V3 ve V4 bölgesini hedeflemektedir [10].

S-D-Bact-0341-b-S-17 ♦ CCTACGGGNGGCWGCAG
S-D-Bact-0785-a-A-21 ♦ GACTACHVGGGTATCTAATCC

16S Amplikon PZR İleri Primer = 5'

TCGTCGGCAGCGTCAGATGTGTATAAGAGACAGCCTAC
GGGNGGCWGCAG

16S Amplikon PZR Geri Primer = 5'

GTCTCGTGGGCTCGGAGATGTGTATAAGAGACAGGAC
TACHVGGGTATCTAATCC

Koyu yazılan diziler; 16S rRNA geni V3-V4 bölgelerine özgü primer dizileridir. Normal yazılan diziler ise, Illumina evrensel adaptör dizileridir [11]. V3-V4 bölgelerine özgü primerler dizilerinde N harfi A,T,G ya da C; W harfi A ya da T; H harfi A, C ya da T; V harfi de A, C ya da G nükleotitlerini temsil etmektedir. PZR işleminde, N, W, H ve V'nin yerine gelebilecek nükleotitlerin bütün kombinasyonları ile tasarlanan primerleri eşit miktarda içeren karışım kullanıldı.

PZR işlemi, Tablo 1'de hazırlanan bileşenlerle C1000 Thermal Cycler (Biorad Laboratories, Inc., ABD) cihazı kullanılarak, Tablo 2'de belirtilen koşullar uygulanarak gerçekleştirildi.

Tablo 1. PZR için gerekli bileşenler.

| Bileşen Adı | Hacim |
|--|---------|
| Mikrobiyal DNA (5ng/µl) | 2.5 µl |
| 16S Amplikon PZR İleri Primer = 5' | 5 µl |
| 16S Amplikon PZR Geri Primer = 5' | 5 µl |
| 2x KAPA HiFi HotStart ReadyMix (KAPA Biosystems, KK2601) | 12.5 µl |
| Toplam | 25 µl |

Tablo 2. PZR koşulları.

| Döngüler | Sıcaklık (°C) | Süre | Döngü Sayısı |
|------------------|---------------|-------|--------------|
| İlk Denatürasyon | 95 | 3 dk | 1 |
| -Denatürasyon | 95 | 30 sn | } 25 |
| -Bağlanma | 55 | 30 sn | |
| -Uzama | 72 | 30 sn | |
| Son Uzama | 75 | 5 dk | |
| Bekleme | 4 | ∞ | 1 |

PZR sonrası, çoğaltılan ampliconların primer, primer dimer ve diğer PZR bileşenlerinden temizlenmesi için PZR pürifikasyon basamağı uygulandı. Temizlenen ampliconlara, ait oldukları örnekler özgü, Illumina index dizileri eklendi ve ampliconlar tekrar pürifiye edildi [11].

PZR sonucunda yaklaşık 460 bç uzunluğunda ampliconlar çoğaltıldı. PZR çalışması ile V3-V4 bölgeleri çoğaltılan örnekler % 1.2'lik agaroz jel elektroforezinde görüntüledi.

2.4. 16S rRNA geni V3-V4 bölgesi çoğaltılan örneklerin Illumina yeni nesil dizileme yöntemi ile dizilenmesi

Örneklerin DNA dizileme işlemi için Piya Biyoteknoloji şirketinden profesyonel hizmet alımı yapıldı. Örneklerin DNA dizilemesi Illumina MiSeq sistemi kullanılarak yapıldı. Örneklerin DNA dizileri fasta ve qual formatında elde edildi. Dizileme verilerinin metagenomik analizi için QIIME 1.9.1 versiyonu kullanıldı ve analiz protokolü Kuczynski ve diğ. tarafından 2011 yılında yayımlanan makale [9] referans alınarak uygulandı.

Yeni nesil dizileme işlemi sırasında her örneğe spesifik 8 nükleotid uzunluğunda barkod dizileri eklendi. Bu sayede her bir örnekten gelen DNA dizilerinin ayrıştırılabilmesi amaçlandı (Tablo 3).

Tablo 3. Örneklere ait spesifik barkod dizileri.

| Örnek Kodu | Örnek Adı | Barkod Dizisi |
|------------|--------------------------|---------------|
| 1A | 453 mezar hediyesi HTJ 3 | CAGTTCAT |
| 2A | Kuzeydoğu Genişleme V | CAGTTGCA |
| 3Y | 490 iskelet seviyesi | CATGCGCA |
| 4A | 493 iskelet seviyesi | CATAACAA |
| 5A | 480 iskelet seviyesi | CATAATAG |
| 6A | 486 iskelet seviyesi | CATATTCT |
| 7A | 487 iskelet seviyesi | CATCAACA |
| 8A | 486 mezar hediyesi HUI 5 | CATCACCG |

2.5. Dizileme verilerinin metagenomik analizi

Metagenomik analizin ilk basamağında çoklu okuma sayıları, örneklerin barkod dizilerine göre atanır. Bu aşamada, her bir dizinin kalite filtrelemesi yapılır ve düşük kaliteli veya belirsiz okumalar kaldırılır.

Yeni nesil dizileme sonucunda elde edilen ham dizilerin uçları kalite skor değerleri dikkate alınarak kısaltıldı. (Kalite skoru >25) Belirtilen işlemler için

split_libraries.py komut dizisi uygulandı. Uygulanan komut dizisi aşağıdaki gibidir:

```
split_libraries.py -m barkod-dosyaadi.txt -f
dizileme-dosyaadi.raw.fasta.gz -q dizileme-
dosyaadi.raw.qual.gz -o
split_Library_output_8bp/ -b 8
```

OTU belirleme aşamasında, benzerlik eşliğine (%97) bağlı kalınarak benzer diziler, kümeleme yöntemiyle işlevsel taksonomik birimlere (OTU'lara) atanır. Bu aşama için *pick_otus.py* komut dizisi uygulandı. Uygulanan komut aşağıdaki gibidir:

```
pick_otus.py -i split_Library_output_8bp/seqs.fna -
o picked_otus_default
```

Bir sonraki aşama, QIIME üzerinden varsayılan (default) Uclust parametreleri kullanılarak tamamlandı. Bu aşamanın sonucunda örnekler ait dizilerin kalite kontrolleri yapıldı, kimerik diziler filtrelendi ve kümelemeler gerçekleştirildi. OTU'ların belirlenmesinden sonra, diğer aşamalarda analizlerde kullanılmak üzere her bir OTU'dan temsili bir dizi seçilmesi gerekmektedir. Bu aşama için *pick_rep_set.py* komut dizisi uygulandı. Uygulanan komut aşağıdaki gibidir:

```
pick_rep_set.py -i
picked_otus_default/seqs_otus.txt -f
split_Library_output_8bp/seqs.fna -o rep_set1.fna
```

Bir sonraki aşamada, belirlenen her bir OTU'nun temsili dizilerine taksonomik atamalar yapıldı. Dizilerin taksonomik atamaları varsayılan (default) Uclust parametreleri ve Greengenes Veri tabanı (versiyon 13.8) kullanılarak gerçekleştirildi. Bu aşamada *assign_taxonomy.py* komut dizisi uygulandı. Uygulanan komut aşağıdaki gibidir:

```
assign_taxonomy.py -i rep_set1.fna
```

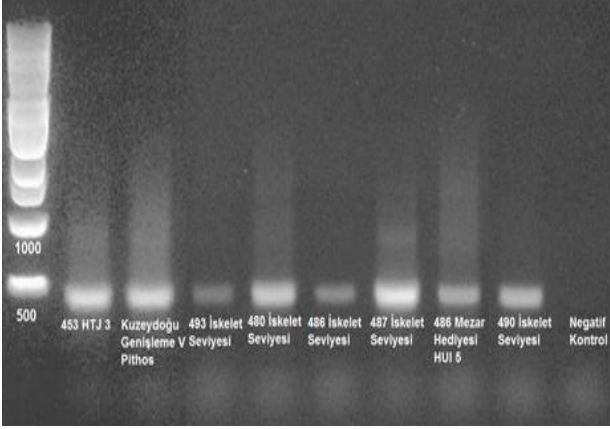
3. Bulgular

Alınan toprak örneklerinin DNA izolasyonu sonrasında spektrofotometrik ölçüm ile elde edilen konsantrasyon değerleri Tablo 4'te belirtilmiştir.

Tablo 4. DNA izolasyonu yapılan örneklerin konsantrasyon değerleri.

| Örnek Adı | Konsantrasyon (ng/µl) |
|-------------------------------------|-----------------------|
| 1A-453 No'lu mezar hediyesi HTJ 3 | 8.4 |
| 2A-Kuzeydoğu Genişleme-V Pithos | 19.1 |
| 3Y-490 No'lu mezar iskelet seviyesi | 9.2 |
| 4A-493 No'lu mezar iskelet seviyesi | 6.7 |
| 5A-480 No'lu mezar iskelet seviyesi | 8.4 |
| 6A-486 No'lu mezar iskelet seviyesi | 8 |
| 7A-487 No'lu mezar iskelet seviyesi | 10.7 |
| 8A-486 No'lu mezar hediyesi HUI 5 | 5.1 |

DNA izolasyonu yapılan örneklerin V3-V4 bölgesinin çoğaltılabilmesi için PZR yöntemi uygulandı. Daha sonra PZR ürünleri agaroz jel elektroforezinde yürütülerek kalitatif analiz yapıldı ve agaroz jel üzerinde oluşan bantlar görüntüldü (Şekil 2).



Şekil 2. V3-V4 bölgesi PZR yöntemiyle çoğaltılan örneklerin elektroforez jel görüntüsü.

DNA izolasyonu ve PZR işlemi sonucunda örnekler, yeni nesil dizileme yöntemi ile Illumina MiSeq sistemi kullanılarak Piya Biyoteknoloji şirketi tarafından dizilendi. Dizileme sonuçları fasta ve qual formatında elde edildi. Dizileme sonucunda elde edilen DNA dizilerinin başında 8 nükleotid uzunluğunda spesifik barkod dizileri bulunmaktadır.

1A-453 No'lu mezar hediyesi HTJ 3 örneğine ait bir DNA dizisi;

```
CAGTTCATCCTACGGGGGCGAGCAGCGAGGAATCTTGGG
CAATGGGCGCAAGCCTGACCAGCGACGCCGCTGAGGGA
TGAAGGCCTTCGGGTCGTA AACCTCTTTTGTGAGGGAAGA
AGTTCTGACGGTACCTCAGAAATAAGCCACGGCTAACTAC
GTGCCAGCAGCCGCGGTAATACGTAGGTGGCAAGCGTTGT
CCGGATTTACTGGGCGTAAAGGGCTTGTAGGCGGTTTCGTT
AAGTCCGGTGTGAAATCTCCCGGCTCACTGGGAGGAGCC
ATCGGAAACTGGCGAGCTAGAGGTGGCAGAGGAAAGCG
GAATCCCGGTGTAGCGGTGAAATGCGTAGATATCGGGAG
GAACACCACTGGCGAAGGCGGCTTTCTGGGCCTATCCTGA
CGCTGAGGAGCGAAAGCGTGGGGAGCAAACCGGATTAGA
TACCCACAGTAGTC
```

2A-Kuzeydoğu Genişleme V, Pithos örneğine ait bir DNA dizisi;

```
CAGTTGCACTACGGGGGCTGCAGTGGGAATCTTGGCG
AATGGGCGAAAGCCTGACGCAGCAACGCCGCTGCGGGAT
GACGGCCTTCGGGTTGTA AACCGCTTTCAGTGGGGACGAA
ACCAGACGGTACCCACAGAAGAAGCCCCGCCAACTACGT
GCCAGCAGCCGCGTAACACGTAGGGGGCGAGCGTTGTCC
GGAATCATTGGGCGTAAAGAGCTCGTAGGCGGCTCAGTAA
GTCCGGTGTGAAACCTCAGGCTCAACCTGGGAGGCCAC
TCGATACTGCTGTGGCTAGAGTCCAGTAGAGGAGTGTGGA
ATTCCCGGTGTAGCGGTGAAATGCGCAGATATCGGGAGGA
ACACCAACGGCGAAGGCAGCACTCTGGGCTGGAACCTGACG
CTGAGGAGCGAAAGCGTGGGTAGCAAACAGGAT
```

3Y-490 No'lu mezar iskelet seviyesi örneğine ait bir DNA dizisi;

```
CATGGCACCTACGGGAGGCTGCAGTGGGGAATTTTGGCG
AATGGGCGAAAGCCTGACGCAGTAACGCCGCTGAGGAT
GAAGGCATTTCGGGTTGTA AACCTCTTCCAGACGGTACCTC
GGGAAAGGGTGATAAATCCTTTCTCCAGACGGTACCTC
CAAAGGAAGCCCCGGCTAATTCGGTCCAGCAGCCGCGGT
AATACGGAAAGGGCAAGCGTTGTTCCGGAATCATTGGGCGT
AAAGGGCGCGTAGGTGGTTCTGTATGTCTACCGTGAAGC
GTACGGCTCAACCGTGCATTGTCCGTAGAACTGCAGGAC
TTGAGGCTGGGAGGGGCTGGTGAATTCCTGTGTAGCGG
TGAAATGCGTAGAGATGGGGGAGAACACTCGTGGCGAAG
GCGGCCAGCTAGACCAGTTCTGACACTGAGGCGCGACAGC
GTGGGGAGCAAACAGGATTAGAT
```

4A-493 No'lu mezar iskelet seviyesi örneğine ait bir DNA dizisi;

```
CATAACAACTACGGGGGCGAGCAGTAGGGAATCTTCCG
CAATGGGCGAAAGCCTGACGGAGCAACGCCGCTGAGTGA
TGAAGGCTTCGGATCGTAAACTCTGTTATTAGGGAAGA
ACAAATGTGTAAGTAACATGACAGTCTTGACGGTACCTA
ATCAGAAAGCCACGGCTAACTACGTGCCAGCAGCCGCGGT
AATACGTAGGTGGCAAGCGTTATCCGGAATTATTGGGCGT
AAAGCGCGCGTAGGCGGTTTTTAAGTCTGATGTGAAAGC
CCACGGCTCAACCGTGGAGGTCATTGGAACTGGAAAC
TTGAGTGCAGAAGAGGAAAGTGAATTCATGTGTAGCG
GTGAAATGCGCAGAGATATGGAGAACACCACTGGCGAA
GGGACTTTCTGGTCTGTA ACTGACGCTGATGTGCGAAAG
CGTGGGGATCAAACAGGATTAGATACCCGTTAGTC
```

5A-480 No'lu mezar iskelet seviyesi örneğine ait bir DNA dizisi;

```
CATAATAGCCTACGGGGGCGAGCAGTCGGGAATTTTGGC
CAATGGACGAAAGTCTGAGGCAGCAACTCCGCGTGGGGA
CCAAGGCCTTCGGGTTGTA AACCTCTTTTCTCAGGGAAGA
TCCAAGACGGTACCTGAGGAATAAGCCACGGCTAACTACG
TGCCAGCAGCCGCGTAAACGTAGGTGGCAAGCGTTGTGTC
CGGATTTACTGGGCGTAAAGAGCGCGCAGGCGGCTGGGTA
AGTCCGATGTGAAAGCTTCCGGCTTAACTGAAAACGGCA
TCGAAACTGCTCCGCTTGAAGGTGGGAGAGGGTAGTGG
AATTCGGGTGTAGTGGTGAATGCGTAGATATCGGGAGG
AACACCACTGGCGAAGGCGGCTACCTGGCCATTCTTGAC
GCTGAGGCGCGAAAGCTAGGGGAGCGAACGGGAT
```

6A-486 No'lu mezar iskelet seviyesi örneğine ait bir DNA dizisi;

```
CATATTCTCCTACGGGTGGCAGCAGTGGGGAATCTTGGCG
AATGGGCGAAAGCCTGACGCAGCAACGCCGCTGCGGGAT
GAAGGCCTTCGGGTTGTA AACCGCTTTCAGTAGGGACGAA
CACAGACGGTACCTACAGAAGAAGCAGCCGCAACTACGT
GCCGCGAGCCGCGTAAACACGTAGGGTGAAGCGTTGTCC
GGAATCATTGGGCGTAAAGAGCTCGTAGGCGGCTTAGTAA
GTCCGGTGTGAAAACCCAGGCTCAACCTGGGAGCCAC
CCGATACTGCTATAGCTAGAGTCCAGTAGGGGAGTGTGGA
ATCCCCAGTGTAGCGGTGAAATGCGCAGATATTGGGAGGA
ACACCAAGCGGGAAGGCGCACTCTGGGCTGGAACCTGACG
CTGAGGAGCGAAAGCGTGGGTAGCGAACAGGATTAGATA
CCCCGTAGTC
```

7A-487 No'lu mezar iskelet seviyesi örneğine ait bir DNA dizisi;

```
CATCAACACCTACGGGGGCTGCAGTGGGAATCTTGCGC
AATGGCCGCAAGGCTGACGCAGCGACGCCGCTGTGGGAT
GACGGCCTTCGGGTTGTAAACCACTGTCCGGGAGGAACGAA
TACTCGGCCTCGAATAGGGGACCGAGGGTGACGGTACCTC
CAAAGGAAGCACC GGCTAACTCCGTGCCAGCAGCCGCGGT
AATACGGAGGGTGCAGCGTTGTCCGGAATCACTGGGGCGT
AAAGGGCGCGTAGGGCGCCCGTTAAGTGGCTGGTGAATC
CCGGGGCTCAACTCCGGGGCTGCCAGTCAGACTGGCGAGC
TAGAGCACGGTAGGGGAGATGGAATCCCGGTGTAGCGG
TGGAATGCGTAGAGATCGGGAAGAATACCAGTGGCGAAG
GCGTTCTGCTGGGCCGTTGCTGACGCTGAGGCGCGACAGC
GTGGGGAG
```

8A-486 No'lu mezar hediyesi HUI 5 örneğine ait bir DNA dizisi;

```
CATCACCGCCTACGGGAGGCAGCAGTCCGGGAATTTGCC
AATGGACGAAAGTCTGAGGCAGCAACGCCGCTGAGGGAT
GAAGGCCTTCGGGTTGTAAACCTCTTTTCTCAGGGACGAT
GATGACGGTACCTGAGGAATAAGCCACGGCTTACTACGTG
CCAGCAGCCGCGTAATACGTAGGTGGCAAGCGTTGTCCG
GATTTACTGGGCGTAAAGAGCGCGCAGGCGGTCTTCAAG
TCGGATGTGAAATCCCCCGGCTCAACTGGGGGGCGTCATT
CGATACTGATCGACTTGAAGGCAGGAGAGGGAAGCGGAA
TTCCCGGTGTAGTGGTGAATCGGTAGATATCGGGAGGAA
CACCAGTGGCGAAGCGCGCTTCCCTGGCCTGTTCTTGACGC
TGAGGCGCGAAGCCAGGGGAGCAAACGGGATTAGATACC
CCGGTAGTC
```

Dizilemesi yapılan örneklerin metagenomik analizi yapıldı. Metagenomik analizin bir aşaması olan çoklu okuma sonuçlarının biyolojik örneklere atanması basamağında elde edilen, dizilenen her bir örneğe ait barkod okuma sayısı Tablo 5'te gösterilmiştir. Çoklu okuma sayısı, dizileme sırasında eklenen her bir örneğe özgü barkod dizilerinin, o örnek içinde okunma sayısıdır. Bu nedenle çoklu okuma sayısı, her bir örnek içinde bulunan farklı DNA dizisi sayısını vermektedir.

Tablo 5. Her bir örnek için elde edilen barkod okuma sayısı.

| Örnek Kodu | Örnek Adı | Okuma Sayısı |
|------------|--------------------------|--------------|
| 1A | 453 HTJ 3 | 191864 |
| 2A | Kuzeydoğu Genişleme V | 98511 |
| 3Y | 490 iskelet seviyesi | 51500 |
| 4A | 493 iskelet seviyesi | 53471 |
| 5A | 480 iskelet seviyesi | 84957 |
| 6A | 486 iskelet seviyesi | 42453 |
| 7A | 487 iskelet seviyesi | 123523 |
| 8A | 486 mezar hediyesi HUI 5 | 48965 |

Örneklerin DNA dizilerinin metagenomik analizi basamaklarında OTU'lar belirlendi, her bir OTU'yu temsil eden diziler belirlendi ve sonuç olarak her bir temsilci dizinin taksonomik atanması yapıldı. Elde edilen sonuçlar farklı taksonomik basamaklara göre ayrılarak, örneklerdeki mikroorganizma çeşitliliği belirlendi. Taksonomik analizde 8 örnek içerisinde toplam 2 alem, 37 şube, 112 sınıf, 211 takım, 336

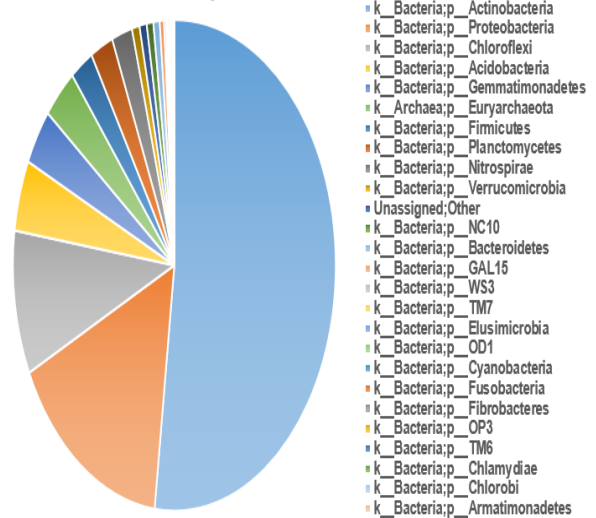
familya, 468 cins ve 505 tür tespit edildi. Greengenes veri tabanı (versiyon 13.8) kullanılarak yapılan karşılaştırmada herhangi bir taksonomik eşleşmenin yapılamadığı (unassigned) mikroorganizmaların yüzdesi ise her örnek için farklı değerlerdedir.

Taksonomik analiz sonuçları bir tablo yapılarak, her bir örnekte görülen mikroorganizmaların taksonomik bilgileri ve o örnekteki görülme yüzdesi yazıldı. Yapılan taksonomik analiz sonucunda elde edilen mikroorganizma şube bilgileri kullanılarak her bir örnek için tablo (Tablo 6-13) ve grafikler (Şekil 3-10) çizildi.

Tablo 6. 1A-453 No'lu Mezar Hediyesi HTJ 3 örneğinin şube bazında mikroorganizma oranları.

| Alem-Şube Adı | Oran (%) |
|-------------------------------|----------|
| k_Bacteria;p_Actinobacteria | 51,932 |
| k_Bacteria;p_Proteobacteria | 15,841 |
| k_Bacteria;p_Chloroflexi | 9,464 |
| k_Bacteria;p_Acidobacteria | 4,673 |
| k_Bacteria;p_Gemmatimonadetes | 3,695 |
| k_Archaea;p_Euryarchaeota | 3,449 |
| k_Bacteria;p_Firmicutes | 2,322 |
| k_Bacteria;p_Planctomycetes | 2,286 |
| k_Bacteria;p_Nitrospirae | 2,057 |
| k_Bacteria;p_Verrucomicrobia | 0,769 |
| Unassigned;Other | 0,721 |
| k_Bacteria;p_NC10 | 0,665 |
| k_Bacteria;p_Bacteroidetes | 0,632 |
| k_Bacteria;p_GAL15 | 0,430 |
| k_Bacteria;p_WS3 | 0,205 |
| k_Bacteria;p_TM7 | 0,150 |
| k_Bacteria;p_Elusimicrobia | 0,148 |
| k_Bacteria;p_OD1 | 0,121 |
| k_Bacteria;p_Cyanobacteria | 0,096 |
| k_Bacteria;p_Fusobacteria | 0,079 |
| k_Bacteria;p_Fibrobacteres | 0,061 |
| k_Bacteria;p_OP3 | 0,060 |
| k_Bacteria;p_TM6 | 0,033 |
| k_Bacteria;p_Chlamydiae | 0,028 |
| k_Bacteria;p_Chlorobi | 0,021 |
| k_Bacteria;p_Armatimonadetes | 0,019 |

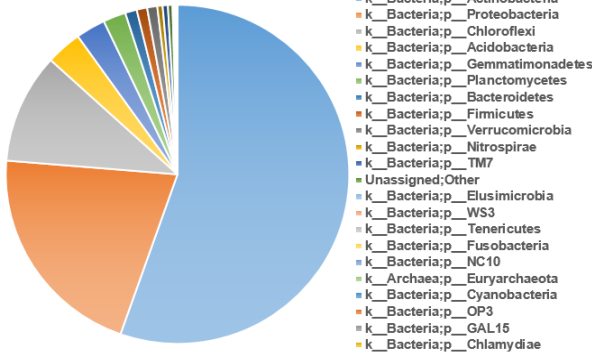
1A-453 Mezar Hediyesi HTJ 3



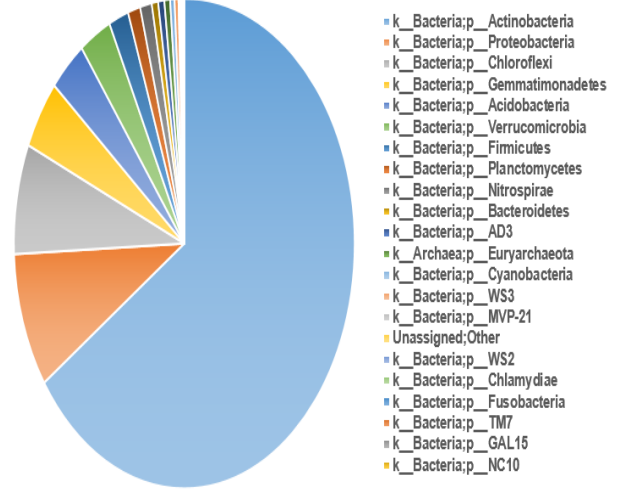
Şekil 3. 1A-453 No'lu Mezar Hediyesi HTJ 3 örneğinin şube bazında mikroorganizma oranları grafiği.

Tablo 7. 2A-Kuzeydoğu Genişleme V, depolama amaçlı pithos örneğinin şube bazında mikroorganizma oranları.

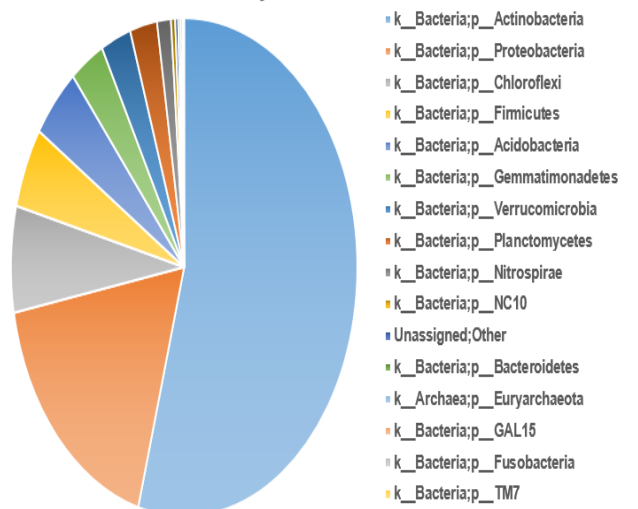
| Alem-Şube | Oran (%) |
|-------------------------------|----------|
| k_Bacteria;p_Actinobacteria | 55,383 |
| k_Bacteria;p_Proteobacteria | 20,898 |
| k_Bacteria;p_Chloroflexi | 10,482 |
| k_Bacteria;p_Acidobacteria | 3,370 |
| k_Bacteria;p_Gemmatimonadetes | 2,793 |
| k_Bacteria;p_Planctomycetes | 2,139 |
| k_Bacteria;p_Bacteroidetes | 1,093 |
| k_Bacteria;p_Firmicutes | 0,986 |
| k_Bacteria;p_Verrucomicrobia | 0,956 |
| k_Bacteria;p_Nitrospirae | 0,500 |
| k_Bacteria;p_TM7 | 0,491 |
| Unassigned;Other | 0,429 |
| k_Bacteria;p_Elusimicrobia | 0,088 |
| k_Bacteria;p_WS3 | 0,072 |
| k_Bacteria;p_Tenericutes | 0,063 |
| k_Bacteria;p_Fusobacteria | 0,057 |
| k_Bacteria;p_NC10 | 0,043 |
| k_Archaea;p_Euryarchaeota | 0,033 |
| k_Bacteria;p_Cyanobacteria | 0,033 |
| k_Bacteria;p_OP3 | 0,028 |
| k_Bacteria;p_GAL15 | 0,024 |
| k_Bacteria;p_Chlamydiae | 0,022 |

2A- Kuzeydoğu Genişleme V, Pithos**Şekil 4.** 2A-Kuzeydoğu Genişleme V, depolama amaçlı pithos örneğinin şube bazında mikroorganizma oranları grafiği.**Tablo 8.** 3Y-490 No'lu mezar iskelet seviyesi örneğinin şube bazında mikroorganizma oranları.

| Alem-Şube | Oran (%) |
|-------------------------------|----------|
| k_Bacteria;p_Actinobacteria | 65,377 |
| k_Bacteria;p_Proteobacteria | 8,923 |
| k_Bacteria;p_Chloroflexi | 7,264 |
| k_Bacteria;p_Gemmatimonadetes | 4,591 |
| k_Bacteria;p_Acidobacteria | 3,539 |
| k_Bacteria;p_Verrucomicrobia | 3,051 |
| k_Bacteria;p_Firmicutes | 1,880 |
| k_Bacteria;p_Planctomycetes | 1,182 |
| k_Bacteria;p_Nitrospirae | 1,108 |
| k_Bacteria;p_Bacteroidetes | 0,611 |
| k_Bacteria;p_AD3 | 0,584 |
| k_Archaea;p_Euryarchaeota | 0,546 |
| k_Bacteria;p_Cyanobacteria | 0,414 |
| k_Bacteria;p_WS3 | 0,372 |
| k_Bacteria;p_MVP-21 | 0,148 |
| Unassigned;Other | 0,139 |
| k_Bacteria;p_WS2 | 0,087 |
| k_Bacteria;p_Chlamydiae | 0,047 |
| k_Bacteria;p_Fusobacteria | 0,045 |
| k_Bacteria;p_TM7 | 0,043 |
| k_Bacteria;p_GAL15 | 0,025 |
| k_Bacteria;p_NC10 | 0,011 |

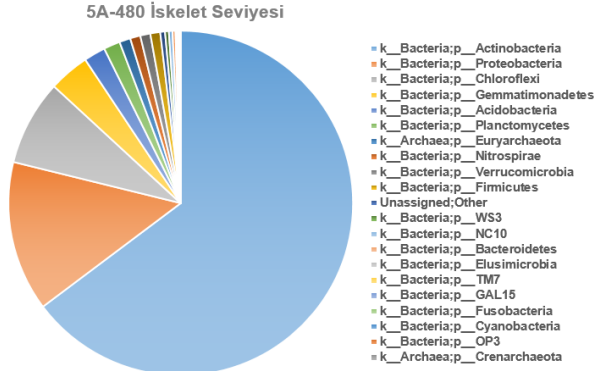
3Y-490 İskelet Seviyesi**Şekil 5.** 3Y-490 No'lu mezar iskelet seviyesi örneğinin şube bazında mikroorganizma oranları grafiği.**Tablo 9.** 4A-493 No'lu mezar iskelet seviyesi örneğinin şube bazında mikroorganizma oranları.

| Alem-Şube | Oran (%) |
|-------------------------------|----------|
| k_Bacteria;p_Actinobacteria | 54,273 |
| k_Bacteria;p_Proteobacteria | 17,783 |
| k_Bacteria;p_Chloroflexi | 6,885 |
| k_Bacteria;p_Firmicutes | 5,226 |
| k_Bacteria;p_Acidobacteria | 4,710 |
| k_Bacteria;p_Gemmatimonadetes | 3,232 |
| k_Bacteria;p_Verrucomicrobia | 2,816 |
| k_Bacteria;p_Planctomycetes | 2,541 |
| k_Bacteria;p_Nitrospirae | 1,293 |
| k_Bacteria;p_NC10 | 0,393 |
| Unassigned;Other | 0,281 |
| k_Bacteria;p_Bacteroidetes | 0,206 |
| k_Archaea;p_Euryarchaeota | 0,197 |
| k_Bacteria;p_GAL15 | 0,057 |
| k_Bacteria;p_Fusobacteria | 0,055 |
| k_Bacteria;p_TM7 | 0,034 |

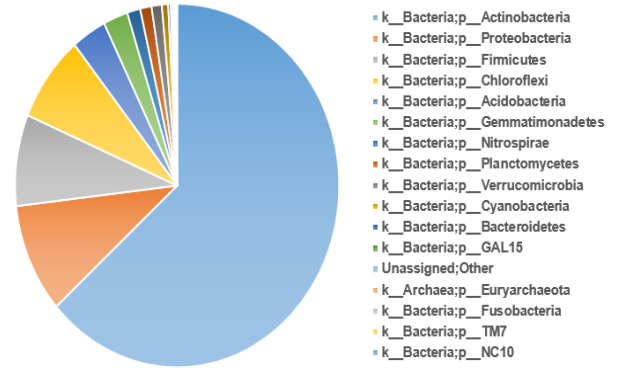
4A-493 İskelet Seviyesi**Şekil 6.** 4A-493 No'lu mezar iskelet seviyesi örneğinin şube bazında mikroorganizma oranları grafiği.

Tablo 10. 5A-480 No'lu mezar iskelet seviyesi örneğinin şube bazında mikroorganizma oranları.

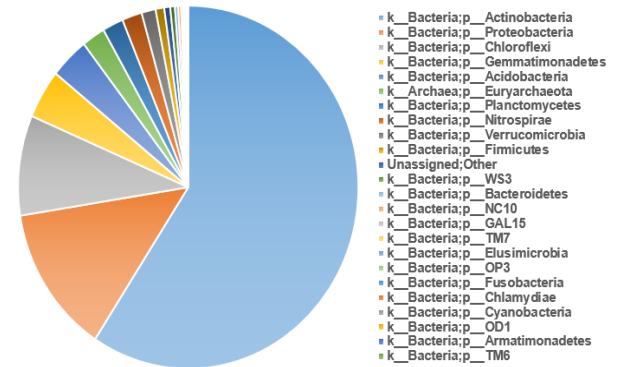
| Alem-Şube | Oran (%) |
|-------------------------------|----------|
| k_Bacteria;p_Actinobacteria | 64,742 |
| k_Bacteria;p_Proteobacteria | 14,089 |
| k_Bacteria;p_Chloroflexi | 8,007 |
| k_Bacteria;p_Gemmatimonadetes | 3,807 |
| k_Bacteria;p_Acidobacteria | 2,030 |
| k_Bacteria;p_Planctomycetes | 1,541 |
| k_Archaea;p_Euryarchaeota | 1,039 |
| k_Bacteria;p_Nitrospirae | 0,957 |
| k_Bacteria;p_Verrucomicrobia | 0,948 |
| k_Bacteria;p_Firmicutes | 0,928 |
| Unassigned;Other | 0,449 |
| k_Bacteria;p_WS3 | 0,352 |
| k_Bacteria;p_NC10 | 0,336 |
| k_Bacteria;p_Bacteroidetes | 0,278 |
| k_Bacteria;p_Elusimicrobia | 0,144 |
| k_Bacteria;p_TM7 | 0,133 |
| k_Bacteria;p_GAL15 | 0,084 |
| k_Bacteria;p_Fusobacteria | 0,072 |
| k_Bacteria;p_Cyanobacteria | 0,028 |
| k_Bacteria;p_OP3 | 0,017 |
| k_Archaea;p_Crenarchaeota | 0,010 |

**Şekil 7.** 5A-480 No'lu mezar iskelet seviyesi örneğinin şube bazında mikroorganizma oranları grafiği.**Tablo 11.** 6A-486 No'lu mezar iskelet seviyesi örneğinin şube bazında mikroorganizma oranları.

| Alem-Şube | Oran (%) |
|-------------------------------|----------|
| k_Bacteria;p_Actinobacteria | 63,392 |
| k_Bacteria;p_Proteobacteria | 9,788 |
| k_Bacteria;p_Firmicutes | 8,130 |
| k_Bacteria;p_Chloroflexi | 7,774 |
| k_Bacteria;p_Acidobacteria | 3,464 |
| k_Bacteria;p_Gemmatimonadetes | 2,458 |
| k_Bacteria;p_Nitrospirae | 1,312 |
| k_Bacteria;p_Planctomycetes | 1,137 |
| k_Bacteria;p_Verrucomicrobia | 1,023 |
| k_Bacteria;p_Cyanobacteria | 0,630 |
| k_Bacteria;p_Bacteroidetes | 0,244 |
| k_Bacteria;p_GAL15 | 0,189 |
| Unassigned;Other | 0,151 |
| k_Archaea;p_Euryarchaeota | 0,141 |
| k_Bacteria;p_Fusobacteria | 0,093 |
| k_Bacteria;p_TM7 | 0,050 |
| k_Bacteria;p_NC10 | 0,011 |

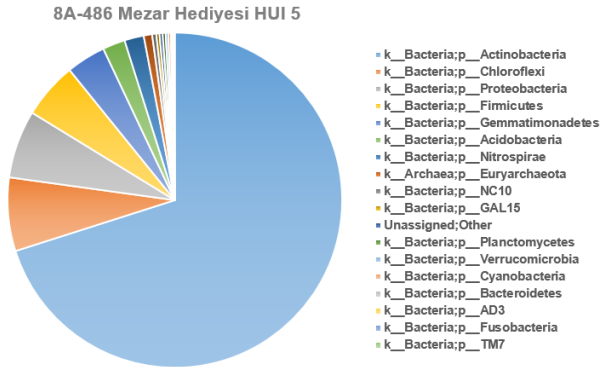
6A-486 İskelet Seviyesi**Şekil 8.** 6A-486 No'lu mezar iskelet seviyesi örneğinin şube bazında mikroorganizma oranları grafiği.**Tablo 12.** 7A-487 No'lu mezar iskelet seviyesi örneğinin şube bazında mikroorganizma oranları.

| Alem-Şube | Oran (%) |
|-------------------------------|----------|
| k_Bacteria;p_Actinobacteria | 59,193 |
| k_Bacteria;p_Proteobacteria | 13,268 |
| k_Bacteria;p_Chloroflexi | 8,918 |
| k_Bacteria;p_Gemmatimonadetes | 4,366 |
| k_Bacteria;p_Acidobacteria | 3,698 |
| k_Archaea;p_Euryarchaeota | 2,215 |
| k_Bacteria;p_Planctomycetes | 1,988 |
| k_Bacteria;p_Nitrospirae | 1,890 |
| k_Bacteria;p_Verrucomicrobia | 1,341 |
| k_Bacteria;p_Firmicutes | 0,820 |
| Unassigned;Other | 0,566 |
| k_Bacteria;p_WS3 | 0,441 |
| k_Bacteria;p_Bacteroidetes | 0,305 |
| k_Bacteria;p_NC10 | 0,271 |
| k_Bacteria;p_GAL15 | 0,178 |
| k_Bacteria;p_TM7 | 0,124 |
| k_Bacteria;p_Elusimicrobia | 0,108 |
| k_Bacteria;p_OP3 | 0,066 |
| k_Bacteria;p_Fusobacteria | 0,049 |
| k_Bacteria;p_Chlamydiae | 0,038 |
| k_Bacteria;p_Cyanobacteria | 0,038 |
| k_Bacteria;p_OD1 | 0,033 |
| k_Bacteria;p_Armatimonadetes | 0,029 |
| k_Bacteria;p_TM6 | 0,015 |

7A-487 İskelet Seviyesi**Şekil 9.** 7A-487 No'lu mezar iskelet seviyesi örneğinin şube bazında mikroorganizma oranları grafiği.

Tablo 13. 8A-486 No'lu mezar hediyesi HUI 5 örneğinin şube bazında mikroorganizma oranları.

| Alem-Şube | Oran (%) |
|-------------------------------|----------|
| k_Bacteria;p_Actinobacteria | 70,081 |
| k_Bacteria;p_Chloroflexi | 7,088 |
| k_Bacteria;p_Proteobacteria | 6,560 |
| k_Bacteria;p_Firmicutes | 5,426 |
| k_Bacteria;p_Gemmatimonadetes | 3,804 |
| k_Bacteria;p_Acidobacteria | 2,172 |
| k_Bacteria;p_Nitrospirae | 1,873 |
| k_Archaea;p_Euryarchaeota | 0,811 |
| k_Bacteria;p_NC10 | 0,395 |
| k_Bacteria;p_GAL15 | 0,311 |
| Unassigned;Other | 0,297 |
| k_Bacteria;p_Planctomycetes | 0,292 |
| k_Bacteria;p_Verrucomicrobia | 0,252 |
| k_Bacteria;p_Cyanobacteria | 0,245 |
| k_Bacteria;p_Bacteroidetes | 0,157 |
| k_Bacteria;p_AD3 | 0,126 |
| k_Bacteria;p_Fusobacteria | 0,065 |
| k_Bacteria;p_TM7 | 0,033 |

**Şekil 10.** 8A-486 No'lu mezar hediyesi HUI 5 örneğinin şube bazında mikroorganizma oranları grafiği.

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışma için alınan toplam 8 farklı örneğin DNA izolasyonu, toprak örneklerinden DNA izolasyonu için tasarlan Soil DNA Isolation Kit (Norgen Biotek, Ontario, Kanada, Katalog no: 26500) kullanılarak yapıldı ve izole edilen DNA miktarları spektrofotometrik ölçüm yapılarak tespit edildi. Elde edilen DNA konsantrasyonları ortalama yaklaşık 10 ng/ μ l'dir (Tablo 4). Bu kit ile yapılan toprak izolasyonlarında DNA konsantrasyon değerlerinin yaklaşık olarak 20-25 ng/ μ l aralığında görülmesi beklenmektedir [12]. Örneklerden izole edilen DNA konsantrasyon değerleri, beklenen değerlerden düşük çıkmıştır. Bu durumun, örneklerin yaklaşık 2000-2500 yıllık mezarlardan alınmış olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çalışma kapsamında DNA izolasyonu yapılan örneklerin 16S rRNA genlerinin V3-V4 bölgesi PZR yöntemi ile çoğaltıldı. PZR sonucunda ~460 bç'lik DNA dizileri elde edildi. Benzer yöntemle mikrobiyotadaki farklılığın tespit edildiği Cho ve diğ.'nin (2019) yaptığı çalışmada, Hepatosellüler Karsinom ve Siroz hastalarından alınan kan örneklerinden izole edilen DNA'ların 16S rRNA genlerinin V3-V4 bölgesi

çoğaltılmıştır ve bu hastaların kanlarındaki mikrobiyal çeşitlilik tespit edilmiştir [13]. Hepatosellüler Karsinom hastalarının mikrobiyal çeşitliliğinin, siroz hastalarına ve kontrol grubuna göre önemli ölçüde farklılık gösterdiği ve Hepatosellüler Karsinom hastalarında bulunan bazı mikroorganizmaların potansiyel biyobelirteçler olabileceği belirtilmiştir.

Bu çalışmada, DNA izolasyonu yapılan ve PZR yöntemi ile 16S rRNA V3-V4 bölgeleri çoğaltılan örnekler Illumina MiSeq sistemi ile dizilendi ve ~460 bç uzunluğunda diziler elde edildi. Batı Sicilya'da keşfedilen Arkaik Monte Iato'daki bir yapıdan alınan toprak örneklerinin dizilemesi de Illumina MiSeq sistemi kullanılarak yapılmıştır [14]. Yemek atığı imha edilen alandan ve şömineden alınan toprak örneklerindeki mikroorganizma çeşitliliği kıyaslanmıştır. Şömineden alınan toprak örneklerindeki mikroorganizmaların karboksilik ve asetik asitleri metabolize ettiği, yemek atığı imha edilen alandan alınan toprak örneklerindeki mikroorganizmaların ise karbonhidratları metabolize ettiği tespit edilmiştir.

Bu çalışmada, Illumina MiSeq sistemi kullanılarak fasta ve qual formatında elde edilen dizilerin metagenomik analizi QIIME 1.9.1 versiyonu kullanılarak yapıldı. Metagenomik analiz sonucunda 8 örnek içerisinde toplam 2 alem, 37 şube, 112 sınıf, 211 takım, 336 aile, 468 cins ve 505 tür tespit edildi. Taksonomik analiz sonucunda tespit edilen mikroorganizma şubeleri bu çalışma kapsamında değerlendirildi (Tablo 6-13, Şekil 3-10). Kim ve diğ.'nin (2018) Çin lahanası üzerindeki patojen mikroorganizmaları tespit etmeyi amaçladığı çalışmada, Illumina MiSeq sistemi kullanılarak elde edilen dizileme verilerinin metagenomik analizlerini QIIME ile yapılmıştır ve sonucunda bütün örneklerden toplam 29 şube, 169 takım, 322 aile ve 767 cins tespit edilmiştir [15].

Çalışma kapsamında elde edilen taksonomik analiz sonuçlarına göre, dizilenen 8 örnekte görülen en yüksek mikroorganizma yoğunluğu Actinobacteria şubesinde tespit edildi. Toprak ve su ekosistemlerinde farklı türleri bulunan Actinobacteria, toprakta daha çok mantar gibi davranarak organik maddelerin bitkiler tarafından kullanılabilmesi için parçalanmasını sağlar. Bu nedenle tarım ve orman ekosisteminde oldukça önemli bir yere sahiptir. Actinobacteria'nın diğer bakterilerden evrimsel olarak ayrışması daha eskiye dayanmaktadır. Bu da filogenetik olarak yakın olan bakterilerin tespit edilmesini imkansız kılmaktadır [16]. Antandros Antik kenti nekropolü hem mezarlık olarak hem de yerleşim alanı olarak yaklaşık 700 yıl aralıksız kullanılmıştır [2]. Elde edilen bulgular sonucunda yerleşim alanı olarak kullanıldığı dönemde, bu alanın tarım alanı olarak da kullanılmış olabileceği düşünülmektedir. Aynı zamanda nekropolün bulunduğu konumun

çevresinin günümüzde zeytin ağaçları ile kaplı olması bu bakteri şubesinin yoğun görülme nedenini açıklar niteliktedir. Actinobacteria'nın uzun yıllar önce evrimleşmiş olduğu göz önünde bulundurulduğunda ise, Antandros Antik kenti nekropolünün mezarlık ya da yerleşim alanı olarak kullanılmadan önce de bu alanın zeytin ağaçlarıyla kaplı ormanlık bir alan olabileceği düşünülmektedir.

Elde edilen taksonomik verilerde Actinobacteria'dan sonra en yoğun görülen şube Proteobacteria'dır. Proteobacteria, birçok insan patojen türü içerdiği bilinen büyük bakteriyel şubelerden biridir. Sadece bağırsakta değil, ekstraintestinal hastalıklarda da rol oynadığı yapılan çalışmalarla ortaya konulmuştur. Daha güncel çalışmalar astım ve kronik obstrüktif akciğer hastalığı gibi akciğer hastalıklarında da rol oynadığını göstermektedir [17]. Bu patojen türlerini içeren Proteobacteria şubesi, bu bölgede bu patojenlerden kaynaklı hastalıkların geçmiş dönemde yaşanmış olma ihtimalini düşündürmektedir. Bununla birlikte, nekropolün tepenin yamacına konumlanmış olması dolayısıyla, yağmur suları ve erozyonla birlikte nekropoldeki toprak katmanlarının zamanla birbirine karışmış olduğu düşünülmektedir [2]. İnsan patojenleri ile ilişkilendirilen bu bakteri şubesinin sadece iskelet seviyesi örneklerinde değil, bütün örneklerde yüksek miktarda tespit edilmesinin sebebinin yağmur suları ve erozyon olabileceği düşünülmektedir.

Alınan toprak örneklerinden izole edilen mikroorganizma oranlarının yüksek oranda görüldüğü Chloroflexi, Acidobacteria, Gemmatimonades, Firmicutes şubeleri ise, reaksiyon bazlı fototropi ile ilişkilendirilen şubelerdir. Hatta patojen olmayan bazı Proteobacteria türleri de bu gruba dahildir. Fotosentezin evrimsel sürecine bakıldığında bu şubelere ait türlerin ışık duyarlılığıyla karbon döngüsü yapabildiği görülmüştür. Buna reaksiyona bağlı fototropi denilmektedir. Bu nedenle bu şubeler fotosentez mekanizması ile ilişkilendirilmektedir [18]. Bu fotosentez mekanizmasının evrimi ile ilişkilendirilen bakteri şubeleri, yine tarım alanları ve ormanların çeşitli dönemlerde nekropol alanında bulunmuş olabileceğini düşündürmektedir.

Bütün örneklerde belirli miktarlarda tespit edilmiş olan Planctomycetes ve Nitrospirae şubeleri ise, deniz sularında bulunan mikroorganizmalardır. Her iki şube de azot döngüsünde önemli rol oynarlar ve deniz sularındaki önemli nitrik oksitleyicilerdendir [19,20]. Bu iki şubenin, ele alınan diğer mikroorganizmalardan daha az oranda tespit edilmesi ve nekropolün deniz seviyesine çok yakın bir konumda bulunması, nekropolün yerleşim alanı ya da mezarlık olarak kullanılmadan önce sular altında olabileceğini ve zamanla bu deniz suyunun çekilip nekropolün günümüzdeki halini almış olabileceğini düşündürmektedir.

Elde edilen taksonomik verilerin en çarpıcı olanı ise, her örnekte farklı yoğunlukta tespit edilen arke şubesi Euryarchaeota'dır. Dizilemesi yapılan örnekler içerisinde en yüksek Euryarchaeota oranı 1A-453 No'lu mezar hediyesi HTJ 3'te görüldü (Tablo 6). Euryarchaeota, yüksek sıcaklık değerlerinde, tuz oranı yüksek ortamlarda ya da pH değeri çok düşük ortamlarda görülebilmektedir. Bu nedenle bu şubede, termofilik ve asidofilik türler bulundurmaktadır [21]. Arkeolojik bulgulara bakıldığında ise bu mezarın bir kremasyon mezar olduğu görülmektedir. Euryarchaeota şubesinin termofilik olması ve mezarın gömü çeşidinin kremasyon olması, iki farklı disiplinden elde edilen bulguların birbirini desteklediğini gösterir niteliktedir. Diğer bir kremasyon mezar olan 486 No'lu mezara ait mezar hediyesi HUI 5'te tespit edilen Euryarchaeota, o örnek içerisinde yüksek oranda görülen şubeler arasındadır (Tablo 13). Kremasyon olmayan 5A-480 No'lu (Tablo 10) ve 7A-487 No'lu (Tablo 12) mezarların iskelet seviyesi örneklerinde de, diğer örneklerle kıyasla yüksek oranda Euryarchaeota tespit edildi. Bu bulgu ise, bu iki mezarın üst seviyesinde ya da yakınlarında kremasyon mezar olabileceği ya da çıkabileceği ihtimalini düşündürmektedir.

Elde edilen taksonomik sonuçlarda alem basamağında tespit edilen mikroorganizmaların, 1-A 453 HTJ 3 örneğinde %0.72'sinin, 2A-Kuzeydoğu Genişleme V Pithos örneğinde %0.43'ünün, 3Y-490 iskelet seviyesi örneğinde %0.14'ünün, 4A-493 iskelet seviyesi örneğinde %0.28'inin, 5A-480 iskelet seviyesi örneğinde %0.45'inin, 6A-486 iskelet seviyesi örneğinde %0.15'inin, 7A-487 iskelet seviyesi örneğinde %0.56'sının, 8A-486 HUI 5 örneğinde %0.3'ünün kullanılan veri tabanında (Greengenes 13.8) kayıtlı mikroorganizmalardan herhangi biriyle eşleşmediği görüldü (Tablo 6 - Tablo 13). Metagenomik çalışmalarla elde edilen verilerin, mevcut veri tabanlarına katkı sunması, yeni keşfedilecek mikroorganizmalarla bu veri tabanlarında tanımlanamayan mikroorganizmaların oranlarını azaltması beklenmektedir.

Bu çalışma kapsamında, Balıkesir/Antandros Antik Kenti nekropolünün mikrobiyal çeşitliliği tespit edildi. Tez kapsamında elde edilen bulgular, arkeolojik bulguları destekler niteliktedir. Antandros Antik Kenti nekropolünün mikrobiyal çeşitliliğinin daha geniş bir perspektifle anlaşılması için, bu alanda yeni metagenomik çalışmaların yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu alanda yapılacak olan metagenomik çalışmalar sayesinde, elde edilecek yeni verilerle bölgenin geçmişine dair daha kapsamlı çıkarımların yapılması mümkün olacaktır. Bununla birlikte, mevcut veritabanlarında tanımlanamayan yeni mikroorganizmaların keşfine olanak sağlayacaktır. Bu çalışma, Türkiye'deki antik kentlerin mikrobiyal çeşitliliğinin belirlenmesi için yapılan ilk metagenomik çalışmadır ve bu alanda yapılacak yeni çalışmalara öncü olacak niteliktedir.

Teşekkür

Bu çalışma, İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliğinin 22680 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

Projeye sunduğu katkılardan ve verdiği desteklerden dolayı İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne ve Antandros Antik Kenti kazı ekibine teşekkür ederiz.

Etik Beyanı

Bu çalışmada, "Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi" kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin "Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler" başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederiz.

Kaynakça

- [1] Polat, G. 2002. Antandros 2001 Kazıları. 24. Kazı Sonuçları Toplantısı, 27-31 Mayıs, Ankara, T.C. Kültür Bakanlığı Yayınları, 21-30.
- [2] Yağız, K. 2009. Antandros nekropolisi hellenistik dönem mezar tipleri. Adıyaman Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 2(2), 136-144.
- [3] Rivera-Perez, J. I., Santiago-Rodriguez, T. M., Toranzos G. A. 2016. Paleomicrobiology: a snapshot of ancient microbes and approaches to forensic microbiology. *Microbiology Spectrum*, 4(4), 1-14.
- [4] Kolbert, C., Persing, D. 1999. Ribosomal DNA sequencing as a tool for identification of bacterial pathogens. *Current Opinion in Microbiology*, 2, 299-305.
- [5] Petrosino, J. F., Highlander, S., Luna, R. A., Gibbs, R. A., Versalovic, J. 2009. Metagenomic Pyrosequencing and Microbial Identification. *Clinical Chemistry*, 55(5), 856-866.
- [6] Alves, L. F., Westmann, C. A., Lovate, G. L., Siqueira, G. M. V., Borelli, T. C., Guazzaroni, M. E. 2018. Metagenomic approaches for understanding new concepts in microbial science. *International Journal of Genomics*, 1-15.
- [7] Culligan, E. P., Sleator, R. D., Marchesi J. R., Hill C. 2014. Metagenomics and Novel Gene Discovery. *Virulence*, 5(3), 399-412.
- [8] Oulas, A., Pavludi, C., Polymenakou, P., Pavlopoulos, G. A., Papanikolaou, N., Kotoulas, G., Arvanitidis, C., Iliopoulos, I. 2015. Metagenomics: tools and insights for analyzing next-generation sequencing data derived from biodiversity studies. *Libertas Academica*, 9, 75-88.
- [9] Kuczynski, J., Stombaugh, J., Walters, W. A., González, A., Caporaso, G. J., Knight, R. 2011. Using QIIME to analyze 16S rRNA gene sequences from microbial communities. *Current Protocols in Bioinformatics*, 36(1), 1-20.
- [10] Klindworth, A., Pruesse, E., Schweer, T., Peplies, J., Quast, C., Horn, M., Glöckner, F. O. 2013. Evaluation of general 16S ribosomal RNA gene PCR primers for classical and next-generation sequencing-based diversity studies. *Nucleic Acids Research*, 41(1), 1-11.
- [11] 16S Metagenomic Sequencing Library Preparation. https://support.illumina.com/documents/documentation/chemistry_documentation/16s/16s-metagenomic-library-prep-guide-15044223-b.pdf (Erişim Tarihi: 11.04.2019).
- [12] Soil DNA Isolation Plus Kit. [https://norgenbiotek.com/sites/default/files/fl_yers/Soil-DNA-Plus-Kit.pdf](https://norgenbiotek.com/sites/default/files/files/fl_yers/Soil-DNA-Plus-Kit.pdf) (Erişim Tarihi: 06.06.2019).
- [13] Cho, E. J., Leem, S, Kim, S. A., Yang, J., Lee, Y. B., Kim, S. S., Cheong, J. Y., Cho, S. W., Kim, J. W., Kim, S. M., Yoon, J. H., Park, T. 2019. Circulating microbiota-Based metagenomic signature for detection of hepatocellular carcinoma. *Scientific Reports*, 9(1), 1-8.
- [14] Margesin, R., Siles, J. A., Cajthaml, T., Öhlinger, B., Kistler, E. 2017. Microbiology meets archaeology: soil Microbial communities reveal different human activities at archaic monte iato (Sixth century BC). *Microbial Ecology*, 73(4), 925-938.
- [15] Kim, D., Hong, S., Kim, Y. T., Ryu, S., Kim, H. B., Lee, J. H. 2018. Metagenomic approach to identifying foodborne pathogens on chinese cabbage. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 28(2), 227-235.
- [16] Ventura, M., Canchaya, C., Tauch, A., Chandra, G., Fitzgerald, G. F., Chater, K. F., van Sinderen, D. 2007. Genomics of actinobacteria: tracing the evolutionary history of an ancient phylum. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 71(3), 495-548.
- [17] Rizzatti, G., Lopetuso, L. R., Gibiino, G., Binda, C., Gasbarrini, A. 2017. Proteobacteria: a common factor in human diseases. *BioMed Research International*, 9, 1-7.
- [18] Ward, L. M., Hemp, J., Shih, P. M., McGlynn, S. E., Fischer, W. W., 2018. Evolution of phototrophy in the chloroflexi phylum driven by horizontal gene transfer. *Frontiers in Microbiology*, 9(260), 1-16.
- [19] Garrity G. M., Holt, J. G. 2001. Phylum BVIII. Nitrospirae phy. nov. ss 451-464. Boone, D. R. et al. (eds.) 2001. *Bergey's Manual® of Systematic Bacteriology*, Springer Science+Business Media, New York.

[20] Fuerst, J. A., Sagulenko E. 2011. Beyond the bacterium: planctomycetes challenge our concepts of microbial structure and function. *Nature Reviews Microbiology*, 9, 403–413.

[21] Euryarchaeota, <http://www.bilimtekNIK.tubitak.gov.tr/sites/default/files/bilgipaket/canlilar/moNERA/euryarchaeota.htm> (Erişim Tarihi: 08.05.2019).

Geleneksel Sille Evleri'nde Enerji Etkin Mimari Çözümlerin İncelenmesi

Havva Gamze KÖZOĞLU*¹, Fatih CANAN¹, Mustafa KORUMAZ¹

¹Konya Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, 42150, Konya, Türkiye

(Alınış / Received: 23.10.2020, Kabul / Accepted: 26.11.2021, Online Yayınlanma / Published Online: 20.04.2022)

Anahtar Kelimeler

Enerji etkin tasarım,
Geleneksel konut,
Sille,
Sürdürülebilirlik

Özet: Çevre ve enerji sorunlarının hızla çoğaldığı günümüz şartlarında, önemli miktarda enerji harcayarak çevresel problemlere neden olan bina tasarımlarında, sürdürülebilir çevreler oluşturmanın ve enerjiyi etkin kullanmanın olanakları aranmaktadır. Geleneksel yapı teknikleri ile inşa edilmiş, doğal ve yerel malzemeler kullanıldığı yerel mimari uygulamalar, geçmişten günümüze çevreye duyarlı ve enerjinin etkin kullanımına ilişkin çözümler sunmuşlardır. Eski dönemlerden bu yana yerleşim alanı olan Anadolu'da, çevresel etkenler göz önüne alınarak tasarlanmış birçok geleneksel yapı bulunmaktadır. Bu bağlamda, çalışmada geleneksel konutlarının enerji etkin davranışlarının incelenmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla yüzyıllardır birçok medeniyetlere ev sahipliği yapmış Konya kentinin günümüzde merkez mahallelerinden olan Sille'de ki tarihi evlerin yapısal özellikleri ile enerji etkinliğinin incelenmesi amaçlanmıştır. Çalışma alanından seçilen evlerin Bina Enerji Performansı Yazılımı (BEPTR) Programı yardımıyla yıllık enerji tüketim miktarları hesaplanmıştır. Çıkan sonuçlar karşılaştırılarak yıllık enerji tüketim miktarlarına etki eden etmenler değerlendirilmiştir. Çalışma sonucu Sille bölgesinde aynı iklim ve geometri ile oluşturulan referans binalar ile geleneksel evlerin yıllık enerji tüketim miktarları ve enerji sınıfları birbirine yakın sonuçlar göstermiştir. Geleneksel evlerin yapıldığı dönemdeki mekanik sistem ve günümüz binalardaki mekanik sistemler arası enerji tüketim değerlerinde farklılık göz önüne alınırsa, bulunan enerji tüketim değeri ve sınıfının referans bina ile yakın olması, geleneksel evlerin yapımında ve kullanımında enerjiyi etkin kullanma çabasının var olduğunu göstermektedir. Bu yönüyle geleneksel evlerin mimarlara yol gösterebilecek önemli veriler sunduğu ve bu veriler temel alınarak erişilen enerjinin etkin kullanmanın önemi açıklanmıştır. Enerji sorunun çoğalarak arttığı günümüz dünyasında geleneksel mimarinin öğretileri göz önüne alınarak yapılacak tasarımlar sonraki nesillere yaşanabilir çevre oluşturulmasına katkı sağlayacaktır.

Investigation Of Energy Efficient Architectural Solutions in Traditional Sille Houses

Keywords

Energy efficient design,
Traditional housing,
Sille,
Sustainability

Abstract: In today's conditions, by increasing environmental and energy problems, causing environmental problems by consuming energy, ways of using energy effectively and creating environments are sought in building designs. Applications applications realized with sociable and natural content construction style have provided environmentally friendly and energy efficient solutions for centuries. Since ancient times, which is a residential area of Anatolia, Turkey's environmental re environmental factors and climate conditions in different environments located in various geographies revealed a unique architectural design with the appropriate sections. In this context, it is aimed to examine the energy efficient behavior of real residences. It is aimed to examine the climatic characteristics and energy efficiency of the historical houses in Sille, which is one of the central neighborhoods of Konya, which has been home to many civilizations throughout these centuries. As a result of the study, write comparatively the annual energy consumption amounts and energy classes of reference buildings and traditional houses related to the same climate and geometry in the Sille region. The fact that the mechanical system of traditional houses in the period and the energy consumption values between the mechanical systems in today's buildings are close to the reference building, the given energy consumption value and class show that there is an effort to use energy effectively in the construction and use of traditional houses. In this respect, the important information that can guide the architects of traditional houses and the importance of effective use of the basic access to this information are explained.

1. Giriş

Dış ortamın zorlayıcı iklim şartlarından korunma gereksinimi ilk insandan günümüze yerleşme ve barınmanın temelini oluşturmaktadır. İnsanlar yerleşme gereksinimi doğrultusunda barınma alanlarını belirlerken rüzgâr, güneş ve su gibi çevresel öğelerden en elverişli şekilde yararlanma yolunu benimsemişlerdir. Amaç yerleşim birimlerinde, değişen dış ortam koşullarına her dönem uyum sağlayabilecek konfor şartlarını oluşturmaktır. Bu amaç doğrultusunda zamanla oluşturulan tasarımlar konumlandıkları bölgelere ait elverişli konfor koşullarını sağlamışlardır [1].

Zamanla teknolojinin gelişmesi ve konut gereksiniminin çoğalması, tasarlanan yapılarda yüksek enerjili teknolojilerin ve hızlı yapım tekniklerinin seçilmesine sebep olmuştur. Gelişen teknoloji ile birlikte mekanik sistemin daha çok kullanıldığı, yapının tasarlanacağı çevrenin nitelikleri göz önüne alınmadan, geleneksel mimari yerleşim özelliklerinden uzaklaşmış yeni yapıların hızla çoğaldığı kent dokuları oluşmaya başlamıştır. Zamanla teknolojinin gelişmesi ve konut gereksiniminin çoğalması, tasarlanan yapılarda yüksek enerjili teknolojilerin ve hızlı yapım tekniklerinin seçilmesine sebep olmuştur. Gelişen teknoloji ile birlikte mekanik sistemin daha çok kullanıldığı, yapının tasarlanacağı çevrenin nitelikleri göz önüne alınmadan, geleneksel yerleşmeden kopulmuş yeni yapıların hızla oluşturduğu kent dokuları oluşmaya başlamıştır. Kentleşme, sanayileşme ve teknolojik gelişmeler bir yandan toplumlar için daha iyi yaşam koşulları sağlarken, öte yandan doğal kaynakların tükenmesine, ekolojik dengenin bozularak çevre sorunlarının artmasına neden olmuştur [2].

Enerji kaynaklarının hızlı bir şekilde tükenmesi ve sonlu olmasının fark edilmesi nedeniyle önlemler alınmaya başlanmıştır. 1970'li yıllarda yaşanan enerji sorunu, endüstri devrimi sonrasında yoğun şekilde harcanan fosil yakıt kaynaklarının yenilenebilir ve çevre dostu olmadığı, alternatif enerji kaynaklarının değerinin fark edilmesine katkı sağlamıştır. Doğal kaynakların ciddi bir bölümünü tüketerek çevre kirliliğine neden olan yapı sektörü, hammaddenin temini safhasından yapım, kullanım ve yıkım aşamalarında da enerji kullanmaktadır [3].

Geleneksel yapılarda tecrübe ile kazanılan tasarım yaklaşımı ve bilgi birikimleri ile şekillenen enerji etkin çözümler, esasen modern mimarlar için önemli veri kaynakları oluşturmaktadır [4]. Özellikle bu yapılarda çevresel veriler ve bu verilere bağlı olarak enerjinin etkin kullanımı, tasarım kararlarının alınmasında etkili ilkeler olarak ön plana çıkmaktadır [5]. Günümüzde son yıllarda literatür incelendiğinde, dünyanın farklı iklim kuşaklarında var olan geleneksel konut mimarlığının doğa dostu yaklaşımları keşfedilmeye devam edildiği görülmektedir [6].

Geleneksel konut mimarisinde, yani terminolojik anlamda diğer yaygın ismi olan vernaküler mimaride, yönlendirme, konumlandırma ve biçimlendirme gibi ana tasarım ilkeleri, güneşlenme durumu, hâkim rüzgâr, sıcaklık, nem ve yağış gibi faktörler dikkate alınarak belirlendiği görülmektedir [7]. Geleneksel mimaride kullanılan bu gibi tasarım stratejileri enerji ihtiyacını azaltmaktadır [8].

Dünya'da ve Türkiye'nin çeşitli bölgelerinde bulunan geleneksel konutlar yer aldığı çevre ve iklim koşullarına en uygun tasarım örnekleriyle, özgün bir mimari oluşturmuşlardır. Vissilia (2009), "Evaluation of a Sustainable Greek Vernacular Settlement and Its Landscape: Architectural Typology and Building Physics" isimli çalışmasında, Yunanistan geleneksel konutlarını yapım teknikleri, yerleşim, malzeme ve tasarım açısından değerlendirmiş, geleneksel konutlarda çok fazla enerji harcamadan ısısal konfor sağlandığı sonucuna ulaşmıştır [9]. Manioğlu (2007), "Energy Efficient Design Strategies in the Hot Dry Area of Turkey." isimli yaptıkları çalışmada Mardin'de 100 geleneksel ve günümüz konutunu karşılaştırmıştır. Çalışma sonucunda geleneksel konutların günümüz konutlarına göre ısısal ve mekânsal konfor bakımından performanslarının daha nitelikli olduğunu vurgulamışlardır [10].

Çevre etkenler görmezden gelinerek oluşturulan konut yapıların enerji tüketimleri oldukça yüksektir. Türkiye'de geçen yüzyılla birlikte hızla artan betonarme bu konut yapılarında ihtiyaç duyulan konfor koşullarının sağlanması için çeşitli aktif sistemlerin kullanılması konut yapılarının toplam enerji tüketimini büyük oranda arttırmaktadır. Dünyada Türkiye enerji tüketimi açısından hızlı yükseliş gösteren ülkelerden biridir [11]. Enerji kaynaklarının kısıtlı ve bitebilir oluşu ve maliyetlerin yükselmesi, enerji korunumunu ihtiyaç haline getirmektedir.

Ülkemizde 1940'ların sonuna kadar geleneksel Türk yerleşiminin karakteristik özellikleri ve dokusu korunmuş olsa da 1950'lerde yoğun göçlerin getirisi olan hızlı nüfus yükselişi ve hızla gelişen kentsel doku sebebiyle denetimsiz bir gelişme yaşanmıştır [12]. Bu durum geleneksel kent dokusunun hızla tahrip olmasına ve çok farklı bir kent düzenine doğru yönleneceğine sebep olmuştur. Sıra evler, gece kondular, apartmanlar ve toplu konutlar gibi yapı türleri, geleneksel dokudan uzaklaşılmasıyla birlikte ortaya çıkmıştır.

Ülkemizde kentler geçirdikleri ekonomik ve sosyal dönüşümlerin mekâna yansımalarının sonucu olarak değişmiş ve bugünkü görünümüne kavuşmuşlardır [13]. Bu mekânsal değişimden özellikle tarihi kent merkezleri ve geleneksel konut alanlarının yer aldığı geleneksel kent dokuları zarar görmüşlerdir. Geleneksel konut dokusunun bozulmasının başlıca nedenleri arasında; geleneksel dokuya karşı ilgisizlik

ve umursamazlık, modernleşme kaygısı, daha çok mülk edinme, evler ve iş yerleri elde etme amacı, yanlış imar planları hazırlama ve uygulama, ticari çıkar sağlama isteği (rant) bulunmaktadır [14].

Günümüzde farklı çevresel özellikler ve farklı iklim tiplerine sahip bölgeler olmasına rağmen ülkemizin çoğu bölgesinde görülen aynı konut tipolojisi, endüstri devrimi ve seri üretim süreci ile beraber geleneksel mimaride görülen iklime uyma kaygısının ortadan kalkmasının bir getirisi olmaktadır. Enerjinin etkin kullanımına yönelik mimari tasarım süreci, çevresel parametrelerin binanın ihtiyaçlarını karşılamaya yönelik ilişki kurulması ile mümkün olacaktır.

Çalışmada Geleneksel Sille Evleri'nde enerji etkin mimari çözümler gözleme dayalı olarak belirlenmeye çalışılmıştır. Bölgede seçilen 3 adet geleneksel evin yıllık enerji tüketim miktarları hesaplanarak bu miktarın oluşmasına neden olan etkenler incelenmiştir. Sille'de bulunan geleneksel konutlarda yapılan hesaplamalar ve incelemeler sonucunda enerji etkin mimari çözümlerin günümüz yapılarına, yapım yöntemleri, yapı bileşenleri ve malzeme kullanımları yönü ile yol gösterici veriler sunması amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

Çalışma kapsamında Türkiye'de soğuk-yarı kurak iklim bölgesinde bulunan Konya şehir merkezine 10 km mesafede bulunan Sille bölgesi seçilerek, geleneksel konutların enerji etkin tasarım parametrelerinden yapıya ilişkin özellikleri yerleşme ölçeği, bina ölçeği, yapı elemanı ve yapı malzemesi ölçeğinde araştırılmıştır. Türkiye'deki geleneksel konutlardan yola çıkarak, konutlarda uygulanmış enerji etkin tasarım parametrelerinin Geleneksel Sille Evlerinin oluşumundaki etkileri gözleme dayalı olarak incelenmiştir. İncelemeler sonucunda elde edilen veriler doğrultusunda bölgeden 3 adet geleneksel ev seçilmiştir. Seçilen evlerin Bina Enerji Performansı Yazılımı (BEPTR) Programı yardımıyla yıllık enerji tüketim miktarları hesaplanmıştır. Çıkan sonuçlar karşılaştırılarak yıllık enerji tüketim miktarlarına etki eden etmenler değerlendirilmiştir.

2.1. Konya Sille Mimarisine İlişkin Bilgiler

Sille, İç Anadolu Bölgesinde, Konya'nın Selçuklu ilçesi sınırları içerisinde yer alan bir yerleşim bölgesidir. Konya kent merkezine yakın uzaklıkta olmasına rağmen, Sille topografik yapısı, kültürü, yaşayışı, inanç ve gelenekleri ile Konya'dan farklı bir yerleşim alanı olarak dikkat çekmektedir [15].

Sille evleri bölge mimarisi içinde önemli bir yere sahiptir. Yere özgü malzeme olan Sille Taşının kullanılması ile bölgeye özgü karakteristik bir doku oluşturan Sille Evleri, Türk evlerinin yapım ilkelerine benzer uygulamalar bulunmaktadır. Geleneksel Sille evlerinin oluşumunda Sille Taşı gibi yerel malzemenin

kullanımı ile birlikte topografya, farklı kültürlerin etkinliği ve iklimsel özelliklerde etkili olmuştur [16].

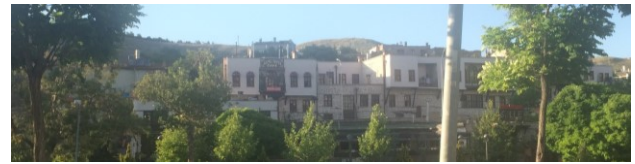
Sille'de yerleşim alanı dik arazide kurulmuş; doğusunda bulunan düz ve verimli arazide ise bağ ve bahçeler yer almıştır. Coğrafi konumu sebebiyle çokça engebeli bir arazi üzerinde kurulmuş olup arazinin formu, Sille'de yerleşim karakteri üzerinde etkili olmuştur. Arazi formunun engebeli ve dik olması, yapılar, sokaklar ve mahallelerin teraslar şeklinde yerleşimini zorunlu hale getirmiştir. Vadinin ortasından geçen derenin güneye bakan yamacından itibaren yapılar, cadde, sokaklar ve mahalleler kademe kademe yukarı doğru yükselmektedir. Bu durumun sonucu olarak yapıların iç kısımlarında da kademelenme gözlenmektedir [17].

İşlevselliği ön planda ve küçük ölçekte tasarlanan Sille Evleri'nde yapım malzemesi Sille taşı, ahşap ve kerpiçtir. Beden duvarları oluşturan taş duvarlar kireç siva ile birlikte kullanılmıştır. Ahşap, taş ve demir işçiliğinde görüldüğü evler Sille yöresel mimarinin özelliklerini taşımaktadır.

Sille'de geleneksel mimarinin oluşmasında da, topografya, iklim koşulları, Sille'de mevcut olan ve yapı malzemesi olarak kullanılan Sille taşı (kantaşı) ve bunun kullanımıyla gelenekselleşen yapı teknolojisi, toplumun sosyal, kültürel, ekonomik yapısı ve dini inanışları etkili olmuştur [18].

Yerleşme Ölçeği: Yer Seçimi ve Bina Aralıkları

Sille evleri genel olarak yapı çevresinin niteliğini ve etkinliğini arttırmak amacıyla iklim ve yer koşullarına uygun olarak tasarlanmıştır. Deneyim ve gözlem sonucu edinilen bilgi birikimleri ile oluşturulan geleneksel Sille evleri ısı kaybını önlemek adına genellikle bitişik düzende konumlandırılmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Bitişik nizamdaki sille evleri [26].

Yapıların konumu, arazinin şekline göre bir perspektif algısı ile kentin yerleşik dokusunu oluşturmaktadır. Hiçbir konut birbirinin güneşini, manzarasını kesmemekte, bu nedenle Sille'de doku doğa ile uyum içerisinde [19].

Mümkün olduğunca arazi formunun korunduğu yerleşimde geleneksel Sille evleri arazi üzerine yerleştirilirken doğal peyzaj ve diğer yapıların durumu göz önüne alınmıştır. Arazi eğimi sayesinde geleneksel evler birbirinin manzarası, havası ve ışığını etkilememektedir. Aynı zamanda arazinin eğimli olması mahalleler, sokaklar ve yapıların teraslar

biçiminde yerleşimini zorunlu kılmıştır. Yapılarda ısı dengesi, rüzgâr ve güneş kontrolü, bitki örtüsü ve arazi formundan yararlanılarak sağlanmıştır.

Bina Ölçeği: Yönlendirme ve Form

Güneş, rüzgâr gibi dış çevreye ait iklimsel değişkenler, yapının bulunduğu iklim bölgelerine ve enlemlere göre yapıyı yönlendirmede etkilidir. Bu sebeple yapının araziye yerleşme şekli ve yönü, güneşten, hâkim rüzgârdan ve arazinin çeşitli özelliklerinden faydalanma düzeyini belirler.

Mevsim ve gece-gündüz dönüşümlerinde farklılık gösteren güneş enerji seviyesi, yapının güneşe göre açılma konumuna, yönüne ve bulunduğu coğrafi enleme göre değişiklik gösterebilir. Bu sebeple yapının yönlendirilmesi, iklimin avantajlarından en çok faydalanacak biçimde, mevsime bağlı olarak en az ısı kaybı ve en fazla ısı kazancı sağlayacak şekilde yapılmalıdır [20].

Kış aylarında güneye bakan eğimli arazilerde güneş ışınımından faydalanma miktarı daha fazla olmaktadır. Bu nedenle Sille'deki eğimli arazide yapıların konumlandırılırken birbirlerinin manzarasına engel olmamalarının yanında birbirlerinin güneşten yararlanmalarında da olanak sağlamaktadır. Parselde konumlanan yapıların güneye bakan cephelerinde daha fazla pencere açıklığı oluşturularak güneşten pasif bir şekilde daha çok yararlanabilmeleri sağlanabilmektedir (Şekil 2). Arazinin eğimi nedeniyle oluşan bodrum katlarda yapı farklı amaçlarda kullanılabilir.



Şekil 1. Sille evlerinin yerleşimi [26].

Eğimli arazide kademelenme aynı zamanda konforu oluşturan en önemli etmen olan serin rüzgârları yapı içine alabilmeye olanak sağlamıştır. Sille Vadisi'nin eğimli sırtlarına dayandırılmış evlerin her bir yapı bir diğerinin rüzgârını engellemeyecek biçimde kademeli yerleştirilmiştir.

Yapı Elemanı Ölçeği: Bina Kabuğu ve Doğal Havalandırma

Konutlar içinde kullanılan enerji miktarını yapının dış kabuğu önemli ölçüde etkilemektedir. Duvar, kapı, pencere gibi dış kabuk elemanların kalınlığı, rengi, malzemelerin ısı geçirgenlikleri ısı kaybı ve kazançlarında önemi rol oynamaktadır.

Bina kabuğu duvar, tavan, zemin, pencere, kapı gibi binayı dış mekandan ayırıcı ve ısı enerjisinin içeri yada dışarı geçişine olanak sağlayan bileşenlerdir. Dış ve iç ortam ayırıcı olarak enerji kullanımında çok önemli etkisi bulunmaktadır [21].

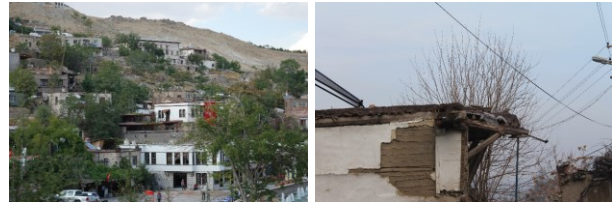
Duvarlar

Konutların duvarları kalın olup, ana malzemede olan Sille Taşı yığma yapım tekniği ile uygulanmıştır. İç duvarlarda ise bağdadi olarak adlandırılan duvarlar yer alabilmektedir. Dış cephede kalın duvarlar ile sıcak ve soğuga karşı korunma sağlanmıştır.

Çatılar

Üst örtüde belirli aralıklardaki ahşap kirişlerin (yuvarlamaların) üzerine hasır (Boyra) serilir. Bunun üzerine pardi, ince ağaç dalları atılır. Daha sonra Kindıra, saz döşenir. En üstte ince elenmiş topraktan çamur veya çorak toprağı serilir, loğ taşı ile sıkıştırılır. Sonraki dönemlerde, bu toprak damın üzerine, ahşap malzemeden yapılmış, kiremitli veya çinko kaplı çatılar ilave edilmiştir [22].

Düz damlar konutların ihtiyacı olabilecek çalışma ve gezinme alanı da oluşturmaktadır. Kırsal yerleşmelerde damlar kışlık yiyeceklerin kurutulması ve hazırlanması için önemli bir yere sahiptir (Şekil 3).



Şekil 3. Sille'de toprak dam ve çatılar [26].

Pencereler

Sille Evleri'nde kabuk yüzey alanı küçük olup kompakt bina formu tercih edilmiştir. Yapı tasarımında enerji kayıplarını azaltıp güney yönde yer alan pencerelerle mevcut güneş enerjisi ve ısılarından yararlanma hedeflenmiştir [18].

Sık aralıklı, dar ve uzun, güneye açılan pencereler güneş ışınlarının, arkasındaki hacmin en ücra noktasına erişmesine imkân vererek doğal aydınlatma ve pasif ısıtma olanaklarını bir arada sunmaktadır. (Şekil 4).



Şekil 4. Sille evlerinde pencere [24].

Kapılar

Evlere giriş, bazen tek bir kapıdan bazen de iki kapıdan yapılmakta ve bu durumu arazinin topografyası belirlemektedir. Girişler çoğunlukla sokak cephesinden doğrudan sağlanmıştır. Eğimli arazi nedeniyle bazı evlerin girişlerine birkaç basamaklı merdiven ile ulaşılmaktadır (Şekil 5).



Şekil 5. Sille evlerinde sokağa bakan kapılar [26].

Bazı evlerde zemin kat ile üst kat bir arada kullanılırken bazı evlerde ise zemin kat ve üst kat için farklı giriş kapıları yapılmıştır [23].

Ön dam

Evlerin sofasının önünde kapı ve pencere ile ilişkilendirilmiş üzeri açık mekanlardır. Dış mekân ile irtibat sağlayan bu mekanlar giriş kapılarının üzerinde konumlanarak saçak görevi de görmektedir.

Ayrıca yapıların çevresinde ağaç ve duvarların organizasyonu rüzgâr kırıcı etki yaratılmış; yapıların yakın çevresinde rüzgârdan korunan bir bölge oluşturulmuştur. Böylece yapının çevresinde sağlanan daha ılıman bir ortamla ısıtma için gereken enerji ihtiyacı azaltılmıştır [18].

Çıkmalar

İki katlı evlerin oda ve sofalarında sokağa taşan çıkmalar sayesinde odalarda zengin bir bakış açısı yaratılmış, günün her saatinde gün ışığından yararlanma imkânı sağlanmıştır (Şekil 6).



Şekil 6. Sille evinde çıkma ve balkon [26].

Yapı Malzemesi

Sille Taşı taş ısı geçirgenlik katsayısı düşük bir malzeme olduğu için uygun konfor koşulları sağlamada etkindir. Sille taşı, Sille ve yakın çevresinde

çıkarılan volkanit ve andezit özellikleri taşıyan bir taş türüdür.

Doğal malzemelerin işçilikleri kolaydır ve işlemede harcanacak az enerji ile yapıda kullanılabilir. Aynı zamanda bu malzemeler yerel malzeme oldukları için taşınma enerjileri de çok azdır [24].



Şekil 7. Geleneksel Sille evlerinde taş, ahşap ve kerpiç kullanımı [26].

Sille mimarisinde sille taşı ile birlikte ahşap malzemenin kullanımına da sıkça yer verilmiştir [25]. Sille'de geleneksel yapı sistemi ahşap hatılı taş duvar olup, ahşap kirişleme örtü malzemesi olarak kullanılmıştır. Ara kat döşemeleri ahşap malzemenin yapılmıştır [23].

Sille yapılarında iç mekânda duvarlarda taş malzemenin kerpiç sıva ile birlikte kullanıldığı görülmektedir.

3. Bulgular

Konya Sille merkez mahallesinde bulunan 3 geleneksel evde yapılan çalışmada evlerin yapıldıkları dönem, yapı elemanları ve yapı bölümleri göz önüne alınarak tespitler yapılmıştır. Yıllık enerji kullanımları hesaplamak için evlerin rölöve, restitüsyon çizimleri ve mevcut fotoğraflarından yararlanılmıştır. Seçilen evler genel olarak 2 kattan oluşmaktadır. Evlere, ısıtılmayan hacim olarak düzenlenen zemin katlarından yol cephesi yönünde açılan kapılar ile giriş sağlanmakta ve yaşam alanları genellikle üst katta düzenlenmiştir.

Evlerin seçiminde Sille Deresine göre konumu, topografyaya uygun yerleşim ve yönelimlerinin olması ve geleneksel malzemeler ve yapım teknikleri kullanılmış olması etkili olmuştur. Bu bağlamda evler Sille bölgesindeki genel yerleşim içerisinde 3 farklı bölgeden seçilmiştir (Şekil 8).

Seçilen evler Sille merkezinde yer alan Hacı Kamber Sokak, Baraj Caddesi ve Özyurt Sokakta konumlanmaktadır. Evlerin Sille Deresi göz önüne alındığında konumları kuzeyde, güneyde ve dere aksı hizasında yer almaktadır.



Şekil 8. Sille'de seçilen evlerin harita üzerindeki konumları

3.1. Hacı Kamber Evi (1.Ev) Genel Özellikler

Hacı Kamber Sokak'ta yer alan evin girişi 1863 yılında inşaa edilen Sille'nin en büyük camisi olan Akcamî'ye bakmaktadır (Şekil 9). Bir cephesi eğimli Gün Sokak'a açılan ev 2 katlı olarak inşaa edilmiştir. Yapıda pencereler güneydoğu yönünde konumlanmış evin sokak cephesinde yoğunlaşmıştır.



Şekil 9. Hacı Kamber Evi sokak cephesi [27].

Yerleşme Ölçeği: Yer Seçimi ve Bina Aralıkları

Hacı Kamber Geleneksel Evi, Sille Deresine bakan kuzey yamaca yerleşmiştir. Eğimli bir araziye oturan evin bir cephesi bitişik nizam oluşturmaktadır. Evin bir diğer cephesine bakan Gün Sokak, evin arka cephesine doğru yükselen eğimli topoğrafyaya sahiptir. Bu sokağı oluşturan eğim ile evin toprak örtülü damına ulaşmak mümkündür.

Bina Ölçeği: Yönlendirme ve Form

Güneydoğu Cephesine doğru yönde konumlandırılmış evde kapı ve pencereler bu yönde yoğunlaşmıştır. Arazi eğiminden dolayı evin arka cephesi toprak altında kalmasından ve diğer cephesinin bitişik nizamı oluşturmamasından dolayı gün ışığı yamaca bakan Hacı Kamber Sokak cephesinden alınırken, Gün Sokak cephesine de pencere konumlandırılmıştır. Kare bir forma sahip evde zemin kat 2 oda, 1 sofa ve 1 tuvaletten oluşmaktadır. Sofadan yukarı kata çıkan merdiven, üst katta 3 oda ve 1 banyoya açılan üst kat sofaya hizmet etmektedir.

Yapı Elemanı Ölçeği: Bina Kabuğu ve Doğal Havalandırma

Ahşap konstrüksiyon ve doğal taş malzemelerden yapılan evin duvarları kalın olup kireç sıva ile

kaplanmıştır. Sokağa bakan cephelerde 50cm bulan duvar kalınlığı, iç bölmelerde 30cm kadar düşürülmüştür. Güney yönde yoğunlaşmış ahşap pencere ve kapılar ahşap hatlarla desteklenmiştir. Evin iç mekanlarında sofalara açılan küçük ahşap pencereler ile hava akışı sağlanmaya çalışılmıştır.

Yapı Malzemesi

Toprak dam ile örtülü çatı Geleneksel Sille Evleri'nde olduğu gibi ahşap kirişleme üzeri hasır ve toprak örtü ile sağlanmıştır. Yapı malzemesi olarak kullanılan doğal taş, ahşap konstrüksiyon ile desteklenmiştir. İç mekânda duvarlarda taş malzemenin kerpiç sıva ile birlikte kullanıldığı görülmektedir. Evde ahşap malzeme; kapı, pencere, kirişleme, merdiven ve gömme dolaplarda kendini göstermektedir.

3.2. Özyurt Evi (2.Ev) Genel Özellikler

Sille'nin güneyindeki Özyurt Sokak'ta yer alan 2.ev eğimden dolayı Kuzeybatı yönünden 3 katlı, güneydoğu yönünden 2 katlı olarak görünür (Şekil 10).



Şekil 10. Özyurt Evi görüşleri [27].

Yerleşme Ölçeği: Yer Seçimi ve Bina Aralıkları

Ayrık nizamda yer alan Özyurt Evi Sille Deresi le Baraj Caddesinin güneyinde bulunan yerleşkede konumlanmaktadır. Şu an ki durumu ile yan bahçeye sahip ev, yapıldığı dönemde bitişik nizamda bulunmaktadır. Arazi eğiminden kaynaklı olarak ev güneybatı yönünden 2 katlı görünürken, kuzeybatı yönünden 3 katlı bir cepheye sahiptir.

Bina Ölçeği: Yönlendirme ve Form

Kuzeybatı ve güneydoğu cephelerinin bulunduğu evde giriş Özyurt Sokak cephesi tarafından hem binaya hem de avluya giriş şeklinde düzenlenmiştir. Dikdörtgen bir forma sahip ana ev avlu ile tek katlı yapı ile birleştirilmiştir. Yapıldığı dönem bitişik nizamda bulunduğu cephede açıklık bulunmazken arka bahçe ve sokak cephesindeki pencereler ile gün ışığından yararlanılmıştır. Avlu ile birlikte tek katlı olarak eve birleşik yapılmış yapı wc ve bir oda mekânı barındırmaktadır. Bu yapıda pencere ve kapılar sadece avluya açılmakta, sokak yönünden pencere bulunmamaktadır.

Yapı Elemanı Ölçeği: Bina Kabuğu ve Doğal Havalandırma

Duvar kalınlığının 60cm-80cm arasında değiştiği taş malzemelerden yapılan ev ahşap hatıl, ahşap kirişleme ve ahşap payandalar ile desteklenmiştir. Katıklı çamur sıva ile kaplanmış duvarlarda yapının ilk yapıldığı dönemde kullanıldığı düşünülen ahşap pencereler sık aralıklarla açılmıştır.

Yapı Malzemesi

Doğal taş malzemenin ahşap hatıllar, ahşap taşıyıcılar, ahşap kirişlemeler ve ahşap payandalar ile desteklendiği evde çatı toprak dam şeklindedir. Çatı saçağında Sille Taşı kullanılmıştır. Pencereler, kapılar, pervazlar, merdivenlerde ve odalardaki dolaplarda ahşap malzeme kullanılmıştır. Evin iç duvarları toprak sıva ile kaplanırken, dış duvarlar katıklı çamur sıva ile kaplanmıştır.

3.3.Nusret Oğuz Evi (3.Ev) Genel Özellikler

Baraj Caddesinde yer alan 3.ev günümüzde ticari mekân olarak kullanılmaktadır. Eğimli araziye oturmuş olan ev 2 katlı olarak inşa edilmiştir. Zemin katta 3 girişi bulunan evin üst katında 1 sofa ve 3 oda bulunmaktadır (Şekil 11).



Şekil 11.Nusret Oğuz Evi görünüş [27].

Yerleşme Ölçeği: Yer Seçimi ve Bina Aralıkları

Sille Deresi'nin güneyinde ve mezarlık alanının bitişiğinde yer alan ev ayrıık nizam olarak inşa edilmiştir. Konumlandığı topoğrafyanın eğiminden kaynaklı olarak zemin katta evin oturma alanının güneyini toprak alanı oluşturur. Üst katlarda mekanlar zemin ve toprak alanı üzerine yapılmıştır.

Bina Ölçeği: Yönlendirme ve Form

Ayrıık nizamda buluna evin yönelimi kuzey güney doğrultusunda olsa da tüm cephelerden gün ışığı almak için açıklıklara sahiptir. Güneyinde avluya sahip evin girişleri kuzey, doğu ve batı cephelerinden olmak üzere 3 adet verilmiştir.

Binaya güney cepheden giriş eğimden kaynaklı olarak 1.kattan sağlanmaktadır. Bu giriş üst katta sofaya

ulaştırmaktadır. Kompleks bir forma sahip evde zemin kattan, üst katlara ulaşım batı kapısındaki odadan verilmiş merdiven ile sağlanmaktadır. Evde avluya bakan pencere bulunmamaktadır.

Yapı Elemanı Ölçeği: Bina Kabuğu ve Doğal Havalandırma

Yapıyı oluşturan moloz taş duvarlar zemin katta 90cm kalınlıkta olup, üst katlarda 80 cm kalınlığına sahiptir. İç mekâna dış mekâna oranla daha geniş açılan ahşap pencereler bulundurmaktadır. Kuzey, doğu ve batı cephelerinden açıklıklar sağlanan evde üst kat sofa balkon ile bitirilerek sofadan balkona çıkış sağlanmıştır. Her mekâna pencere açıklığı verilmiş olup her mekân gün ışığı almaktadır.

Yapı Malzemesi

Moloz taş duvarlar hatıllar ile desteklendiği evde merdivenlerde, pencere ve pervazlarda tavan kirişlemelerinde, iç mekân dolaplarında ve balkon korkulukları, payandalarda ahşap malzeme kullanılmıştır. Üst kat zeminde taş ve ahşap kaplama birlikte kullanılırken, zemin katta ahşap kaplama, moloz taş dolgu zemin ve toprak zemin birlikte kullanılmıştır. Çatı saçak taşları ile çevrili toprak örtülü dam şeklindedir.

3.4. Sille Geleneksel Evlerin Enerji Yüklerinin Hesaplanması

Çalışmada ilk olarak yerleşme ölçeği, bina ölçeği, yapı elemanı ölçeği ve bina ölçeği açısından incelenen evlerin enerji yüklerinin hesaplanmasında programa girilecek ortak kabuller belirlenmiştir.

BEP-TR aracılığı ile dış iklimsel veriler basit dinamik hesaplama metodu ile saatlik iklim verisi ve zaman çizelgeleri kullanılmaktadır. Isıtma ve soğutma mevsimlerini ayrıca belirlenmesini gerektirmez. Saatlik hesap adımları ile operatif sıcaklıkları ve saatlik zaman çizelgesine göre konfor gereksinimlerine cevap verecek gerekli net enerjiyi hesaplanmaktadır.

Ortak kabuller doğrultusunda,

*Binaların konumlandığı yerin Selçuklu İlçesi Sille Mahallesi olarak belirlenmesi,

*Evlerin BEP yönetmeliğine göre mevcut yapı tanımlamasına uygun olması (ruhsatı 1 Ocak 2011'den önce alınmış yapılar),

*Bina kabuklarının opak ve saydam bileşenlerinin aynı bileşenlerden oluşması,

-Dış duvar malzemelerinin bazalt, kil ve kireçli alçı sıva olarak belirlenmesi,

-Pencerelerin ahşap malzeme olarak belirlenmesi,

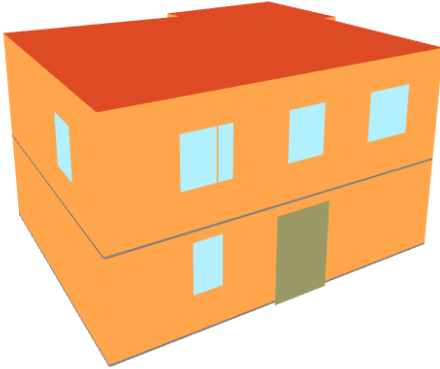
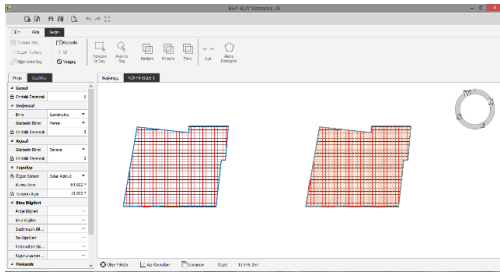
-Kapıların ahşap malzeme olarak belirlenmesi,

-Çatıların Düz Çatı olarak belirlenmesi,

- *Evlerin mekanik sistemlerinden;
- Isıtma sisteminin Kömür yakıtlı döküm soba olarak ve mahal ısıtma olarak belirlenmesi,
- Sıcak su sisteminin Güneş enerjisi sistemi ve mahal sistem olarak belirlenmesi,
- Soğutma sisteminin bulunmaması,
- Havalandırma sisteminin doğal havalandırma olarak belirlenmesi,
- Aydınlatma sisteminin her bir mekan için Enkandesan (75w)(1000lümen) kabul edilmesi gibi özellikler programa veri olarak girilmiştir.

Hacı Kamber Evi Enerji Yüklerinin Hesaplanması

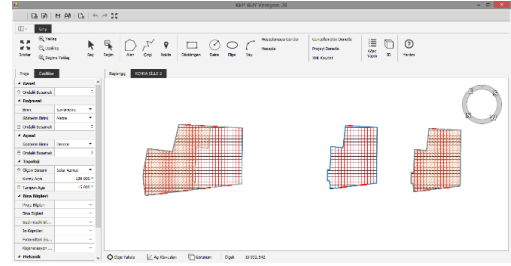
Çalışmada öncelikle Hacı Kamber Sokakta bulunan 1.Ev'in zonlama tekniği ile BEPTR programında çizilmiştir (Şekil 12). Müstakil konut yapılarında her kat 1 zon olarak ayrılmıştır. Plan şeması çizilen ev zeminde 73 metrekare alana sahiptir. Kat, bölge, duvar, döşeme, pencere, kapı ve çatı yerlerinin çizimi ve özelliklerinin sisteme girilmesiyle birlikte evin 3D model olarak görüntüsü oluşturulmuştur (Şekil 12). Yıllık enerji sarfiyatına etki eden parametreler ayrı ayrı girilmiştir.



Şekil 12.Hacı Kamber Evi plan şemasının program ile oluşturulması ve Programa verilerin girilmesi ile elde edilen Hacı Kamber Evi'nin 3D görüntüsü

Özyurt Evi Enerji Yüklerinin Hesaplanması

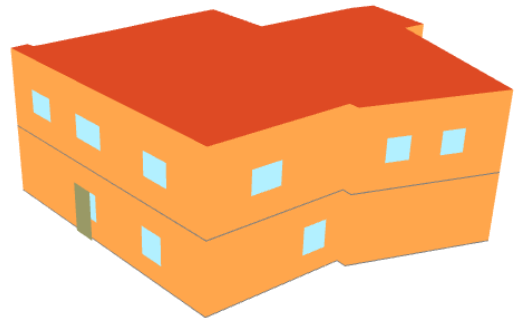
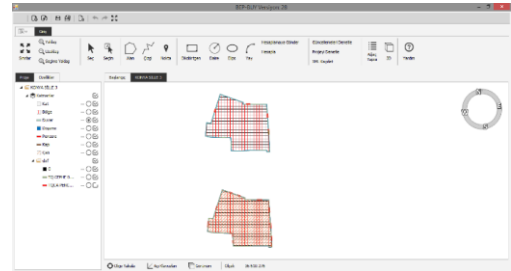
Özyurt Sokak'ta bulunan 2.Ev'in zonlama tekniği ile BEPTR programında çizilmiştir (Şekil 13). Her katın tek zon olarak alındığı hesaplamada evin zeminde kapladığı alan 114.686 m²'dir. Üst katlarda ise bu alan 52.972 m²'dir. Kat, bölge, duvar, döşeme, pencere, kapı ve çatı yerlerinin çizimi ve özelliklerinin sisteme girilmesiyle birlikte evin 3D model olarak görüntüsü oluşturulmuştur (Şekil 13). Yıllık enerji sarfiyatına etki eden parametreler ayrı ayrı girilmiştir.



Şekil 13.Özyurt Evi plan şemasının program ile oluşturulması ve Programa verilerin girilmesi ile elde edilen Özyurt Evi'nin 3D görüntüsü

Nusret Oğuz Evi Enerji Yüklerinin Hesaplanması

Baraj Caddesi üzerinde konumlanan 3.Ev'in zonlama tekniği ile BEPTR programında çizilmiştir (Şekil 14). Her katın tek zon olarak alındığı hesaplamada evin zeminde kapladığı alan 117.109 m²'dir. Kat, bölge, duvar, döşeme, pencere, kapı ve çatı yerlerinin çizimi ve özelliklerinin sisteme girilmesiyle birlikte evin 3D model olarak görüntüsü oluşturulmuştur (Şekil 14). Yıllık enerji sarfiyatına etki eden parametreler ayrı ayrı girilmiştir.



Şekil 14.Nusret Oğuz Evi plan şemasının program ile oluşturulması ve Programa verilerin girilmesi ile elde edilen Nusret Oğuz Evi'nin 3D görüntüsü

3.5. Sille Geleneksel Evlerin Enerji Yüklerinin Hesaplanması Sonuçları Karşılaştırması ve Değerlendirilmesi

Çalışmada tanımlanan koşullar altında, bina yönelimi, bina formu ve bina çevresindeki engelleri haricindeki tüm tasarım parametrelerinin değişmediği kabul edilerek enerji değerlerinin karşılaştırılmıştır. İncelenen geleneksel evlerin plan, yönelim ve çevre engellerin, referans binalara oranla enerji korunumu açısından gösterdikleri performansı değerlendirilmiştir.

Öncelikle seçilen her bir geleneksel ev, aynı yerleşme dokusunda bulunan referans bina ile ısıtma-soğutma enerjileri karşılaştırılmış, ardından tüm evlerin ve yıllık olarak tükettikleri ısıtma-soğutma enerjileri hesaplanmıştır. Seçilen evlerin alanları birbirinden farklılık gösterdiklerinden dolayı, hesaplama sonuçları değerlendirme aşamasında birim alan

başına düşen yıllık enerji miktarına (kWh/m^2) dönüştürülerek karşılaştırılmıştır.

Binanın enerji performansı, gerçek binanın yıllık m^2 başına düşen enerji tüketim miktarının, referans binanın yıllık m^2 başına düşen enerji tüketim miktarı ile karşılaştırılmasıyla hesaplanmaktadır.

Binaların kendisiyle aynı konum, iklimlendirme, bina kabuğu ve geometrisine sahip olan referans bina ile aralarında oluşan yıllık m^2 başına düşen enerji tüketim miktarı arasındaki fark mekanik sistem, sıcak su sistemi ve aydınlatma sistemleri arasındaki farklılıktan kaynaklanmaktadır (Şekil 15). Referans olarak oluşturulan bina günümüz konutlarının enerji sınıfının minimum değerini hesapladığından, eski dönem geleneksel evlerde kullanılan mekanik çözümlere bakıldığında günümüz binaları için belirlenen enerji sınıfı seviyesine yaklaştığı gözlemlenmektedir (Şekil 16).

Tablo 1.Referans bina ile Hacı Kamber Evi arasında enerji sınıfının karşılaştırılması

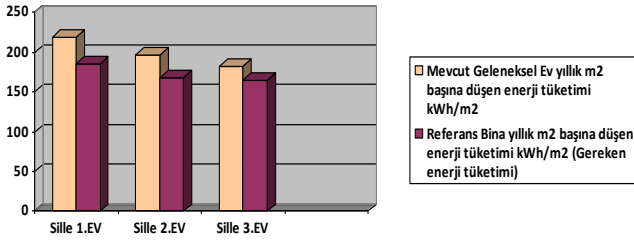
| Referans bina ile Hacı Kamber Evi | Sille 1. Ev | | Referans Bina | |
|---|-------------------------|-------|---|-------|
| | Kullanılan Sistem | Sınıf | Kullanılan Sistem | Sınıf |
| Isıtma | Mahal Soba | E125 | Merkezi Doğal Gaz | D100 |
| Sıhhi Sıcak Su | Güneş Enerjisi | B44 | Doğal Gazlı Şofben | D100 |
| Soğutma | Yok | E132 | Bireysel Sistem | D100 |
| Havalandırma | Doğal Havalandırma | D100 | Doğal Havalandırma | D100 |
| Aydınlatma | %100'ü enkandesan lamba | B75 | %30'u kompakt floresan lamba %70'i enkandesan lamba | D100 |
| Yıllık M^2 Başına Düşen Enerji Tüketim Miktarı | 219.44 kWh/m^2 | D118 | 185.96 kWh/m^2 | D100 |
| Toplam | | | | |

Tablo 2.Referans bina ile Özyurt Evi arasında enerji sınıfının karşılaştırılması

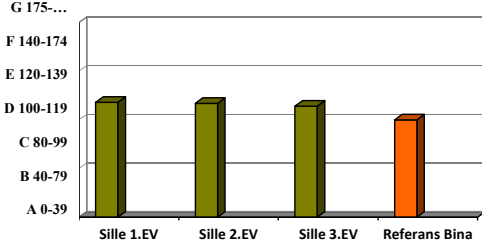
| Referans bina ile Özyurt Evi | Sille 2. Ev | | Referans Bina | |
|---|-------------------------|-------|---|-------|
| | Kullanılan Sistem | Sınıf | Kullanılan Sistem | Sınıf |
| Isıtma | Mahal Soba | E 121 | Merkezi Doğal Gaz | D100 |
| Sıhhi Sıcak Su | Güneş Enerjisi | A22 | Doğal Gazlı Şofben | D100 |
| Soğutma | Yok | G225 | Bireysel Sistem | D100 |
| Havalandırma | Doğal Havalandırma | D100 | Doğal Havalandırma | D100 |
| Aydınlatma | %100'ü enkandesan lamba | B66 | %30'u kompakt floresan lamba %70'i enkandesan lamba | D100 |
| Yıllık M^2 Başına Düşen Enerji Tüketim Miktarı | 196.97 kWh/m^2 | D117 | 168.35 kWh/m^2 | D100 |
| Toplam | | | | |

Tablo 3.Referans bina ile Nusret Oğuz Evi arasında enerji sınıfının karşılaştırılması

| Referans bina ile Nusret Oğuz Evi | Sille 3. Ev | | Referans Bina | |
|---|-------------------------|-------|---|-------|
| | Kullanılan Sistem | Sınıf | Kullanılan Sistem | Sınıf |
| Isıtma | Mahal Soba | E120 | Merkezi Doğal Gaz | D100 |
| Sıhhi Sıcak Su | Güneş Enerjisi | A33 | Doğal Gazlı Şofben | D100 |
| Soğutma | Yok | G228 | Bireysel Sistem | D100 |
| Havalandırma | Doğal Havalandırma | D100 | Doğal Havalandırma | D100 |
| Aydınlatma | %100'ü enkandesan lamba | B66 | %30'u kompakt floresan lamba %70'i enkandesan lamba | D100 |
| Yıllık M^2 Başına Düşen Enerji Tüketim Miktarı | 187.27 kWh/m^2 | D114 | 164.27 kWh/m^2 | D100 |
| Toplam | | | | |



Şekil 15. Referans binalar ile Sille'de seçilen evlerin yıllık m² başına düşen enerji tüketimlerinin karşılaştırılması



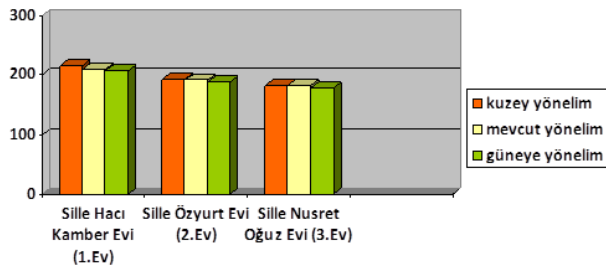
Şekil 16. Yıllık enerji tüketim değerleri hesaplanan evlerin enerji sınıfının karşılaştırılması

Bina formu-enerji etkileşiminin değerlendirilmesi

Sille'de seçilen 3 geleneksel evler bina formu parametresi açısından değerlendirildiğinde, evlerin duvar kalınlıkları ve kuzey açıları aynı varsayılarak enerji tüketimleri hesaplanmıştır. Kompakt kare bir formda olan Hacı Kamber Ev'in yıllık m² başına düşen enerji tüketim miktarı 241,75 kWh/m² iken, iç avlulu bir plana sahip Özyurt Evi 208,76 kWh/m²'dir. Zeminde L form ve üst katla birlikte dikdörtgen bir forma sahip Nusret Oğuz Evi için ise bu değer 224,07 kWh/m²'dir. Duvar kalınlıkları ve kuzey açıları değişkenlerinin sabit tutularak hesaplandığı bu değerlerin oluşmasında toprakla temas eden duvar yüzeylerinin farklılıkları ve cephedeki pencere boşluklarının farklılaşması da etkili olmuştur.

Bina yönelimi-enerji etkileşiminin değerlendirilmesi

Kuzeyde yaptıkları açıları her birinin farklı olan geleneksel evlerde bina yöneliminin yıllık enerji tüketimi üzerindeki etkisini değerlendirmek için evlerin giriş cepheleri ve yoğunluklu pencere açıklıklarının bulunduğu cephelerinin yönelimleri değiştirilip hesaplandığında yıllık ısıtma enerjisi tüketiminin oranlarında değişiklik gözlemlenmiştir (Şekil 17).

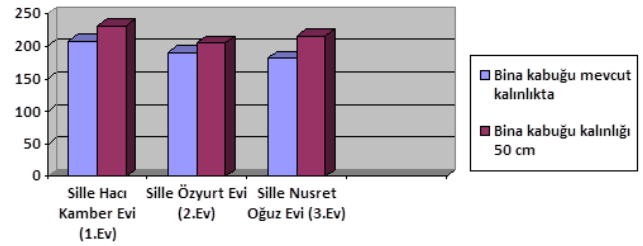


Şekil 17. Evlerin yönelimlerinin değiştirilmesi durumunda tükettikleri yıllık m² başına düşen ısıtma enerjisi miktarındaki değişimin karşılaştırılması

Yönelimin, pencere açıklıklarının güney ve doğu yönlerinde yoğunlaşması ile oluşturulan hesaplamalarda ise yıllık m² başına düşen aydınlatma enerji üzerindeki etkisi mevcut yönelimlere oranla 0,01 kWh/m² ile 0,05 kWh/m² değişiklik göstermektedir.

Bina kabuğunun kalınlığı-enerji etkileşiminin değerlendirilmesi

Evlerde iç mekân konfor koşullarının sağlanması amacıyla bina kabuğunun yüksek ısı kapasiteye ve uzun geciktirme özelliğine uygun nitelikte olmalıdır. Sille Evlerini oluşturan Sille taşı bu niteliklere sahip ve sürdürülebilir yapı bileşenlerinden oluşmaktadır. Geleneksel bina kabuğunda kullanılan moloz taşlar kalınlıkları incelendiğinde yıllık ısıtma enerjisi miktarı ve soğutma enerjisi miktarı üzerinde değişimler gözlemlenmiştir (Şekil 18).



Şekil 18. Bina kabuğu kalınlığı ve ısıtma enerjisi tüketimi arasındaki ilişki (kWh/m²)

Duvar kalınlığının artması ile yıllık ısıtma enerjisi tüketiminde azalma gözlemlenmektedir. İncelenen Geleneksel evlerde toprakla temas eden ve yönelime göre dış duvar kalınlıkları arttığı gözlemlenmiştir.

4. Tartışma ve Sonuç

Konutların enerji etkinliğini pek çok kriter etkilemektedir. Dünyanın çeşitli yerlerindeki diğer geleneksel konut tasarımlarında olduğu gibi geleneksel Sille evlerinin mekân düzeni, malzeme kullanımı ve yapım teknikleri konumlandıkları bölgenin coğrafi, iklimsel ve sosyal özelliklerine uygun olarak ortaya çıkmış ve zamanla gelişmiştir. Konutların araziye yerleşimi topografyaya bağlıdır, kazı ve dolgu yapılmamıştır. Geleneksel Sille evlerinde yönlenmeden mümkün olduğunca faydalanmaya çalışılmış, planlama ve biçimlenmede iklimsel özellikler dikkate alınmış, malzeme olarak taş, ahşap ve kerpiç kullanılmıştır. Geleneksel konutlarda kullanılan malzemeler doğal ve yenilenebilir kaynaklardan üretildiği için doğal kaynak korunumuna katkı sağlamaktadır. Doğal malzemelerin üretimi ve yapım sırasında işçilikleri kolaydır, yerel oldukları için taşıma için kullanılan enerji azdır. Sille geleneksel evlerin bu özellikleri ile enerjiyi etkin kullandığı görülmektedir.

Geleneksel konutların tasarımında ısı kayıplarının önlenmesine dikkat edilmiştir. Yapılarda kolay elde

edilebilen ve ısısal özellikleri iyi olan yerel Sille taşı kullanılmış ve bitkisel malzemeler, toprak, ahşap gibi doğal malzemeler kullanılarak ısı yalıtımı sağlanmıştır. Bu malzemeler ısısal performansları iyi olan, yaşam döngüleri süresince enerji tüketmeyen ve enerji etkin yapı malzemeleridir. İç mekânların ısı kayıplarına karşı engel oluşturacak şekilde düzenlenmeleri de ısı kayıplarının önüne geçerek enerji korunumuna olanak sağlamıştır. Konutların kuzey yöne açılan cephelerinde daha az pencere ve kapı açıklıklarının bırakılmasına önem verilmiş ve bu açıklıklar yoluyla ısı kayıpları azaltmak amaçlanmıştır. Konutlar arazi yapısına uygun olarak konumlandırılmış güneye bakan sık pencereler ile güneş ışığı ve ısısından yararlanılmıştır. Bu durum ile yapının ısıtma için gerekli olan enerji miktarı da düşmüştür. Kuzey cepheye göre güney cephede daha sık aralıklı pencerelerle açıklıklar oluşturulmuş ve bu şekliyle doğal aydınlatma ve doğal havalandırma sağlanmıştır. Bir yönüyle de havalandırma ve aydınlatma için kullanılacak ek enerjiden tasarruf edilmiştir.

Sille geleneksel konutlarında, yerel malzemelerin seçilmesi, güneşe doğru yönelme, ısı yalıtımının önemsenmesi, araziye uygun yerleşim, ısı kayıplarını önleyen tampon bölge uygulamaları, ısısal kapasitesi yüksek kabuk tasarımı ile enerji etkin mimari çözümler üretilmiştir. Program yardımıyla referans binalar ile yapılan karşılaştırma ve sınıflandırma sonucunda, yapıldığı dönem itibarıyla incelenen Sille Geleneksel Evlerin enerjinin tüketiminin günümüz enerji etkin bina tasarımının değerlerine yaklaştığı gözlemlenmiştir.

Yerleşim ölçeğinden bakıldığında evlerin birbirlerinin güneşlenmesine ve manzarasına engel olmayan, topoğrafyaya uyumlu bir yerleşim sağladığı görülmektedir. İklim uygun tasarımın sağlanmasında bu yaklaşım binaların enerjiyi etkin kullanımı arttıracaktır.

Evlerin yapımında kullanılan geleneksel malzemenin ısınma ve soğuma enerjisine katkısı göz önüne alındığında, bu malzemelerin yeniden ele alınarak yorumlanması ve modern yapılarda kullanımının denenmesi enerjinin etkin kullanımına katkı sağlayabilir. Sille Evleri tarihi ve kültürel miras korunması kapsamında ele alınabileceği gibi, bu mirasın doğaya duyduğu saygı ile de günümüz konutlarına yol gösterici ve örnek olabilir.

Türkiye'deki geleneksel yapılarda enerji etkin kullanma uygulamalarının çok önceki dönemlerden beri var olduğu görülmektedir. Fakat günümüzde bu uygulamalar önemini kaybetmiş ve terk edilmiştir. Enerji etkin tasarımı amaçlayan tasarımcıların çevre ve enerji sorunlarını gidermek ve sonraki nesillere daha yaşanabilir bir çevre bırakmak için, geleneksel mimariyi incelemeleri ve bu mimariye kullanılan yapı tekniklerini günümüzün teknoloji ve

malzemeleri ile yorumlayarak, hızla tükenen enerji kaynaklarını mümkün olduğunca daha az kullanan yerleşim alanları ve binalar tasarımları yeterli olacaktır. Ayrıca, enerji etkin tasarım kararlarının kentsel ölçekten alt birimlere doğru bina ve iç mekân tasarımına kadar analiz edilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda enerji etkin mimarlık ürünlerinin gelişmesinde, bugün mimarlık eğitimi sürecinde enerji etkin kullanımına yönelik bilgi dersleri ve proje dersleriyle eğitim alan mimarların, enerji etkin tasarım konusunda bilgi birikimi ve bilinci edinmiş olması önem taşımaktadır.

Etik Beyanı/Declaration of Ethical Code

Bu çalışmada, "Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi" kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin "Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler" başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederiz.

In this study, we undertake that all the rules required to be followed within the scope of the "Higher Education Institutions Scientific Research and Publication Ethics Directive" are complied with, and that none of the actions stated under the heading "Actions Against Scientific Research and Publication Ethics" are not carried out.

Kaynakça

- [1] Güleç, S. A., Canan F. & Korumaz, M., 2006. Analysis of the units contributing climate comfort conditions in outdoor spaces in Turkish traditional architecture. PLEA 2006- The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture, 6-8 September 2006, Geneva. Switzerland: University of Geneva and University of Applied Sciences of South-West Switzerland. 103-110.
- [2] Canan F., Kürüm Varolüneş F. 2017. Mimari Tasarımda Yerel-Ekoloji İlişkisi Gökçeada Penceresinden Bakmak. Yapı dergisi 422, 122-127.
- [3] Dikmen, Ç. B., 2011. Enerji Etkin Yapı Tasarım Ölçütlerinin Örneklenmesi. Politeknik Dergisi, 121-134.
- [4] Berkovic, A. & Canan, F., 2020. The influence of climate in the formation of vernacular settlements in Pocitelj, Bosnia and Herzegovina and Safranbolu, Turkey. bab Journal of FSMVU Faculty of Architecture and Design. 1 (2), 260-277.
- [5] Korumaz, M., Canan, F. & Güleç, S. A., 2006. Evaluation of the energy efficiency of Gaziantep traditional houses. PLEA 2006- The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture, 6-8 September 2006, Geneva. Switzerland: University of Geneva and University

- of Applied Sciences of South-West Switzerland, 95-101
- [6] Canan, F., Koby H.B., Aköz, A. B., & Temizci, A., 2020. Vernaküler ve Çağdaş Mimarlık Örneklerinin Sürdürülebilirlik Bağlamında Karşılaştırmalı Analizi: Antalya Kaleiçi ve Deniz Mahallesi Örneği, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi Cilt 24, Sayı 2, 256-266, 2020.
- [7] Bülüç, E., Canan, F. & Yanar N., "Vernaküler Mimaride Sürdürülebilir Niteliklerin Farklı İklim Bölgeleri Üzerinden İncelenmesi", International Congress On Engineering And Technology Management, 24-25, s.37-46, Aralık 2018, İstanbul.
- [8] Kürüm Varolgüneş, F. 2019. "Evaluation of vernacular and new housing indoor comfort conditions in cold climate - a field survey in eastern Turkey", International Journal of Housing Markets and Analysis, Vol. 13 No. 2,207-226.
- [9] Vissilia, A. M. 2009. Evaluation of a sustainable Greek vernacular settlement and its landscape: architectural typology and building physics. Building and Environment, 1095-1106.
- [10] Manioğlu, G. (2007). Geleneksel Mimaride İklimle Uyumlu Binalar:Mardin'de Bir Öğrenci Atölyesi. VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, s. 79-92.
- [11] Türkyılmaz, O., 2011. Türkiye'de Enerji Nereye Gidiyor? Mühendis ve Makine, 40-46.
- [12] Dizdar, H., 2009. İklimsel Tasarım Parametreleri Açısından Geleneksel ve Yeni Konutların Değerlendirilmesi: Diyarbakır Örneği. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü , Yüksek Lisans Tezi, 205s, İstanbul.
- [13] Ahunbay, Z., 2009, Tarihi Çevrede Koruma ve Restorasyon, İstanbul: Yapı Endüstri Merkezi Yayını.
- [14] Elbi, N., 2009. Geleneksel Konut Dokusunda Yaşam Kalitesinin İrdelenmesi:"Piri Mehmet Paşa Mahallesi (Konya) Örneği. Konya: Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 92s, Konya.
- [15] Sönmez, E., Sadıklar, Z., Kulak Torun, F., & Torun, A., 2017. Sille Kent Tarihi Aksının Kent Kimlik Birleşenleri. Kent Mobilyası İle Anlatılan Tarih Konya Sille, 1-16.
- [16] Közoğlu, H.G. 2019. Geleneksel Sille Evleri'nde Enerji Etkin Mimari Çözümlerin İncelenmesi. Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 99s, Konya.
- [17] Çelik, F. 2017. Ekolojik Özelliklerin Biçimlendiği Kent: Sille. Kent Mobilyası İle Anlatılan Tarih Konya Sille, 17-30.
- [18] Aklanoğlu, F. 2009. Geleneksel Yerleşmelerin Sürdürülebilirliği ve Ekolojik Tasarım: Konya-Sille Örneği. Ankara: Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü , Doktora Tezi, 209s, Ankara.
- [19] Kurak Açıcı, F. 2014. Mimarlık Tarihi ve Doku İçinde Sille. Erdoğan, E. (Ed.), Sille Düşleri İmgeler-Semboller-İzler,4, Kristal Matbaacılık San.Tic.Ltd.Sti, Konya, 47-62.
- [20] Tıkansak, T. E. 2013. Konutlarda Enerji Etkinliği. Iconarp International Journal of Architecture and Planning, 189-200.
- [21] Yılmaz, Z., Lewis, O., Ok, V., Koçlar Oral, G., Yener, A., & Manioğlu, G. 2006. Türkiye ve İrlanda'daki Binaların Enerji Etkin Tasarım ve Yapımı İçin Sürdürülebilirlik Stratejileri, İstanbul Teknik Üniversitesi Araştırma Fonu, Proje No: 30657 Sonuç Raporu Cilt I-III, İstanbul.
- [22] Karpuz, H. 2013. Sille Evleri. I. Ulusal Sille Sempozyumu, 26-27 Eylül, Konya, 113-155.
- [23] Erdem, R., Yıldırım, H., Çiftçi, Ç., Dülgerler, O., Çıbıkdiken, A., Levend, S., et al. 2010. Sille Bir Koruma Geliştirme Planı ve Sonrası. Selçuk Üniversitesi Mimarlık Mühendislik Fakültesi Dergisi, Konya, 25-46.
- [24] Yüksek, İ., & Esin, T. 2009. Kırklareli Geleneksel Konut Örneklerinin Enerji Etkinliğinin Değerlendirilmesi. IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 06-09 Mayıs, İzmir, 797-807.
- [25] Tapur, T. 2009. Konya'da Tarihi Bir Yerleşim Merkezi: Sille. Türk Coğrafya Dergisi, 15-30.
- [26] Közoğlu, H.G. 2018. Havva Gamze Közoğlu Fotoğraf Arşivi.
- [27] Korumaz, M. 2017. Mustafa Korumaz Fotoğraf Arşivi.

***Muraena helena* Linnaeus, 1758 (Akdeniz Müren Balığı)'nın Mide Mukozasının Histolojik ve Histokimyasal Olarak İncelenmesi**

Fatma KAYA*¹, Mehmet Rüştü ÖZEN²

¹Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, 32260, Isparta, Türkiye

²Isparta Uygulamalı Üniversitesi, Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi, Su Ürünleri Yetiştiriciliği Bölümü, 32260, Isparta, Türkiye

(Alınış / Received: 09.01.2021, Kabul / Accepted: 03.12.2021, Online Yayınlanma / Published Online: 20.04.2022)

Anahtar Kelimeler

Akdeniz müreni,
Muraena helena,
Histokimya,
Mukoza,
Mukosubstans

Özet: Çalışmada *Muraena helena*'nın mide mukozasının, histolojik yapısı ve histokimyasal özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla *Muraena helena* (N= 10)'nın mide bölgelerini oluşturan kardiya, fundus ve pilorustan alınan örnekler incelenmiştir. Otopsi ile alınan doku örnekleri %10 nötral formaldehit solüsyonunda tespit edilmiştir. Rutin histolojik doku takip aşamalarından sonra dokular parafin bloklara alınarak bloklardan 5 µm kalınlığında kesitler hazırlanmıştır. Preparatlar Hematoksilen-Eosin (H-E), Aldehyde Fuchsin (AF), Periodic Acid Schiff (PAS), KOH, Alcian Blue (AB) pH 0.5, AB 0.3 M, AB 0.06 M, AB pH 2.5, AF/AB pH 2.5, AB pH 1.0, PAS/AB pH 2.5 boyama yöntemleri ile boyanmış ve fotoğraflanmıştır. İncelenen doku kesitlerinde, mide mukozasının tunika mukoza, submukoza, tunika muskularis ve tunika seroza olarak dört katmandan oluştuğu gözlenmiştir. Uygulanan histokimyasal boyama yöntemleri ile kardiya, fundus ve pilorus bölgelerinin güçlü düzeyde sülfatlı asidik, asidik, sülfatlı ve karboksilli asidik mukosubstans özelliği gösterdiği tespit edilmiştir.

Histological and Histochemical Investigation of the Stomach Mucosa of *Muraena helena* Linnaeus, 1758 (Mediterranean Moray Fish)

Keywords

Mediterranean morayeel,
Muraena helena,
Histochemistry,
Mucosa,
Mukosubstance

Abstract: In this study, it was aimed to determine the histological structure and histochemical properties of gastric mucosa of *Muraena helena*. For this purpose, samples taken from cardia, fundus and pylorus which from the stomach regions of *Muraena helena* (N=10) were examined. Tissue samples taken at autopsy were fixed in 10 % neutral formaldehyde solution. After the routine histological tissue following procedure stages, tissues were taken into paraffin blocks and 5 µm thick sections were prepared from the blocks. The preparations were stained with Hematoxylin-Eosin (H-E), Aldehyde Fuchsin (AF), Periodic Acid Schiff (PAS), KOH/PAS, Alcian Blue (AB) pH 0.5, AB 0.3 M, AB 0.06 M, AB pH 2.5, AF/AB pH 2.5, AB pH 1.0, PAS/AB pH 2.5 staining methods and photographed. In the tissue sections examined, it was observed that the stomach mucosa consists of four layers as tunica mucosa, submucosa, tunica muscularis and tunica serosa. With the histochemical staining methods applied, it was determined that the cardia, fundus and pylorus regions showed sulphate acidic, acidic sulphate and carboxylated acidic mucosubstances.

1. Giriş

Bu çalışmada kullanılan balıklar için gerekli olan izinler Tarım ve Orman Bakanlığı (15/08/2018 67852565-140.03.03- E.2410154; 30/01/2020 67852565-140.03.03- E.348181) ve Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Hayvan Deneyleleri Yerel Etik Kurulu'ndan (2020/1) alındı.

Muraenidae familyası dünya genelinde toplam 15 cins ve 197 türden oluşan bir ailedir. Kuzeydoğu Atlantik ve

Akdeniz'de bu 3 demersal predatör türle temsil edilmektedir [1]. Bu türler *Muraena helena* (Linnaeus, 1758), *Gymnothorax unicolor* (Delaroche, 1809) ve *Enchelycore anatina* (Lowe, 1838)'dir [2]. *Muraena* cinsinin en iyi bilinen türü olan *Muraena helena* (Akdeniz müreni) ilk kez Linnaeus tarafından 1758'de tanımlanmıştır [3]. *Muraena helena* dünya üzerinde Doğu Atlantik, Britanya Adalarının güneyi, Senegal, Azorlar, Madeira, Kanarya adaları, Yeşil Burun Adaları ve Akdeniz'de dahil olmak üzere geniş bir alanda yayılış gösterir [3].

*İlgili yazar: fatmakaya32@gmail.com

Müren balıklarının uzunlukları 27,5 cm ile 121 cm ağırlıkları ise 116 gr ile 3680 gr aralığında değişiklik gösterir. Yaşamlarını 5-80 metre arasında değişen derinliklerde sürdürebilirler. *Muraena helena* nokturnal, yani geceleri aktif olarak beslenen karnivor bir tür olup en önemli besin kaynağını bentik balıklar, cephalopodlar, crustacealar ve kaya deliklerinde bulunan bentik komüniteler oluşturur [4]. Mürenlerin vücutları koyu renkli olup, üzeri sarı benekli ve pulsuz bir deriyle kaplıdır. Stres anında deriden bol miktarda mukus salgırlarlar. Çenelerinde sıra halinde sivri dişler bulunur. Isırığı insanlar için tehlikelidir. Uzun ve güçlü ağızlarının içinde sivri uçlu, uzun ve keskin dişleri bulunur [5]. *Muraena helena* ülkemiz Akdeniz sularının belli bölgelerinde geniş olarak yayılım göstermekte ve bol miktarda bulunmaktadır. Önemli bir tür olarak değerlendirilmekte birlikte saldırgan olması ve zor avlanabilmesi nedeniyle ekolojileri ve biyolojik özellikleri ile ilgili yapılan çalışmalar oldukça azdır.

Kemikli balıklarda sindirim kanalında yer alan mukus hücrelerinin yerleşimlerinin sindirim kanalının değişik bölümlerinde türden türe değişiklik gösterdiği ve kayganlaştırma, parazit ve patojenik bakterilere karşı bariyer oluşturma, mide mukozasını sindirim enzimlerinden koruma, iyonik ve ozmotik dengeyi düzenleme, sindirim ve absorpsiyon gibi işlevlere yardımcı olduğu, asidik ve sülfatlı glikoproteinlerin bakteriyel adezyonları engellediği, glikoproteinlerin proteaz enziminin dejenerasyonundan koruduğu rapor edilmiştir [6]. Bu çalışmada *Muraena helena*'nın mide kısımlarının genel histolojik yapısının belirlenmesi ve mide mukozasındaki değişik karakterdeki mukosubstans yerleşiminin histokimyasal yöntemlerle tespit edilmesi amaçlanmıştır. Araştırma bu türün midesinin histokimyasal yapısı ile ilgili ilk olup, elde edilen bulguların yapılacak sonraki bilimsel çalışmalara yol gösterici olacağı düşünülmektedir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Bu çalışmada Antalya ili sınırları içerisinde bulunan Konyaaltı bölgesinden (20 m derinlik) ve Antalya iline 42 km uzaklıkta bulunan Serik ilçesi Boğazkent bölgesinden (20-30 m derinlik) paraketa ile avlanan 10 adet erişkin *Muraena helena* (Akdeniz müreni) balığı kullanıldı. Balıkların boyları 50-93 cm ve total ağırlıkları 320-650 gr aralığında tespit edildi. Avcılık ile ilgili yasal izin ve gerekli diğer izinler Tarım ve Orman Bakanlığı (15/08/2018 67852565-140.03.03-E.2410154) (30/01/2020 67852565-140.03.03-E.348181) ile Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Hayvan Deneyleri Yerel Etik Kurulu'ndan (2020/1) alındı.

2.2. Metot

2.2.1. Otopsi yöntemi

Yakalanan balıklar, içerisinde deniz suyu bulunan ve oksijenlendirilen taşıma kapları ile Süleyman Demirel

Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü laboratuvarına getirildi. Balıklara önce kinaldin (Quinaldine) solüsyonu (150 mg/L) ile derin anestezi işlemi uygulandı. Bayıltilan balıkların boy ve total ağırlıkları ölçüldü. Anüsüne steril sivri uçlu keskin bir makasla girilerek öne doğru bir insizyon yapıldı. Sonra yine öne doğru ilerlemek suretiyle özofagusun proksimal kısmına kadar karın bölgesi açıldı. Midenin kardiya, fundus ve pilorus bölgelerinden örnek alımı gerçekleştirildi.

2.2.2. Histolojik yöntem

Midenin kardiya, fundus ve pilorus bölgelerinden alınan dokular %10' luk nötral formaldehit solüsyonunda 24 saat bekletilerek tespit edildi [19]. Kardiya, fundus ve pilorus bölgelerinden alınarak tespit edilen 1-2 cm uzunluğundaki doku örnekleri proses kaplarına aktarıldı. Bir gece akan suda yıkanıp ertesi gün doku takibi aşamalarından (%70, %80, %96, %100, %100 alkol serilerinden) geçirilerek [7] parafin bloklara gömüldü. Parafin bloklardan mikrotom ile 5 µm kalınlığında kesitler alındı. Doku kesitlerine Hematoksilen-Eosin [7,8,9] boyama yöntemi uygulandı.

2.2.3. Histokimyasal yöntemler

Örneklenen bölgelerin mukozasında farklı karaktere sahip mukosubstansın yerleşimini tespit etmek için doku kesitlerine Tablo 1' de gösterilen boyama yöntemleri uygulandı.

Tablo 1. Mide mukosubstans özelliklerinin belirlenmesi için uygulanan spesifik boyama yöntemleri

| Mukosubstans Özelliği | Uygulanan Yöntem |
|--|--------------------------------|
| Sülfatlı asidik mukosubstans | AF (Aldehyde Fuchsin) [10] |
| Siyalik asitli glikoproteinler | KOH/PAS [8] |
| Güçlü sülfatlı glikoproteinler | AB pH 0.5 [11] |
| Güçlü sülfat ve zayıf sülfatlı glikoproteinler | AB 0.3 M [12] |
| Karboksil grup (siyalik asit ya da uranik asit) ya da sülfat esterli glikoproteinler | AB 0.06 M [12] |
| Asidik mukosubstans | AB (Alcian Blue) pH 2.5 [11] |
| Sülfatlı ve karboksilli asidik mukosubstans | AF/AB pH 2.5 [13] |
| Nötr mukosubstans | PAS (PeriodicAcid/Schiff) [14] |
| O-sülfat esterli glikoproteinler | AB pH 1.0 [11] |
| Nötr ve asidik mukosubstans | PAS/AB pH 2.5 [15] |

Histokimyasal boyama yöntemleri ile boyanarak hazırlanan preparatlar Olympus CX 41 tipi ışık mikroskopunda incelenerek Leica DM 2500 tipi kamerayla fotoğraflandı. Mikrofotoğraflar üzerindeki morfolojik ölçümler, bilgisayar ortamında ImageJ (rsbweb.nih.gov/ij/) görüntü analiz programı kullanılarak gerçekleştirildi. Programın kalibrasyonu,

mikrofotograflar çekilirken, aynı büyütmeye objektif mikrometrenin de fotoğraflanması ile sağlandı. Elde edilen sonuçlar boyanma oranları göz önüne alınarak negatif (-), çok zayıf (\pm), zayıf (+), orta (++) , güçlü (+++) ve çok güçlü pozitif (++++) aralığında değerlendirildi.

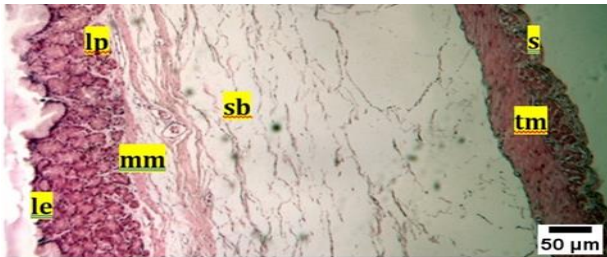
3. Bulgular

3.1. Histolojik bulgular

Midenin duvar yapısının sırasıyla; tunika mukoza, submukoza, tunika muskularis ve tunika seroza olarak dört katmandan oluştuğu gözlemlendi. Kardiya, fundus ve pilorusta yer alan mukozaların farklı yapısal özelliklere sahip olduğu gözlemlendi.

3.1.1. Kardiya

Kardiya duvarının lamina epitelyalis, lamina propria, muskularis mukoza, submukoza, tunika muskularis ve seroza tabakalarından oluştuğu gözlemlendi (Şekil 1). Midenin ilk bölgesi olan kardiya mukozanın lümenine doğru mukozal katlanmalar yaptığı ve tek katlı prizmatik örtü epitelden oluştuğu belirlendi. Bu katlanmalar arasında yüzey epiteli tarafından içeriye doğru oluşturulan gastrik girintiler tespit edildi (Şekil 2). Lamina propriyanın altındaki muskular mukoza tabakasının ince bir katman halinde soluk renkte boyandığı ve kas liflerinden oluştuğu gözlemlendi (Şekil 1,2). Submukoza tabakasının damardan zengin olduğu ve gevşek bağ dokusundan oluştuğu belirlendi (Şekil 1). Tunika muskularis tabakasının içte sirküler ve dışta ise longitudinal düz kas tabakaları olmak üzere iki tabakadan oluştuğu gözlemlendi. En içteki sirküler kas tabakasının oldukça kalın olduğu tespit edildi. En dışta kardiya bölümünü dıştan saran seroza tabakasının yer aldığı gözlemlendi (Şekil 1).



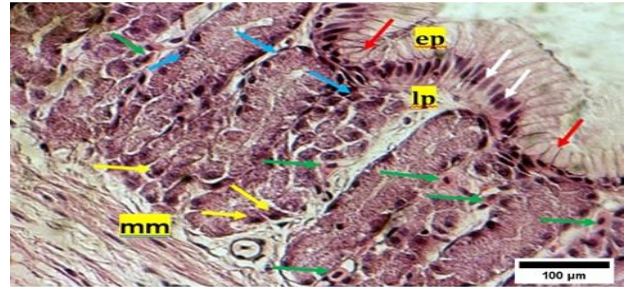
Şekil 1. Kardiya. Lamina epitelyalis (le); Lamina propria (lp); Muskular mukoza, (mm); Submukoza (sb); Tunika muskularis (tm); Tunika seroza (s). H&E; Bar 50 µm.



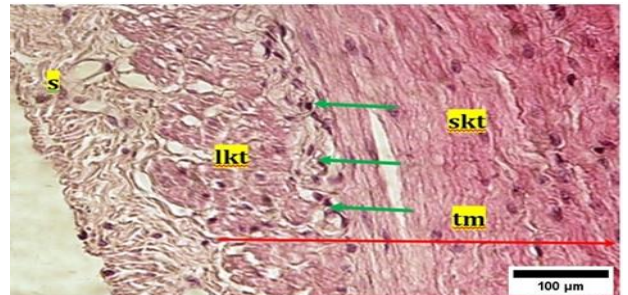
Şekil 2. Kardiya. Gastrik girinti (kırmızı oklar); Mukozal katlanma (mk); Lamina epitelyalis (le); Lamina propria (lp); Kardiya bezleri (sarı daire); Muskular mukoza (mm). H&E; Bar 100 µm.

3.1.2. Fundus

Midenin en geniş kısmı olan fundus duvarının lamina epitelyalis, lamina propria, muskularis mukoza, submukoza, tunika muskularis ve seroza tabakalarından oluştuğu gözlemlendi (Şekil 3). Kardiya bölgesinde olduğu gibi fundus bölgesinde de yüzey epitelinin içeriye doğru gastrik girintiler oluşturduğu ve tek katlı prizmatik hücrelerden oluştuğu tespit edildi. Fakat fundusta gastrik girintilerin biraz daha derinleştiği belirlendi (Şekil 3). Yüzey müköz hücrelerinin alt kısımlarında eozinofilik granüler hücreler saptandı. Gastrik girintilerin hemen altında yer alan lamina propria bölgesinde tübüler şekilli fundus bezleri gözlemlendi. Fundus bezlerinin boyun kısımlarında yer alan müköz boyun hücreleri ile bu hücrelere arasına dağılmış pariyetal hücreler ve bezin derinliklerinde şef hücreleri gözlemlendi (Şekil 3). Müköz boyun hücreleri sitoplazmalarının açık boyanması pariyetal hücreler ise belirgin eozinofilik boyanması sayesinde kolaylıkla ayırt edildi. Fundus bezlerindeki şef hücreleri ise bazal konumlu çekirdekleri ve hematoksilenle yoğun boyanmış olmaları nedeniyle kolaylıkla tanındı. Şef hücrelerinin bezin derinliklerinde daha fazla olduğu tespit edildi. Musküler mukozanın kardiya'daki gibi soluk renkli ince bir tabakadan ve kas liflerinden oluştuğu gözlemlendi (Şekil 3). Tunika muskularis tabakasının ise içte sirküler dışta da longitudinal olarak iki düz kas katmanından oluştuğu belirlendi. Kas tabakaları arasında miyenterik pleksusa rastlandı. En dışta fundus bölümünü dıştan saran seroza tabakası gözlemlendi (Şekil4).



Şekil 3. Fundus. Lamina epitelyalis (le); Eozinofilik granüler hücreler (beyaz oklar); Lamina propria (lp); Pariyetal hücreler (yeşil oklar); Şef hücreler (sarı oklar); Müköz membran hücreleri (mavi oklar); Yüzey müköz hücreleri (kırmızı oklar); Muskular mukoza (mm). H&E; Bar 100 µm.



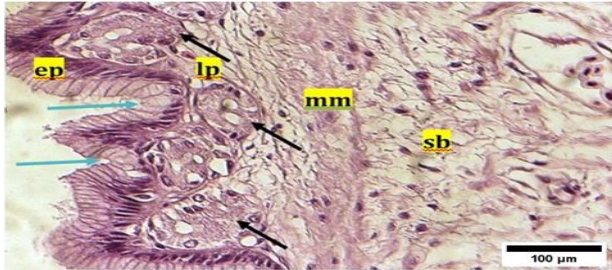
Şekil 4. Fundus. Tunika muskularis (tm) (kırmızı ok); Sirküler kas tabakası (skt); Longitudinal kas tabakası (lkt); Miyenterik pleksus (yeşil oklar); Tunika seroza (s). H&E; Bar 100 µm.

3.1.3. Pylorus

Midenin son kısmı olan pylorus duvarının lamina epitelyalis, lamina propria, musküler mukoza, submukoza, tunika muskularis ve seroza tabakalarından oluştuğu gözlemlendi (Şekil 5). Epitelin tek katlı prizmatik örtü epiteliyle döşeli olduğu saptandı (Şekil 6). Mukozanın lümenine doğru kardiya ve fundusa göre daha büyük mukozal katlanmalar yaptığı tespit edildi (Şekil 5). Epitelin içeriye doğru oluşturduğu gastrik girintilerin yani foveolaların pylorusta oldukça derin olduğu belirlendi (Şekil 5). Foveola gastrikaların derin olması nedeniyle pilor bezlerinin boylarının kısa olduğu ve tek tip müköz hücrelerden oluştuğu gözlemlendi (Şekil 6). Muskular mukozanın çoğu yerde kesikli ince bir tabaka ve kas liflerinden oluştuğu, submukozanın kan damarları ve sinir lifleri içeren gevşek bağ dokusundan oluştuğu belirlendi (Şekil 5, 6).



Şekil 5. Pylorus. Lamina epitelyalis (le); Lamina propria (lp); Faveola gastrikalar (mavi oklar); Mukozal katlanma (mk); Muskular mukoza (mm); Submukoza (sb). H&E; Bar 100 µm.



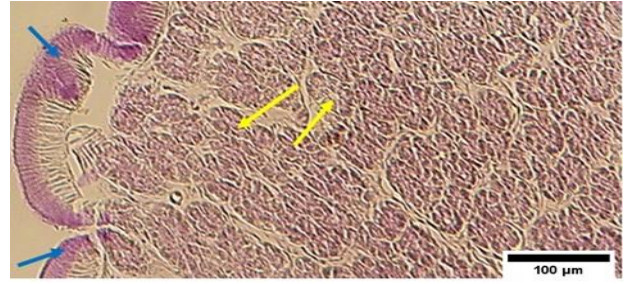
Şekil 6. Pylorus. Gastrik girintiler (mavi oklar); Lamina epitelyalis (le); Lamina propria (lp); pilor bezleri (siyah oklar); Muskular mukoza (mm); Submukoza (sb). H&E; Bar 100 µm.

3.2. Histokimyasal bulgular

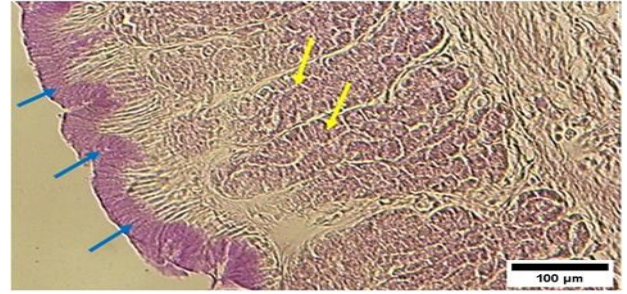
Uygulanan histokimyasal boyama yöntemleri mide mukozasının farklı mukosubstansları içerdiğini ve histokimyasal olarak farklı özelliklere sahip olduğunu gösterdi.

3.2.1. Sülfatlı asidik mukosubstansın belirlenmesi [(AF (Aldehyde Fuchsin))]

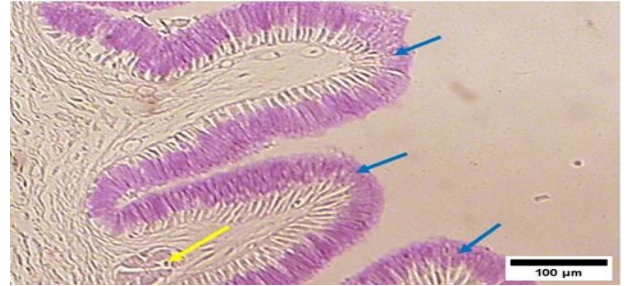
Kardiya bölgesinde (Şekil 7) lamina epitelyalinin güçlü (+++) reaksiyon verdiği, fundus (Şekil 8) ve pylorus bölgesinde (Şekil 9) ise çok güçlü (++++) reaksiyon verdiği gözlemlendi. Kardiya, fundus ve pylorus bezlerinin AF boyama yöntemi ile gösterdikleri reaksiyonun kardiya ve fundusta orta (Şekil 7,8), pylorusta ise zayıf olduğu görülmektedir (Şekil 9).



Şekil 7. Kardiya. Lamina epitelyalinde sülfatlı asidik mukosubstans; (mavi oklar), Kardiya bezleri (sarı oklar). AF; Bar 100 µm.



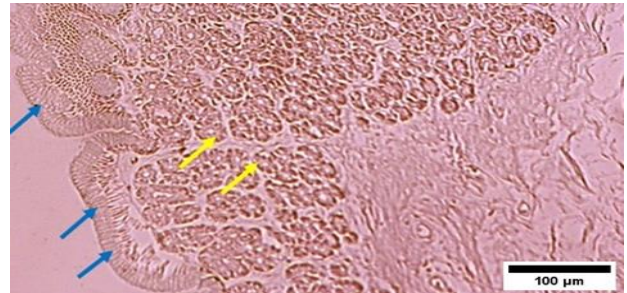
Şekil 8. Fundus. Lamina epitelyalinde sülfatlı asidik mukosubstans (mavi oklar). Fundus bezleri (sarı oklar); AF; Bar 100 µm.



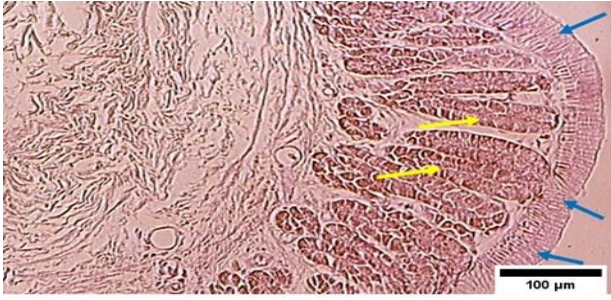
Şekil 9. Pylorus. Lamina epitelyalinde sülfatlı asidik mukosubstans (mavi oklar). Pylorus bezi (sarı ok); AF; Bar 100 µm.

3.2.2. Sialik asitli mukosubstansın belirlenmesi (KOH/PAS)

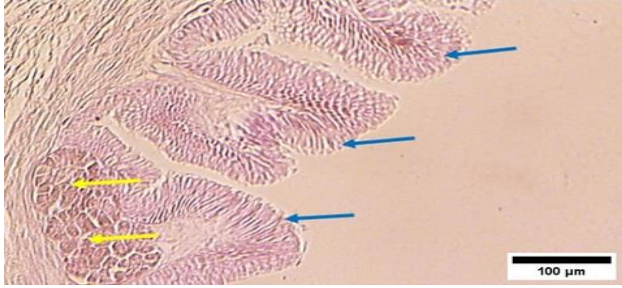
Kardiya (Şekil 10), fundus (Şekil 11) ve pylorus bölgelerinde (Şekil 12) lamina epitelyalinin KOH/PAS kombine boyama yönteminde zayıf reaksiyon verdiği gözlemlendi. Kardiya, fundus ve pylorusta yer alan mide bezlerinin KOH/PAS boyama yöntemiyle orta şiddette reaksiyon verdiği gözlemlendi (Şekil 10, 11, 12).



Şekil 10. Kardiya. Lamina epitelyalinde; sialik asitli mukosubstans (mavi oklar). Kardiya bezleri (sarı oklar). KOH/PAS; Bar 100 µm.



Şekil 11. Fundus. Lamina epitelyaliste siyalik asitli mukosubstans (mavi oklar). Fundus bezleri (sarı oklar). KOH/PAS; Bar 100 µm.



Şekil 12. Pylorus. Lamina epitelyaliste siyalik asitli mukosubstans (mavi oklar). Pylorus bezleri (sarı oklar). KOH/PAS; Bar 100 µm.

3.2.3. Güçlü sülfatlı mukosubstansın belirlenmesi (Alcian Blue pH 0.5)

Kardiya, fundus ve pylorus bölgesinde lamina epitelyalinin çok zayıf (\pm) reaksiyon gösterdiği saptandı. Kardiya, fundus ve pylorusta yer alan mide bezlerinin AB pH 0.5 boyama yöntemiyle reaksiyon vermediği gözlemlendi.

3.2.4. Güçlü sülfatlı ve zayıf sülfatlı mukosubstansın belirlenmesi, (Alcian Blue 0.3 M)

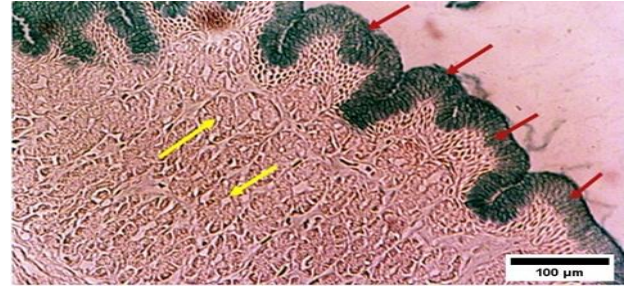
Güçlü sülfatlı ve zayıf sülfatlı glikoproteinlerin belirlenmesi için uygulanan AB 0.3 M boyama yöntemi sonucunda herhangi bir reaksiyon gözlenmedi.

3.2.5. Karboksil gruplu (siyalik asit ya da uranik asit) ya da sülfat esterli mukosubstansın belirlenmesi, (Alcian Blue 0.06 M)

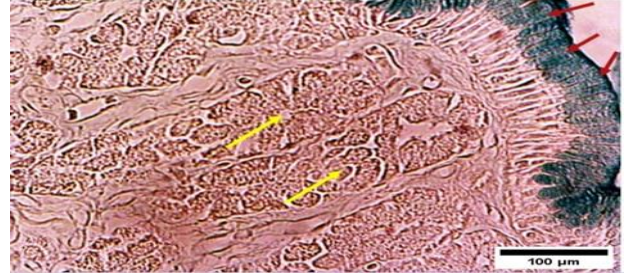
Karboksil gruplu (siyalik asit ya da uranik asit) ya da sülfat esterli glikoproteinlerin belirlenmesi için uygulanan AB 0.06 M boyama yöntemi sonrasında herhangi bir reaksiyon gözlenmedi.

3.2.6. Asidik mukosubstansın belirlenmesi, (Alcian Blue pH 2.5)

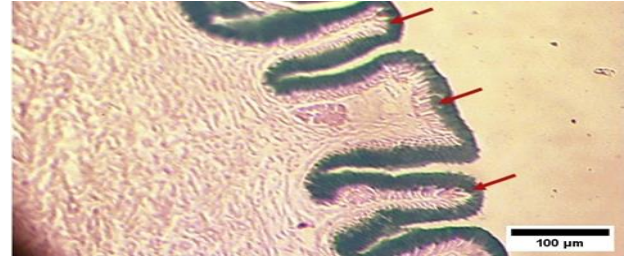
Kardiya (Şekil 13), fundus (Şekil 14) ve pylorus (Şekil 15) bölgelerinde AB pH 2.5 boyama sonrasında lamina epitelyalinin çok güçlü (+++++) reaksiyon verdiği gözlemlendi. Midede yer alan bezlerin ise AB pH 2.5 boyama yönteminde boyanmadığı gözlemlendi.



Şekil 13. Kardiya. Lamina epitelyaliste asidik mukosubstans (kırmızı oklar). Kardiya bezleri (sarı oklar). AB pH 2.5; Bar 100 µm.



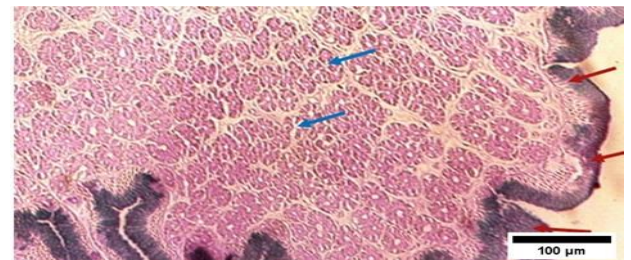
Şekil 14. Fundus. Lamina epitelyaliste asidik mukosubstans (kırmızı oklar). Fundus bezleri (sarı oklar). AB pH 2.5; Bar 100 µm.



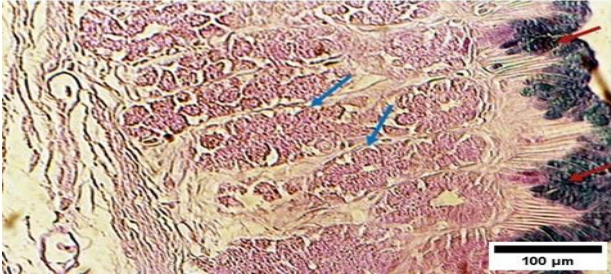
Şekil 15. Pylorus. Lamina epitelyaliste asidik mukosubstans (kırmızı oklar). AB pH 2.5; Bar 100 µm.

3.2.7. Sülfatlı ve karboksilli asidik mukosubstansın belirlenmesi, (AF/AB pH 2.5)

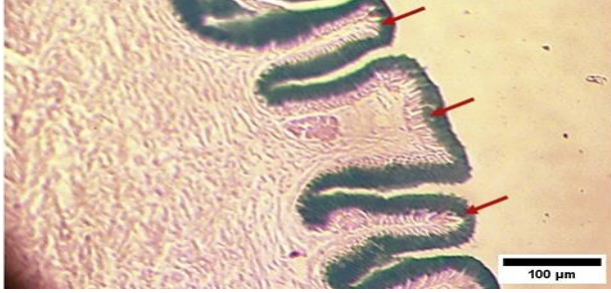
Kardiya (Şekil 16), fundus (Şekil 17) ve pylorusta (Şekil 18) lamina epitelyalinin AF/AB pH 2.5 kombine boya yönteminde AB pH 2.5 ile çok güçlü (+++++) boyanma özelliğine sahip olduğu belirlendi. Lamina epitelyaliste AB pH 2.5 boyamanın AF boyamaya göre daha baskın olduğu gözlemlendi (kırmızı oklar). Kardiya, fundus ve pylorustaki bezlerde ise çok güçlü reaksiyon gözlemlendi (mavi oklar).



Şekil 16. Kardiya. Lamina epitelyaliste sülfatlı ve karboksilli asidik mukosubstans (kırmızı oklar). Kardiya bezleri (Mavi oklar). AF/ AB pH 2.5; Bar 100 µm.



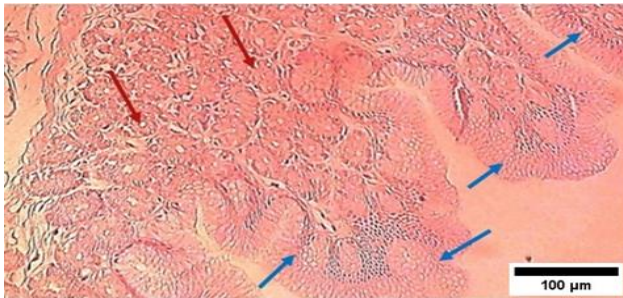
Şekil 17. Fundus. Lamina epitelyaliste sülfatlı ve karboksilli asidik mukosubstans (kırmızı oklar). AF/ AB pH 2.5; Bar 100 µm.



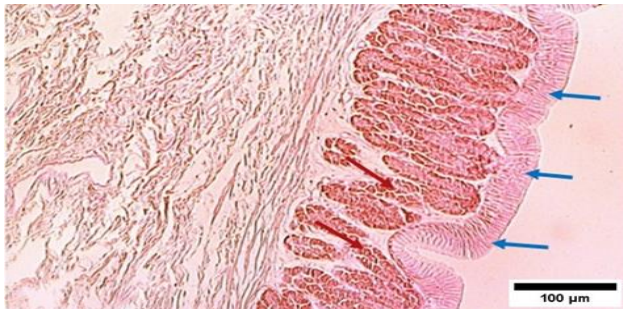
Şekil 18. Pylorus. Lamina epitelyaliste sülfatlı ve karboksilli asidik mukosubstans (krmızı oklar). AF/ AB pH 2.5; Bar 100 µm.

3.2.8. Nötr mukosubstansın belirlenmesi, PAS (Periodic Acid/Schiff)

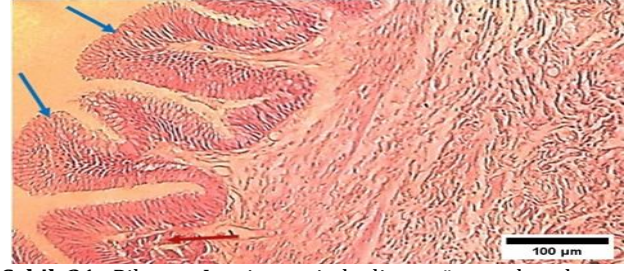
Lamina epitelyalinin PAS boyama yöntemiyle kardiya (Şekil 19) bölgesinin çok zayıf, fundus (Şekil 20) bölgesinin orta, pylorus (Şekil 21) bölgesinin ise zayıf reaksiyon gösterdiği gözlemlendi. Fundusun ise kardiya göre daha güçlü reaksiyon verdiği gözlemlendi. Fundus bezlerinin kardiya ve pylorus bezlerine göre daha güçlü boyandığı gözlemlendi.



Şekil 19. Kardiya. Lamina epitelyaliste nötr mukosubstans (mavi oklar); Kardiya bezleri (kırmızı oklar). PAS; Bar 100 µm.



Şekil 20. Fundus. Lamina epitelyaliste nötr mukosubstans (mavi oklar). Fundus bezleri (kırmızı oklar). PAS; Bar 100 µm.



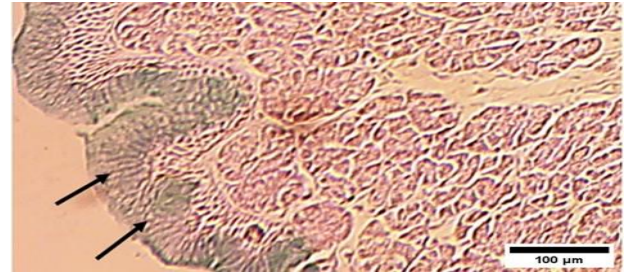
Şekil 21. Pylorus. Lamina epitelyaliste nötr mukosubstans (mavi oklar); Pylorus bezleri (kırmızı ok). PAS; Bar 100 µm.

3.2.9. O-sülfat esterli glikoproteinlerin belirlenmesi, (Alcian Blue pH 1.0)

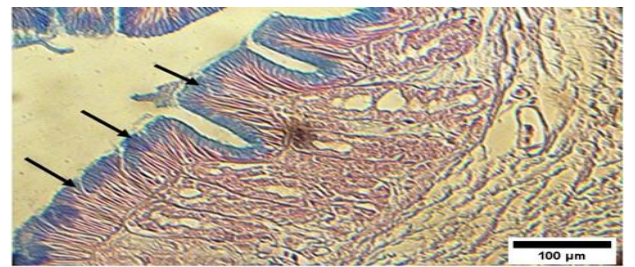
Kardiya, fundus ve pylorus bölgelerinde uygulanan AB pH 1.0 boyama yönteminde lamina epitelyalinin zayıf (+) reaksiyon verdiği gözlemlendi.

3.2.10. Nötr ve asidik mukosubstansın belirlenmesi (PAS/AB pH 2.5)

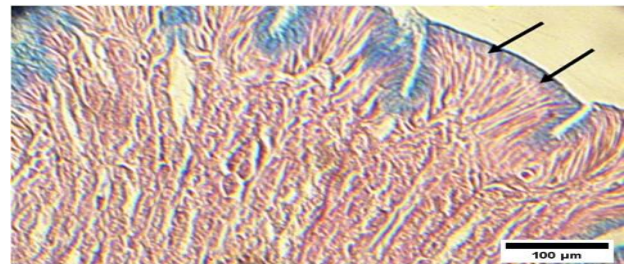
Kardiya bölgesinde (Şekil 22) reaksiyonun diğer bölgelere göre daha zayıf olduğu gözlemlendi. Fundus (Şekil 23) ve pylorus (Şekil 24) bölgelerinin ise lamina epitelyalinin uygulanan PAS/AB pH 2.5 kombine boyama yönteminde AB pH 2,5 boyanın PAS boyamaya göre daha baskın reaksiyon gösterdiği gözlemlendi.



Şekil 22. Kardiya. Lamina epitelyaliste nötr ve asidik mukosubstans (siyah oklar). PAS/AB pH 2.5; Bar 100 µm.



Şekil 23. Fundus. Lamina epitelyaliste nötr ve asidik mukosubstans (siyah oklar). PAS/AB pH 2.5; Bar 100 µm.



Şekil 24. Pylorus. Lamina epitelyaliste nötr ve asidik mukosubstans (siyah oklar). PAS/AB pH 2.5; Bar 100 µm.

Genel olarak uyguladığımız histokimyasal boyama yöntemleri karşılaştırıldığında midenin bütün bölgelerinde reaksiyon meydana geldiği gözlemlendi (Tablo 2).

Tablo 2. *Muraena helena* (Akdeniz müreni)'nin mide mukozasında histokimyasal boyama yöntemlerine karşı bölgelerdeki reaksiyon şiddetleri

| Boyama metotları | Bölgeler | | |
|------------------|----------|--------|---------|
| | Kardiya | Fundus | Pilorus |
| AF | +++ | ++++ | ++++ |
| KOH-PAS | + | + | + |
| AB pH 0.5 | ± | ± | ± |
| AB 0.3 M | - | - | - |
| AB 0.06 M | - | - | - |
| AB pH 2.5 | ++++ | ++++ | ++++ |
| AF/AB pH 2.5 | ++++ | ++++ | ++++ |
| PAS | ± | ++ | + |
| AB pH 1.0 | + | + | + |
| PAS/AB pH 2.5 | ++ | +++ | +++ |

Boyanma oranı: (-), reaksiyon vermedi; (±), çok zayıf; (+) zayıf; (++) orta; (+++), güçlü; (++++), çok güçlü.

Tablo 3. *Muraena helena* (Akdeniz müreni)'nin mide mukozasında yer alan bezlerin histokimyasal boyama yöntemlerine karşı reaksiyon şiddetleri

| Boyama metotları | Bezler | | |
|------------------|---------|--------|---------|
| | Kardiya | Fundus | Pilorus |
| AF | ++ | ++ | + |
| KOH-PAS | ++ | ++ | ++ |
| AB pH 0.5 | ± | ± | ± |
| AB 0.3 M | ± | ± | ± |
| AB 0.06 M | ± | ± | ± |
| AB pH 2.5 | ± | ± | ± |
| AF/AB pH 2.5 | ++++ | ++++ | ++++ |
| PAS | + | ++ | + |
| AB pH 1.0 | ± | ± | ± |
| PAS/AB pH 2.5 | + | + | + |

Boyanma oranı: (-), reaksiyon vermedi; (±), çok zayıf; (+) zayıf; (++) orta; (+++), güçlü; (++++), çok güçlü.

4. Tartışma ve Sonuç

4.1. Mide histolojisi

Farklı balık türlerinde yapılmış olan çalışmalarda midenin bölümleriyle ilgili olarak farklı görüşler öne sürülmüştür. Bazı araştırmacılar [16, 17], midenin sekal bölge-pilorik bölge veya kardiya-pilorus bölgeleri olmak üzere iki bölgeden oluştuğunu öne sürerken, diğer bazı araştırmacılar ise [18-23] midenin kardiya, fundus ve pilorus olarak üç bölgeden meydana geldiğini ifade etmişlerdir. Bu çalışmada elde edilen histolojik bulgulara *Muraena helena*'nin midesinin üç farklı bölgeden meydana geldiği gözlemlenmiştir.

Diaz vd. [24] ve Aksoy [23] tarafından balıkların mide mukozalarının mukozal katlanmalara sahip olduğunu ve goblet hücresi içermeyen tek katlı prizmatik epitel ile örtülü olduğu ifade etmişlerdir. Bu çalışmada da *Muraena helena*'da mukozanın mide boyunca düzenli

katlanmalar yaptığı ve tek katlı prizmatik epitel ile örtülü olduğu gözlemlenmiştir.

Pedini vd. [25] ve Aksoy [23] bazı balık türlerinin mide bölgesinde lamina epitelyalisin hemen altında lamina propria ve submukoza tabakalarının yer aldığını bildirmişlerdir. Bu çalışmada da *Muraena helena*'nın mide bölgesinde lamina epitelyalisin altında lamina propria ve submukoza tabakalarının yer aldığı belirlenmiştir. Bazı balık türlerinin mide mukozasında lamina propria ve submukoza bağ dokusu tabakasının arasında yoğun kollajen ipliklerden oluşan bir stratum kompaktum tabakasının yer aldığı belirtilmiştir [6, 23, 24, 26, 27.]. *Muraena helena*'nın mide mukozasında söz konusu bölgede bu tabakaya rastlanmamıştır.

Anarhichas lupus [28]; *Dentex dentex* [29] ve *Oncorhynchus mykiss* [23] türlerinin mide mukozaları üzerine yapılan çalışmalarda lamina propria ve submukoza bağ doku tabakaları içerisinde yoğun eozinofilik granüler hücrelerin yer aldıkları belirlenmiştir. Farklı balık türlerinin mide mukozalarının lamina propria ve submukoza bağ doku tabakaları içerisinde yerleşim gösteren mide bezlerinin lokalizasyonları hakkında farklı bulgular elde edilmiştir. Arellano vd. [21], *Solea senegalensis* türünde mide bezlerinin sadece fundus ve pilorus bölgelerinde yoğun olarak bulunduğunu, kardiya ise bu bezlerin bulunmadığını ileri sürmüşlerdir. Fakat *Cynoscion guatucupa* [30] türünde mide bezlerinin, kardiya ve fundus bölgelerinde bulunduğu, pilorusda ise bulunmadığı bildirilmiştir. *Oncorhynchus mykiss*'te ise [23] mide bezlerinin sadece fundus bölgesinde bulunduğu kardiya ve pilorus bölgelerinde ise bulunmadığı bildirilmiştir. *Hippoglossus hippoglossus*'ta [1] mide bezlerinin mide mukozası boyunca yer aldığı bildirilmiştir. Bu çalışmada da bu görüşü destekleyen bulgular elde edilmiştir. Mide bezlerinin *Muraena helena* midesinin her üç bölgesinde de yer aldığı tespit edilmiştir.

Farklı balık türlerinde tunika muskularis katmanınının kalın sirküler ve dışta ince longitudinal olmak üzere iki katlı düz kas tabakasından meydana geldiği tespit edilmiştir [31, 32, 26, 23]. *Muraena helena*'da da tunika muskularisin aynı şekilde tabakalaştığı gözlemlendi.

4.2. Mide histokimyası

Umbrina cirrosa'da PAS/AB uygulamasında midede hem asidik hem de nötral mukosubstansın gözlemlendiği, asidik mukosubstansın yani AB boyanmasının daha baskın olduğu bildirilmektedir [31]. PAS/AB pH 2.5 boyaması sonucunda *Engraulis anchoita* [24] ve *Stizostedion lucioperca* [33] türlerinin kardiya, fundus ve pilorus bölgelerinde orta kuvvetlilikte reaksiyon gözlemlendiği bildirilmiştir. *Cyprinus carpio* [33] türünde ise oldukça güçlü reaksiyon olduğu bildirilmiştir. Bu çalışmada ise kardiya orta kuvvette fundus ve pilorus ise güçlü kuvvette reaksiyon meydana geldiği gözlemlenmiştir.

KOH/PAS uygulamasında *Engraulis anchoita* [24] midesinde güçlü, *Micropogonias furnieri* [34] ve *Cyprinus carpio* [33] midesinde ise zayıf reaksiyon olduğu bildirilmiştir. *Stizostedion lucioperca* [33] türünde ise midede orta kuvvetlilikte bir reaksiyon olduğu belirtilmiştir. Bu çalışmada ise KOH/PAS kombine boya yönteminde *Muraena helena*'nın kardiya, fundus ve pilorus bölgelerinin zayıf reaksiyon gösterdiği gözlemlendi.

Streptomyces auratus mide epitel hücrelerinin sülfatlı asidik mukosubstans içerdiği ve AF boyama yöntemine karşı pozitif reaksiyon gösterdiği bildirilmiştir [35]. *Cyprinus carpio* ve *Stizostedion lucioperca*'da fundus ve pilorus epitel hücrelerinin sülfatlı asidik mukosubstans içeriğinin zayıf yoğunlukta olduğu bildirilmiştir [33]. Bu çalışmada ise *Streptomyces auratus* türü ile benzer şekilde *Muraena helena*' da AF boyama yöntemi ile kardiya, fundus ve pilorus bölgesinde ise çok güçlü reaksiyon verdiği gözlemlendi.

Chalcides chalcides midesinde AB pH 2.5 boyamasında reaksiyon gözlenmediği bildirilmiştir [36]. *Micropogonias furnieri* [34] midesinin tüm bölgelerinde asidik mukosubstans yoğunluğunun az olduğu, mide bölgeleri arasında yoğunluk açısından önemli bir farklılığın gözlenmediği, *Engraulis anchoita* [24] midesinde ise asidik mukosubstans yoğunluğunun orta düzeyde olduğu bildirilmiştir. *Stizostedion lucioperca* ve *Cyprinus carpio* [33] türlerinde midenin kardiya, fundus ve pilorus bölgelerinde güçlü reaksiyon olduğu bildirilmiştir. Bu çalışmada da *Muraena helena*'nın kardiya, fundus ve pilorus bölgelerinde *Stizostedion lucioperca* ve *Cyprinus carpio* [33] türleri ile benzer olarak AB pH 2.5 boyama yöntemi ile çok güçlü (++++) reaksiyon olduğu gözlemlendi.

Umbrina cirrosa [25] midesinde AB pH 1.0 uygulamasında oluşan reaksiyonun zayıf olduğu, *Engraulis anchoita*'da [24] ise reaksiyonun orta kuvvetlilikte olduğu bildirilmiştir. Bu çalışmada *Umbrina cirrosa* türü ile benzer olarak AB pH 1.0 uygulaması ile midenin üç bölümünde de zayıf (+) reaksiyon gözlemlendi.

Micropogonias furnieri [34]; *Stizostedion lucioperca*, *Cyprinus carpio* [33] ve *Umbrina cirrosa* [25] midelerinde AB pH 0.5 uygulamasında zayıf reaksiyon olduğu bildirilmiştir. *Micropogonias furnieri* [34] türünde AB pH 0.5 uygulamasında mide bölgeleri arasında önemli bir farklılığın olmadığı bildirilirken *Stizostedion lucioperca* [33] türünde yoğunluğun fundus bölgesinde daha fazla olduğu bildirilmiştir. Bu çalışmada *Muraena helena*'da midenin üç bölgesinde de reaksiyonun çok zayıf (\pm) olduğu gözlemlenmiştir.

Sonuç olarak bu çalışmada *Muraena helena*' da midenin bölümlerinin histolojik yapısının farklılıklar gösterdiği gözlemlendi. Midenin kardiya, fundus ve pilorus olmak üzere üç kısımdan oluştuğu gözlemlendi. Mide epitelinin tek katlı prizmatik örtü epitelinden oluştuğu ve foveola

gastrikaların derinliğinin pilorusa doğru giderek arttığı gözlemlendi. Midenin bütün bölümlerinde mide bezlerine rastlandı. Mide mukozasındaki farklı karaktere sahip mukosubstansın yerleşimini tespit etmek için doku kesitlerine uygulanan boyama yöntemlerinde kardiya, fundus, pilorus bölgelerinin güçlü sülfatlı asidik, siyalik asitli, asidik, karboksilli asidik ve nötr mukosubstansa sahip olduğu tespit edildi. Çalışmamızda *Muraena helena*'nın midesinin bütün bölgelerinde lamina epitelyalisteki mukosubstans içeriğinin asidik karakterli olduğu ve asidik boyalarla lamina epitelyalis ve mide bezlerinin daha güçlü reaksiyon oluşturduğu gözlemlendi.

Teşekkür

Bu çalışma sürecinde çalışmalarına destek veren danışman hocam Doç. Dr. Mehmet Rüşü ÖZEN'e, laboratuvar olanaklarından faydalanmamı sağlayan değerli hocam Doktor Öğretim Üyesi Kenan ÇINAR'a ve araştırma materyali olan Akdeniz Müren balığının avlanması konusunda büyük desteğini gördüğüm değerli hocam Akdeniz Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Öğretim Üyesi Prof. Dr. Mehmet GÖKOĞLU'na sonsuz teşekkür ederim.

Etik Beyanı/Declaration of Ethical Code

Bu çalışmada, "Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi" kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin "Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler" başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederiz.

Bu çalışmada kullanılan balıklar için gerekli olan izinler Tarım ve Orman Bakanlığı (15/08/2018 67852565-140.03.03- E.2410154; 30/01/2020 67852565-140.03.03- E.348181) ve Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Hayvan Deneyleri Yerel Etik Kurulu'ndan (2020/1) alındı.

Kaynakça

- [1] Eschmeyer, W. N., Fong, J. D. 2015. Speciesbyfamily /subfamily (Erişim Tarihi: 26.09.2019). <http://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/speciesbyfamily.asp>. Electronic version accessed 31Mart 2015.
- [2] Sallami B., Bearez P., Salem M. B., 2016. Age and Growth of *Muraena helena* (Muraenidae) from the Northcoast of Tunisia. *Cybium* 40(2), 155-161.
- [3] Jimenez, S., Schoenhut, S., Lozano, I. J., Gonzales, J. A., Sevilla R. G., Diez, A., Bautista, J. M. 2007. Morphological, Ecological, and Molecular Analyses Separate *Muraena augusti* from *Muraena helena* As A Valid Species. *American Society of Ichthyologists and Herpetologists, Copeia* 1, 101-113.
- [4] Matic-Skoko, S., Tutman, P., Petric, M., Skaramuca, D., Lusicic, D., Dikic, D., Skaramuca, B. 2011.

- Mediterranean morayeel *Muraena helena* (Pisces: Muraenidae): Biological Indices for Life History, Aquatic Biology, 13, 275-284.
- [5] Demirağ, Ö. 2013. Su Altında Ön Yargı: Akdeniz Mürenleri. [http2://dalalim.com/akdeniz-murenleri/](http://dalalim.com/akdeniz-murenleri/) (Erişim tarihi. 24.12.2018).
- [6] Bosi, G., DiGiancamillo, A., Arrighi, S., Domeneghini, C. 2004. An Immunohistochemical Study on The Neuroendocrine System In The Alimentary Canal of The Brown Trout, *Salmo trutta*, L., 1758. General and Comparative Endocrinology, 138(2), 166-81.
- [7] Bancroft, J. D. Stevens, A. 1996. Theory and Practice of Histological Techniques. Churchill Livingstone, Medical Div. Longman Group Ltd. Edinburgh, London and New York. 436 p.
- [8] Culling, C. F. A., Reid, P. E., Dunn, W. L., 1976. A new histochemical method for the identification and visualization of both side chain acylated and noacylated sialic acids. Journal of Histochemistry and Cytochemistry, 24, 1225-1230.
- [9] Luna, L. 1982. Manual of Histologic Staining Methods. American Registry of Pathology, McGraw-Hill Co. New York. p. 251.
- [10] Gomori, G. 1952. Gomori's Aldehyde Fuchsin stain. In: Cellular Pathology Technique. Butterworths, p. 238-240.
- [11] Lev, R., Spicer, S. S. 1964. Specific Staining of Sulphate Groups with Alcian Blue at low pH. Journal of Histochemistry and Cytochemistry. 12, 309.
- [12] Scott, J. E., Dorling, J. 1965. Differential Staining of Acid Glycosaminoglycans (Mucopolysaccharides) by Alcian Blue in Salt Solutions. Histochemie, 21, 277- 285.
- [13] Mayer, S. 1960. Aldehyde Fuchsin/Alcian Blue. In: Cellular Pathology Technique, Butterworths, p. 233.
- [14] McManus, J. F. A. 1948. Histological and Histochemical Uses of Periodic Acid. Stain Technology, 23, 99-108.
- [15] Mowry, R. W. 1956. Alcian Blue Techniques for The Histochemical Study of Acidic Carbohydrates. Journal of Histochemistry and Cytochemistry, 4, 407-408.
- [16] Al-Hussaini, A. H., Kholy, A.A., 1953. On The Functional Morphology of The Alimentary Tract of Some Omnivorous Fish. Proceedings of the Egyptian Academy of Sciences, 4, 17-39.
- [17] Murray, H. M., Wright, G. M., Goff, G. P. 1994. A Comparative Histological and Histochemical Study of The Stomach from Three Species of Pleuronectid, The Atlantic Halibut, *Hippoglossus hippoglossus*, The Yellowtail Flounder, *Pleuronectes ferruginea*, and The Winter Flounder, *Pleuronectes americanus*. Canadian Journal of Zoology, 72, 1199-1210.
- [18] Caceci, T., El-Haback, H. A., Smith, S. A., Smith, B. J., 1997. The Stomach of *Oreochromis niloticus* Has Three Regions. Journal of Fish Biology, 50 (5), 939-952.
- [19] Çınar, K., Diler, A., Boyacı, Ö., Bilgin, F. 1997. Histological Structure and Histochemical Characteristics of the Stomach of the *Salmo trutta macrostigma* and *Oncorhynchus mykiss*. Turkish Journal of Zoology, 21, 503-508.
- [20] Albrecht, M. P., Ferreira, M. F. N., Caramaschi, E. P. 2001. Anatomical Features and Histology of the Digestive Tract of Two Related Neotropical Omnivorous Fishes (Characiformes; Anostomidae). Journal of Fish Biology, 58, 419-430.
- [21] Arellano, J. M., Storch, V., Sarasquete, C. 2001. Histological and Histochemical Observations in The Stomach of The Senegal Sole. Histology and Histopathology, 16, 511-521.
- [22] Suiçmez, M., Ulus, E. 2005. A Study of the Anatomy, Histology and Ultrastructure of the Digestive Tract of *Orthrias angorae*, Steindachner, 1897. Foliabiologica (Kraków), 53(1-2), 95-100.
- [23] Aksoy, A. 2009. Gökkuşluğu alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) sindirim kanalının postnatal gelişimi ve endokrin hücre kompozisyonu üzerinde histolojik, histokimyasal ve immunohistokimyasal çalışmalar. SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 101 s, Isparta.
- [24] Diaz, A. O., Garcia, A. M., Devincenti, C. V., Goldemberg, A. L. 2003. Morphological and Histochemical Characterization of the Mucosa of the Digestive Tract in *Engraulis anchoita*. Anatomia Histologia Embryologia, 32, 341-346.
- [25] Pedini, V., Scocco, P., Radaelli, G., Fagioli, O., Ceccarelli, P., 2001. Carbohydrate Histochemistry of The Alimentary Canal of The Shi Drum, *Umbrina cirrosa* L. Anatomia Histologia Embryologia, 30, 345-349.
- [26] Rodríguez, A., Gisbert, E., Rodríguez, G., Castelló-Orvay, F. 2005. Histopathological Observations in European Glass Eels (*Anguilla anguilla*) Reared Under Different Diets and Salinities. Aquaculture, 244(1-4), 203- 214.
- [27] Chatchavalvanich, K., Marcos, R., Poonpirom, J., Thongpan, A., Rocha, E. 2006. Histology of The Digestive Tract of The Freshwater Stingray *Himantura signifer* Compagno and Roberts, 1982 (Elasmobranchii, Dasyatidae). Anatomy and Embryology, 211(5), 507-518.
- [28] Hellberg, H., Bjerkas, I. 2000. The Anatomy of The Oesophagus, Stomach and Intestine in Common Wolffish (*Anarchichas lupus* L.): A Basis for

Diagnostic Work and Research. Acta Veterinaria Scandinavica, 41, 283-297.

- [29] Carrasson, M., Grau, A., Dopazo, L. R., Crespo, S., 2006. A Histological, Histochemical and Ultrastructural Study of The Digestive Tract of *Dentex dentex* (Pisces, Sparidae). Histology and Histopathology, 21(4-6), 579-593.
- [30] Díaz, A. O., Garcia, A. M., Figueroa, D. E., Goldemberg, A. L. 2008. Glycoconjugates in the mucosa of the digestive tract of *Cynoscion guatucupa*. A histochemical study. Acta Histochemica, 110, 76-85.
- [31] Grau, A., Crespo, S., Sarasquete, M. C., González de Canales M. L. 1992. The digestive tract of the amberjack *Seriola dumerili*, Risso: Light and Scanning lectronmicroscope Study. Journal of FishBiology, 41, 287-303.
- [32] Morrison, C. M., Wright, J. R. 1999. A Study of The Histology of The Digestive Tract of The *Nile Tilapia*. Journal of Fish Biology, 54, 597-606.
- [33] Şenol, N. 2009. Sazan (*Cyprinus carpio*) ve Sudak (*Stizostedion lucioperca*) Balıklarında Gastrointestinal Kanalın Histokimyasal Yapısı ve Bazı Peptidlerin Lokalizasyonu. SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji ABD, Doktora Tezi 76 s. Isparta.
- [34] Diaz, A. O., Garcia, A. M., Figueroa, D. E., Goldemberg, A. L. 2008. The mucosa of digestive tract in *Micropogonias furnieri*: A light and electron microscope approach. Anatomia Histologia Embryologia, 37, 251-256.
- [35] Elbal, M. T., Agulleiro, M. T. 1986. An histochemical and ultrastructural study of the gut of *Sparus auratus* (Teleostei). Journal of Submicroscopic Cytology, 18, 2, 335-347.
- [36] Ferri, D., Liquori, G.E., Scillitani, G. 1999. Morphological and Histochemical Variations of Mucous and Oxynticopepticcells in the Stomach of the Seps, *Chalcides chalcides*. Journal of Anatomy, 194, 71-77.

Bu çalışmada kullanılan balıklar için gerekli olan izinler Tarım ve Orman Bakanlığı (15/08/2018 67852565-140.03.03- E.2410154; 30/01/2020 67852565-140.03.03- E.348181) ve Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Hayvan Deneyleri Yerel Etik Kurulu'ndan (2020/1) alındı.

Farklı Taşıyıcı Sistemlerin Gömülü Enerji ve Gömülü Karbon Değerlerinin Müstakil Konutlar Bağlamında Karşılaştırılması

Hatice Sena AZKUR¹, Fatih CANAN²

¹Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, 42250, Konya, Türkiye

²Konya Teknik Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Mimarlık Bölümü, 42250, Konya, Türkiye

(Alınış / Received: 13.01.2021, Kabul / Accepted: 26.11.2021, Online Yayınlanma / Published Online: 20.04.2022)

Anahtar Kelimeler

Yaşam döngüsü
değerlendirmesi,
Gömülü enerji,
Gömülü karbon,
Sürdürülebilir mimarlık

Özet: Gömülü enerji, yapı malzemelerinin hammaddelerinin çıkarılması, üretimi, nakliyesi vb. süreçlerinde harcanan enerjinin toplamını ifade etmektedir. Gömülü karbon, malzemenin üretim süreci boyunca doğaya ne kadar sera gazı salındığının ölçüsüdür. Bu çalışmada yapının inşa öncesi evresine dikkat çekerek, bu süreçte tüketilen enerjinin ve doğaya yapılan karbon salınımının taşıyıcı sistemler bağlamında değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu değerlendirme için gömülü karbon ve enerjiyi ölçen “Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD)” yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem ile yapıda kullanılan malzemelerin gömülü karbon ve gömülü enerjileri sayısal veriler şeklinde elde edilebilmektedir. Konya’da ahşap müstakil bir konut alan çalışması için seçilmiş, bu yapının farklı taşıyıcı sistemlerle (betonarme ve çelik) alternatifleri üretilerek çevresel etkileri karşılaştırılmıştır. Ahşap yapı, bu üç yapı sistemleri arasında en düşük karbon ve enerji değerlerini vermesi bakımından en çevre dostu alternatif olmuştur. Betonarme konut ve çelik konut sırasıyla onu izlemiştir. Hem düşük üretim enerjisi hem de düşük karbon salınımı avantajıyla müstakil konutlar bağlamında ahşap taşıyıcı sistemlerin en sürdürülebilir alternatif olduğu gözlemlenmiştir.

Comparison of embodied energy and embodied carbon values of different structure systems in the context of single-detached housing

Keywords

Life cycle assessment,
Embodied energy,
Embodied carbon,
Sustainable architecture

Abstract: Embodied energy represents the sum of the energy consumed during the process that includes extraction, production, transportation of building materials. Embodied carbon is the measure of how much greenhouse gas is released to the nature during the production process of the material. In this study it’s aimed to draw attention to the pre-construction phase of buildings and to evaluate the energy consumed and carbon emission in the context of structure systems. For the study “Life Cycle Assessment (LCA)” method which measures embodied carbon and energy is used. By the help of this method, embodied carbon and embodied energy of the materials used in the building can be obtained as numerical data. A wooden single-detached house in Konya was chosen as case study and alternatives created with different structural systems (reinforced concrete and steel structure) and their environmental impacts were compared in the context of embodied carbon and energy. Among these three construction systems, wooden structure appeared as the most environmentally friendly construction system in terms of lowest carbon and energy values. Reinforced concrete alternative and steel alternative followed it respectively. Wooden structures have been observed to be the most sustainable alternative in the context of single-detached housing with the advantage of both low production energy and low carbon emissions.

1. Giriş

Çevre kirliliği, küresel ısınma ve bunlara bağlı iklim değişikliği çağımızın en önemli sorunlarından biridir. Modern yaşamın büyük enerji ihtiyacını karşılamak

için doğal ve kısıtlı kaynakların bilinçsiz tüketimi, bunlar sonucunda doğaya salınan karbon emisyonları çevre kirliliği yaratarak ekolojik dengeye zarar verecek boyutlara ulaşmıştır. Doğal Hayatı Koruma Vakfı’nın (WWF) 2010 yılında Türkiye için hazırladığı

*İlgili yazar: senaazkur@gmail.com

iklim değişikliği raporuna göre küresel ısınmanın neden olduğu sıcaklık artışının 2030 yılının sonuna kadar sınırlı kalacağı, ancak bu tarihten itibaren sıcaklıkların Türkiye ve Konya Havzası'nda hızla artacağı görülmüştür. Kış mevsimindeki artışların yer yer 4°C civarına, yaz mevsimindeki artışların ise 6°C'ye ulaşacağı öngörülmektedir [1]. Özetle Türkiye'nin yakın gelecekte daha sıcak, daha kurak ve yağışlar açısından daha belirsiz bir iklim yapısına sahip olacağı bilim insanlarının yaptığı modellemelerle ispatlanmıştır. Bu veriler ışığında toplam enerji tüketiminin %36'sından ve enerji tüketimi ile ilişkili karbondioksit emisyonlarının %39'undan sorumlu olan binalarda ve inşaat sektöründe iyileştirme yapmak ve daha çevreci yaklaşımlar benimsemek bir zorunluluk haline gelmiştir [2].

Yapılar sadece kullanım aşamasında değil üretim aşamasında da enerji tüketirler ve bir takım çevresel etkilere sebep olurlar; hammaddenin çıkarılması, şantiye alanına taşınması gibi durumlar fosil yakıtların kullanıldığı doğaya karbon salınımına neden olan süreçlerdir [3]. Yine benzer şekilde ömrünü tamamlayan yapının yıkımı sırasında bu etkiler gerçekleşir. Sonuç olarak yapının yalnızca kullanım aşamasında değil tüm yaşam döngüsünü kapsayan bir enerji tüketimi ve çevresel emisyonlar söz konusudur. Ürün ve malzemedan kaynaklanan bu etkilerin çok iyi bilinerek, güvenilir bir yöntemle ölçülmesi, karşılaştırılması, yayınlanması bir ihtiyaç haline gelmiştir; "Yaşam döngüsü değerlendirmesi (YDD)" bu konuda standart bir yaklaşım olarak benimsenmiştir [4].

Binalarda YDD, yapıyı oluşturacak her bir bileşenin hammadde aşamasından başlayarak, yapının üretim, kullanım ve yıkım evrelerini de içerecek şekilde tükettiği toplam enerjiyi analiz eder. Bu enerji için tüketilen doğal kaynakların bir sonucu olan çevresel etkileri somut bir şekilde ortaya koyar. Bu analiz sonucunda tasarım revize edilip analiz tekrarlanabilir, farklı alternatifler üretilip karşılaştırılabilir ve doğal çevreye en uygun seçenek belirlenebilir.

Yapı malzemelerinin bina yapım evresine gelene kadar tükettiği enerjinin yaşam döngüsü boyunca tüketilen enerjinin %10'u ile %30'u arasında değişebileceği gözlemlenmiştir [5]. Bu yüzdeler yapının sadece kullanım aşamasındaki enerji etkinliğinin değil, yapı öncesi evrenin de önemine vurgu yapmaktadır. Bu sebeple yapılan alan çalışması yapı öncesi evreyi konu almaktadır. Binanın yaşam döngüsünde yapı öncesi evre, yapı malzemelerinin ve ürünlerinin üretimini kapsar. Üretim evresinde hammaddenin doğadan çıkarılması için çalışan makinelerin kullandıkları yakıt, sahada kullanılan elektrik, hammaddenin fabrikaya nakledilmesinde kullanılan yakıt, üretim sürecinde gereken enerjiler gibi pek çok işlem doğaya karbon salınımına neden olmaktadır. Tüm bu değerler YDD ile ölçülebilmekte

ve malzemelerin üretimi için gereken enerji net bir şekilde elde edilebilmektedir. Yapıyı oluşturan ürünlerin ve malzemelerin yapıda kullanılacak miktarı ölçüsünde doğaya etkileri olacağından, yaşam döngüsü değerlendirmesi verileri incelenerek daha düşük karbon emisyonuna sahip olan malzeme ve ürünler tercih edilebilir [6].

90'lı yıllarda başlayan YDD çalışmaları dünyada hızla gelişirken Türkiye'deki çalışmaların başlangıcı 2000'lere rastlar. Konu ile ilgili başlıca çalışmalar şu şekildedir;

Adalberth (1997) çalışmasında, yapıların üretim, kullanım ve yıkım aşamasında tükettiği enerjinin hesaplanması için bir metod önermiştir [7]. Kim ve Rigdon'ın (1998) çalışmalarında sürdürülebilir tasarım üzerine stratejiler YDD bağlamında incelenmiştir [8]. Fay ve arkadaşlarının (2000) çalışmasında, yaşam döngüsü değerlendirmesinin tasarım kararları aşamasında sağlayabileceği yararları bahsedilmiştir [9]. Canan'ın (2002) tez çalışması Türkiye'de bu konuda yapılmış ilk çalışmalardan biridir. Konya'da mevcut bir toplu konutun yaşam döngüsü boyunca tükettiği enerji ve yapının çevresel etkileri incelenmiştir. Mevcut projede iyileştirmeler yapılarak her iki projenin çevresel etkileri karşılaştırılmıştır [10]. Tuna Taygun'un (2005) doktora çalışmasında, yapı ürünlerinin yaşam döngüsü değerlendirmesine yönelik bir model önerilmiştir. [11]. TS EN ISO 14040 :2006, YDD metodunun uygulama ve esaslarını anlatan ISO standartlarının 2007 yılında yayınlanan Türkçe tercümesidir [12]. Tanaçan'ın (2012) çalışmasında, geçmişten günümüze artan enerji ihtiyacı, çevre problemleri ve bu süreçte atılan adımlar tarihsel sıra ile ele alınmıştır [13]. Yüceer'in (2015) kitabı, yapıların enerji etkinliği ve çevresel etkileri konularını sistematik bir şekilde aktaran literatür çalışmasıdır [14]. Chau ve arkadaşlarının (2015) çalışması son yıllarda yaşam döngüsü değerlendirmesi ile ilgili yapılan araştırmaları bir araya getiren bir derleme çalışmasıdır [15]. Dewolf'un (2017) doktora tezinde ahşap, çelik ve betonarme yapı sistemleri çevresel bakış açısıyla değerlendirilmiştir [16]. Gervasio ve Dimova'nın (2018) raporu, Avrupa Komisyonu'nun teknik bir rapordur ve bina düzeyinde YDD'nin nasıl yapılması gerektiğini detaylıca anlatmaktadır [17].

TÜİK verilerine göre 2020 yılı itibariyle Türkiye'de yapıım izni alınan binaların %78'ini konutlar oluşturmaktadır [18]. Özellikle müstakil konutların incelenmesinin sebebi son yıllarda bu tip konutlara talebin artmasıdır. 2006 yılında Koman ve Eren'in yeni konut edinme ile ilgili düşünceler bağlamında yaptığı araştırmada kullanıcıların %85'inin müstakil konutlarda yaşamak istedikleri tespit edilmiştir [19]. Covid-19 pandemisi ile birlikte gündeme gelen sosyal kısıtlamalar da müstakil bahçeli konutlara talebi arttırmıştır. Kullanıcıya özel rekreasyon alanının bulunması, çok katlı konutlarda olduğu gibi ortak kullanımlı sosyal ve sirkülasyon alanlarının

bulunmaması gibi nitelikleri, müstakil konutları sosyal izolasyon açısından avantajlı bir konuma taşımıştır.

Yapı yaşam döngüsü malzemelerin üretimi, inşa, kullanım ve yıkım süreçlerinden oluşur. Ülkemizde sürdürülebilir ve ekolojik mimarlık konusunda yapılan çalışmalar daha çok yapıların kullanım aşamasındaki enerji verimliliği üzerinde yoğunlaşmıştır. Bu çalışmada ise yapının “yapı öncesi” yani malzemelerin üretimi evresine dikkat çekmek, bu süreçte tüketilen enerjinin ve doğaya yapılan karbon salınımının değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu sebeple çalışmanın kapsamı yapının hammadde çıkarımı ile başlayıp inşa aşamasına kadar devam eden bölümü ile sınırlandırılmıştır. Taşıyıcı sistemlerin özellikle incelenmesinin sebebi, strüktürlerin kütleli ağırlığının binanın tamamına kıyaslandığında oldukça baskın olması ve diğer kalemlere göre en çok enerjiyi tüketen ve en çok karbon salınımına neden olan kısmını oluşturmasıdır. Daha önce yapılan çalışmalarda yapıların belli bölümlerinin farklı malzemeler ile üretilmesi halinde tüketilen enerji ve doğaya salınan karbon miktarları karşılaştırılmıştır [20-22]. Bu çalışma ise bir konutun tamamı üzerinde ahşap, betonarme ve çelik yapı sistemlerinin uygulanarak karşılaştırılması bakımından özgündür.

2. Materyal ve Metot

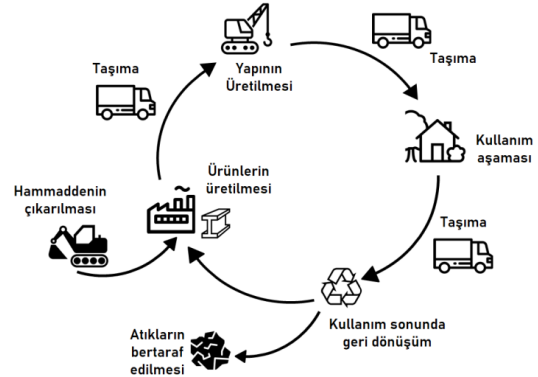
Konya’da 2013 yılında inşa edilmiş müstakil bir konut alan çalışması için seçilmiştir. Mevcut konutun taşıyıcı sistemi ahşap çerçeve olarak tasarlanmış ve uygulanmıştır. Çalışma kapsamında seçilen konutun mimari tasarım projesi aynı kalacak şekilde, taşıyıcı sistemi değiştirilerek alternatif iki proje hazırlanmıştır. Bunlardan ilki betonarme, ikincisi ise çelik konstrüksiyonlu alternatiftir. Bu alternatiflerin statik hesaplamaları yapılmış ve mimari projeleri çizilerek metrajları çıkarılmıştır. Elde edilen miktarlar binaların sürdürülebilirliği konusunda hazırlanmış YDD esaslı bir veritabanı olan ICE (The Inventory of Carbon and Energy) veritabanı kullanılarak, alternatiflerin gömülü karbon ve gömülü enerji verileri elde edilmiş ve karşılaştırılmıştır.

2.1. YDD, Gömülü Enerji ve Gömülü Karbon

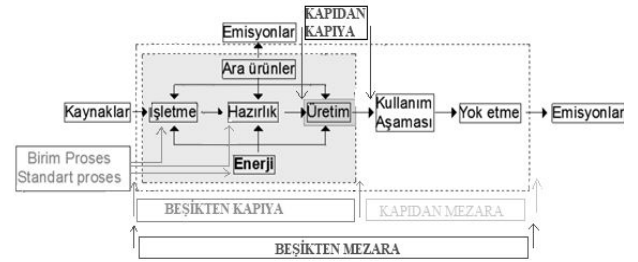
Binalar özelinde yaşam döngüsü değerlendirmesine bakıldığında yapı malzemelerinin hammaddelerinin kaynaktan çıkarılması ile başlayıp, yapının üretimi, kullanım aşaması ve binanın kullanım ömrünün tamamlanması ile başlayan geri dönüşüm evrelerini içeren sistematik bir analiz olduğu görülür (Şekil 1).

Yaşam döngüsü kaynaktan yaşam sonuna ölçülebilen bir sistem olması sebebiyle “beşikten mezara (cradle to grave)” terimi ile ifade edilir (Şekil 2). “Beşik” hammaddenin çıkarılması ile başlayan malzemenin üretimi için gerekli ilk adımı ifade eder. “Mezar” ise yapı malzemesinin kullanım ömrünü tamamladığı

evreyi ifade etmektedir. Beşikten mezara değerlendirme sırasında malzemenin işlenmesi sırasındaki ara adımlar da “kapı” olarak ifade edilir. YDD “beşikten kapıya”, “beşikten mezara” ya da “beşikten beşiğe” şeklinde ele alınabilir. YDD’nin en kapsamlı şekli “beşikten beşiğe (cradle to cradle)” olanıdır. Beşikten beşiğe hali ile yaşam sonundan sonra gelen geri dönüştürme, yeniden kullanma, yeniden hammadde kaynağına dönüşme gibi durumlar ile yaşam döngüsü çemberi kapanarak tam bir döngüsellik söz konusu olur.



Şekil 1. Yaşam döngüsü çemberi



Şekil 2. YDD Süreci [23]

Gömülü karbon

Gömülü karbon kavramını anlamak için öncelikle sera gazlarından bahsetmek gerekir. Sera gazları, atmosferdeki ısıyı emen ve geri yansıtan gazlardır. Sera gazlarının bu davranışı dünyamızın atmosferini olması gerekenden daha sıcak tutar. Bu da sera etkisine yani küresel ısınmaya yol açar. Küresel ısınmanın doğal bir sonucu olarak da iklim değişiklikleri meydana gelmektedir.

Küresel ısınma potansiyeli, yabancı literatürde “Global Warming Potential (GWP)” olarak geçer ve sera gazlarının atmosferde 100 yıllık sürede neden olduğu ısınma miktarını gösterir. Karbondioksitin küresel ısınma potansiyel değeri 1 kabul edilir ve diğer gazların değerleri karbondioksitin neden olduğu ısınma miktarı ile kıyaslanır. Örneğin metan gazının küresel ısınma potansiyeli karbondioksitten 25 kat daha fazladır.

İnsan faaliyetleri tarafından atmosfere salınan en yaygın gaz karbondioksittir. Bunun bir sonucu olarak bazen tüm sera gazlarının etkilerini ifade ederken de karbondioksit terimi kullanılır fakat bu literatürde

karışıklıklara sebep olmaktadır. Bunun için bilim insanları diğer sera gazlarının da etkilerini ifade etmek için “karbondioksit eşdeğeri (carbon dioxide equivalent)” birimini oluşturmuşlardır. Kısaca “CO₂e” olarak gösterilir. Bir bölgedeki farklı sera gazlarını tanımlamak için kullanılan ortak bir birimdir. Bir miktar sera gazı ölçüsü o gazın “GWP” değeri ile çarpılarak “CO₂e” olarak tanımlanabilir. Örneğin, 1 kilo metan yayılırsa bu 25 kilo CO₂e olarak ifade edilebilir [24].

Gömülü karbon, malzemenin üretim süreci boyunca doğaya ne kadar sera gazı salındığının ölçüsüdür; inşaat veya imalatın karbon maliyeti olarak tanımlanır. Ürünün fabrikadan ayrılmadan önceki hammadde çıkarımı, üretimi, nakliyesi ve üretim prosesleri dahil olmak üzere ürün veya hizmetlerle ilişkili doğrudan ve dolaylı süreçlerden salınan karbondioksit ve diğer sera gazlarının toplamı anlamına gelir [25].

Gömülü enerji

Bir ürünün çevresel etkilerini tespit etmenin en iyi yollarından biri gömülü enerjisini ölçmektir. Gömülü enerji malzemelerin üretilmesi için gereken toplam enerjiyi ifade eder. Hammaddenin çeşitli makineler yardımıyla kaynaktan çıkarılması, fabrikanın aydınlatılması ve ısıtılması, fabrikanın bakımı, makinelerin enerji tüketimi, hammadde ve diğer malzemelerin taşınmasında harcanan enerjinin tamamı gömülü enerjiyi oluşturur [26]. Bir tuğlanın, bir pencerenin ya da bütün bir evin gömülü enerjisini hesaplamak mümkündür. Gömülü enerjisi düşük malzemeleri kullanmak çevresel etkileri en aza indirmiş yapılar üretmede oldukça önemlidir [27].

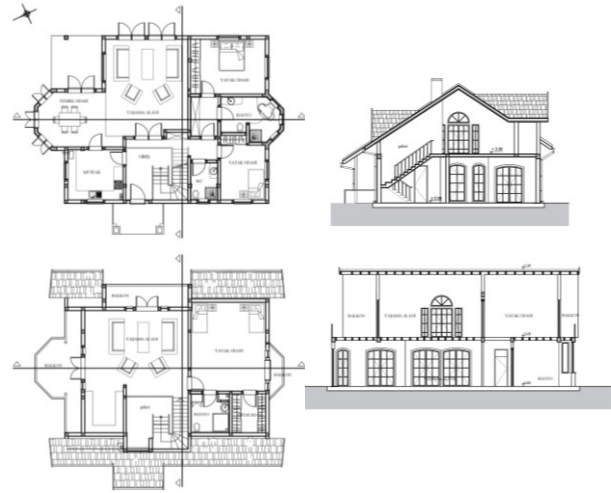
2.2. Alan Çalışması

Çalışma için Konya ili Sille Ak mahallesinde 2013 yılında inşa edilmiş müstakil bir konut seçilmiştir (Akyel Evi). Gözay & Koçkuzu Mimarlık tarafından tasarlanmıştır. Seçilen konut ayrıık düzende inşa edilmiş zemin ve çatı katından oluşan bir yapıdır (Şekil 3). Konutun planı ve kesitleri Şekil 4’te görülmektedir.

Alan çalışması “beşikten kapiya” kadarki süreyi kapsamaktadır. Bu süre yaşam döngüsü değerlendirmesi metodolojisinde hammadde temini, taşıma ve ürünün imalatı aşamalarını içeren modüldür. Etki değerlendirmesi gömülü enerji ve gömülü karbon ile sınırlandırılmıştır. Gömülü karbon katsayıları çeşitli sera gazlarını içerecek şekilde kgCO₂e olarak belirtilmiştir. Yapı malzemesinin binada kullanılan miktarının kilogram biriminden değeri veri tabanında bulunan katsayılarla çarpılarak binanın toplam gömülü enerjisi ve gömülü karbon değerleri hesaplanmıştır.



Şekil 3. Akyel Evi [28]



Şekil 4. Akyel Evi plan ve kesitleri

3. Bulgular

3.1. Ahşap Konut (Akyel Evi)

Akyel evi betonarme radye temel üzerine oturan ve geri kalan strüktürü itibari ile tamamen ahşap bir yapıdır. Kolonlarda yapısal ahşap, kirişlerde lamine ahşap malzeme kullanılmıştır. Isı yalıtımı için taş yünü tercih edilmiştir. Ahşap iskeletin boşluklarına doldurmak suretiyle dış duvarlara ve çatıya taş yünü ile ısı yalıtımı yapılmıştır. Üzerine osb levhalar yerleştirilerek dış duvarlarda ve çatıda tüm bina su yalıtım membranı ile kaplanmıştır. Çatı kaplaması olarak kiremit tercih edilmiştir. Son olarak cepheler ve iç duvarlar kullanıcının isteği doğrultusunda doğal ahşap lambri ile bitirilmiştir. Ahşap konutun ana yapı elemanlarında kullanılan malzemeler kısaca Tablo 1’de özetlenmiştir.

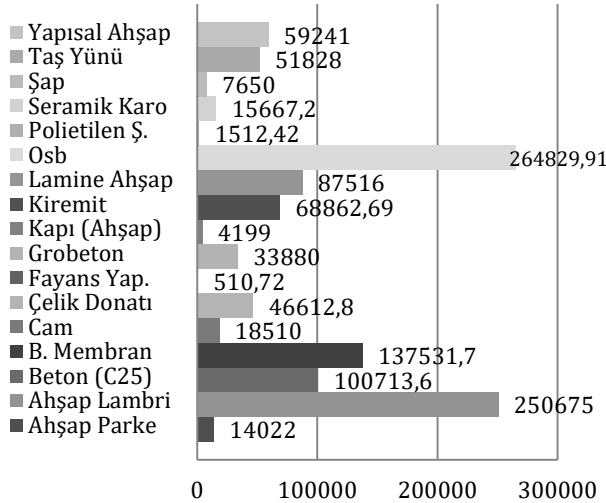
Tablo 1. Ahşap konutun ana yapı elemanlarının malzemeleri

| Yapı Elemanı | Yapı Malzemesi |
|---------------------|-----------------------------|
| Temel | Betonarme Radye |
| Kolon | Yapısal Ahşap |
| Kiriş | Lamine Ahşap |
| Döşeme | Lamine Ahşap + Osb |
| Duvar | Ahşap Dikme + Osb |
| Çatı | Ahşap Taşıyıcılar + Kiremit |
| Pencere | Ahşap Kasa + Cam |
| Kapı | Ahşap Kasa ve Kanat |

Tablo 2’de ilk sütunda yapı malzemelerinin isimleri, ikinci sütunda ise yapıda kullanılan toplam ağırlıklarının kilogram biriminden değerleri yer almaktadır. Üçüncü ve beşinci sütunlardaki birim gömülü enerji ve gömülü karbon değerleri ICE veri tabanından alınan değerlerdir. Dördüncü ve altıncı sütunda ise yapı malzemelerinin ağırlıklarının, bu birim değerler ile çarpılarak elde edilmiş değerleri “megajul” ve “kilo karbondioksit eşdeğeri” cinsinden belirtilmiştir.

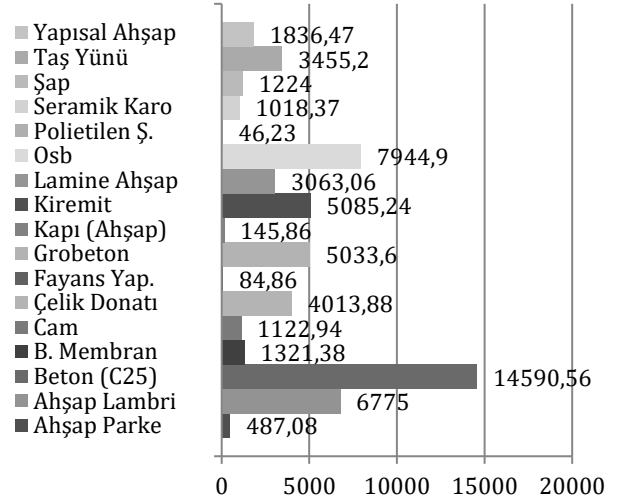
Çalışma sonucunda elde edilen grafiklere göre gömülü enerjisi en baskın yapı malzemesi osb levha ve binanın hem iç hem de dış yüzeyini kaplayan ahşap lambri olmuştur (Şekil 5). Şekil 6’dan elde edilen verilere göre, yapı malzemeleri arasında eşdeğer karbon değeri baskın çıkan malzeme yapının yalnızca temelinde kullanılmasına rağmen beton olmuştur. Yapının büyük kısmını oluşturan ahşap malzemelerin üretim aşamasında karbon salınımının betona göre daha az olması sebebi ile daha düşük gömülü karbon değerleri elde edilmiştir.

Toplam Gömülü Enerji Değerleri (MJ)



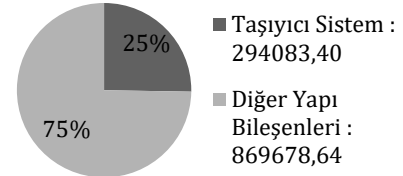
Şekil 5. Yapı malzemelerinin ahşap konuttaki toplam gömülü enerjilerinin karşılaştırılması

Toplam Gömülü Karbon Değerleri (kgCO₂e)



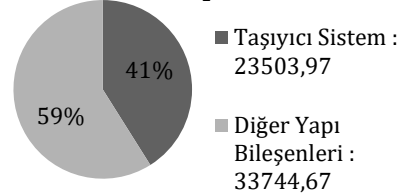
Şekil 6. Yapı malzemelerinin ahşap konuttaki toplam gömülü karbonlarının karşılaştırılması

Ahşap Konut Gömülü Enerji (MJ)



Şekil 7. Taşıyıcı sistemin toplam gömülü enerjideki payı

Ahşap Konut Gömülü Karbon (kgCO₂e)



Şekil 8. Taşıyıcı sistemin toplam gömülü karbondaki payı

Şekil 7 ve 8’de ahşap konutun gömülü enerjisi ve gömülü karbon değeri taşıyıcı sistem ve diğer yapı bileşenleri bağlamında karşılaştırılmıştır.

Tablo 2. Ahşap konutun malzemelere göre gömülü karbon ve gömülü enerji değerleri

| | Yapı Malzemeleri | Metraj (kg) | G.E.(MJ/kg) | G.E.(MJ) | G.K.(kgCO ₂ e/kg) | G.K.(kgCO ₂ e) | |
|------------------|------------------------------|---------------|-------------|-----------|------------------------------|---------------------------|-----------------|
| Taşıyıcı S. | Beton (C25) | 129.120,00 | 0,78 | 100713,60 | 0,113 | 14590,56 | |
| | Çelik Donatı | 2.158,00 | 21,60 | 46612,80 | 1,860 | 4013,88 | |
| | Lamine Ahşap | 7.293,00 | 12,00 | 87516,00 | 0,420 | 3063,06 | |
| | Yapısal Ahşap | 5.924,10 | 10,00 | 59241,00 | 0,310 | 1836,47 | |
| | Ahşap Parke | 1.476,00 | 9,50 | 14022,00 | 0,330 | 487,08 | |
| Diğer Malzemeler | Ahşap Lambri (İç Duv., Cep.) | 33.875,00 | 7,40 | 250675,00 | 0,200 | 6775,00 | |
| | Bitümlü Membran | 2.696,70 | 51,00 | 137531,70 | 0,490 | 1321,38 | |
| | Cam | 1.234,00 | 15,00 | 18510,00 | 0,910 | 1122,94 | |
| | Fayans Yapış.(Çimento Es.) | 384,00 | 1,33 | 510,72 | 0,221 | 84,86 | |
| | Grobeton (C8/10) | 48.400,00 | 0,70 | 33880,00 | 0,104 | 5033,60 | |
| | Kapı (Ahşap) | 442,00 | 9,50 | 4199,00 | 0,330 | 145,86 | |
| | Kiremit | 10.594,26 | 6,50 | 68862,69 | 0,480 | 5085,24 | |
| | Os b | 17.655,33 | 15,00 | 264829,91 | 0,450 | 7944,90 | |
| | Polietilen Şilte | 18,20 | 83,10 | 1512,42 | 2,540 | 46,23 | |
| | Seramik Karo | 1.305,60 | 12,00 | 15667,20 | 0,780 | 1018,37 | |
| | Şap | 9.000,00 | 0,85 | 7650,00 | 0,136 | 1224,00 | |
| | Taş Yünü | 3.085,00 | 16,80 | 51828,00 | 1,120 | 3455,20 | |
| | | TOPLAM | | | 1163762,04 | | 57248,64 |

G.E. = Gömülü Enerji, G.K. = Gömülü Karbon

Grafiklerden elde edilen verilere göre konutun taşıyıcı sistemi gömülü enerjinin %25'inden, gömülü karbonun %41'inden sorumludur.

3.2. Betonarme Konut Alternatifi

Alan çalışması için ahşap konuta alternatif olarak seçilen taşıyıcı sistemlerden ilki betonarme taşıyıcı sistemdir. Betonarme radye temel üzerine betonarme kolonlar ve asmolen döşeme (dişli döşeme) ile statik çözüm gerçekleştirilmiştir. Betonarme alternatif için asmolen döşemede yaygın ve ekonomik bir çözüm olan boşluklu asmolen tuğla, bölücü duvarlar için boşluklu tuğla kullanılmıştır. Isı yalıtımı için orijinal projedeki gibi taş yünü seçilmiştir. Çatı taşıyıcıları için iki alternatif üretilmiştir. Ülkemizde betonarme konutların çatılarında ahşap taşıyıcı sistem sıklıkla tercih edilmektedir. Bu sebeple ilk betonarme konut alternatifinde çatı taşıyıcıları ahşap seçilmiş, ikinci alternatifte ise çatı katı taşıyıcıları betonarme olarak tasarlanmıştır. İkinci alternatifte eğimli betonarme çatı kullanılarak yapı bütünüyle betonarme bir yapıyla tasarlanmıştır (Tablo 3).

3.2.1. Betonarme konut birinci alternatif

Betonarme taşıyıcı sistem ile üretilen birinci alternatif proje "Betonarme-1" olarak adlandırılmıştır. Bu çalışmanın zemin katında betonarme taşıyıcılar, çatı katında ise ahşap taşıyıcılar kullanılmıştır. Çatı katında ahşap taşıyıcılarla birlikte delikli tuğla duvar uygulaması yapılmıştır. Betonarme-1 alternatifinde kullanılan başlıca yapı malzemelerinin gömülü enerji ve gömülü karbon cinsinden karşılıkları Tablo 4'te yer almaktadır. Taşıyıcı sistemi oluşturan malzemeler koyu harflerle gösterilmiştir. Dişli döşemenin boşluklarını dolduran bir dolgu malzemesi olan asmolen tuğlası, taşıyıcı niteliği olmamasına karşın yapı sistemi bir parçası olduğundan taşıyıcı

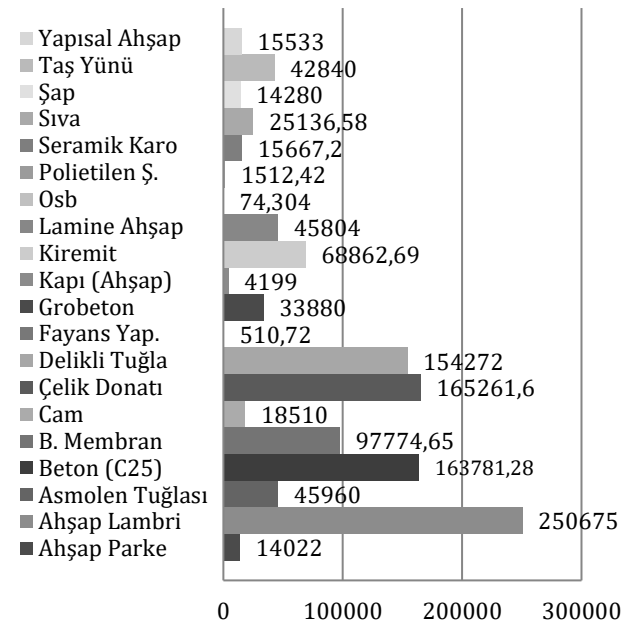
sistemi oluşturan malzemeler grubunda gösterilmiştir.

Tablo 3. Betonarme konutun ana yapı elemanlarının malzemeleri

| Yapı Elemanı | Yapı Malzemesi |
|--------------|------------------------------|
| Temel | Betonarme Radye |
| Kolon | Betonarme |
| Kiriş | Betonarme |
| Döşeme | Betonarme Asmolen |
| Duvar | Delikli Tuğla |
| Çatı | Ahşap Taşıyıcılar* + Kiremit |
| Pencere | Ahşap Kasa + Cam |
| Kapı | Ahşap Kasa ve Kanat |

*Betonarme-1 alternatifinde ahşap olan çatı strüktürü Betonarme-2'de eğimli betonarme çatı şeklinde farklılaşmaktadır.

Toplam Gömülü Enerji Değerleri (MJ)



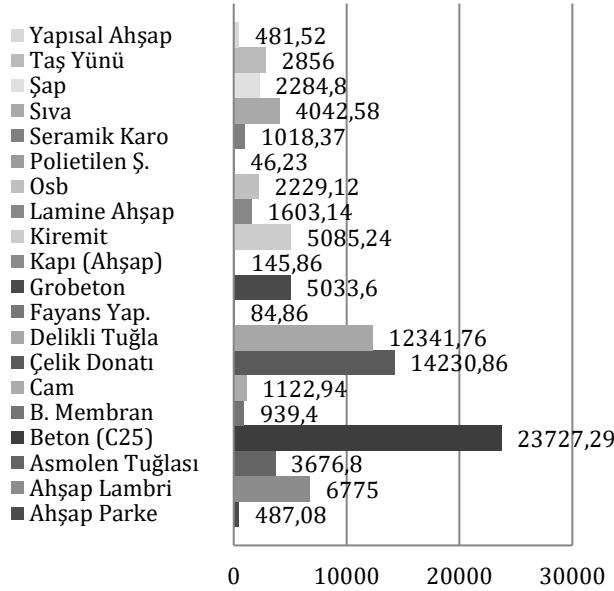
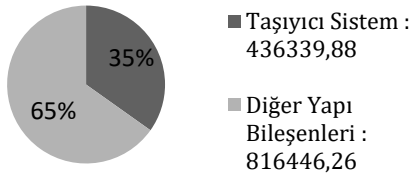
Şekil 9. Yapı malzemelerinin Betonarme-1'deki toplam gömülü enerjilerinin karşılaştırılması

Tablo 4. Betonarme-1 konutunun malzemelere göre gömülü karbon ve gömülü enerji değerleri

| Yapı Malzemeleri | Metraj (kg) | G.E. (MJ/kg) | G.E. (MJ) | G.K. (kgCO ₂ e/kg) | G.K. (kgCO ₂ e) |
|------------------------------|-------------|--------------|-------------------|-------------------------------|----------------------------|
| Taşıyıcı S. | | | | | |
| Asmolen Tuğlası | 15320,00 | 3,00 | 45960,00 | 0,240 | 3676,80 |
| Beton C25 | 209976,00 | 0,78 | 163781,28 | 0,113 | 23727,29 |
| Çelik Donatı | 7651,00 | 21,60 | 165261,60 | 1,860 | 14230,86 |
| Lamine Ahşap | 3817,00 | 12,00 | 45804,00 | 0,420 | 1603,14 |
| Yapısal Ahşap | 1553,30 | 10,00 | 15533,00 | 0,310 | 481,52 |
| Diğer Malzemeler | | | | | |
| Ahşap Parke | 1476,00 | 9,50 | 14022,00 | 0,330 | 487,08 |
| Ahşap Lambri (İç Duv.,Cep.) | 33875,00 | 7,40 | 250675,00 | 0,200 | 6775,00 |
| Bitümlü Membran | 1917,15 | 51,00 | 97774,65 | 0,490 | 939,40 |
| Cam | 1234,00 | 15,00 | 18510,00 | 0,910 | 1122,94 |
| Delikli Tuğla | 51424,00 | 3,00 | 154272,00 | 0,240 | 12341,76 |
| Fayans Yap. (Çimento Esaslı) | 384,00 | 1,33 | 510,72 | 0,221 | 84,86 |
| Grobeton | 48400,00 | 0,70 | 33880,00 | 0,104 | 5033,60 |
| Kapı (Ahşap) | 442,00 | 9,50 | 4199,00 | 0,330 | 145,86 |
| Kiremit | 10594,26 | 6,50 | 68862,69 | 0,480 | 5085,24 |
| Os | 4953,60 | 15,00 | 74304,00 | 0,450 | 2229,12 |
| Polietilen Şilte | 18,20 | 83,10 | 1512,42 | 2,540 | 46,23 |
| Seramik Karo | 1305,60 | 12,00 | 15667,20 | 0,780 | 1018,37 |
| Sıva | 25914,00 | 0,97 | 25136,58 | 0,156 | 4042,58 |
| Şap | 16800,00 | 0,85 | 14280,00 | 0,136 | 2284,80 |
| Taş Yünü | 2550,00 | 16,80 | 42840,00 | 1,120 | 2856,00 |
| TOPLAM | | | 1252786,14 | | 88212,46 |

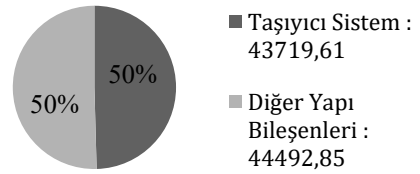
Tablo 5. Betonarme-2 konutunun malzemelere göre gömülü karbon ve gömülü enerji değerleri

| | Yapı Malzemeleri | Metraj (kg) | G.E.(MJ/kg) | G.E.(MJ) | G.K.(kgCO ₂ e/kg) | G.K.(kgCO ₂ e) |
|-------------------------|------------------------------|-------------|-------------|-------------------|------------------------------|---------------------------|
| Taşıyıcı S. | Asmolen Tuğlası | 15320,00 | 3,00 | 45960,00 | 0,240 | 3676,80 |
| | Beton C25 | 307320,00 | 0,78 | 239709,60 | 0,113 | 34727,16 |
| | Çelik Donatı | 11462,97 | 21,60 | 247600,15 | 1,860 | 21321,12 |
| Diğer Malzemeler | Ahşap Parke | 1476,00 | 9,50 | 14022,00 | 0,330 | 487,08 |
| | Ahşap Lambri (İç Duv.,Cep.) | 33875,00 | 7,40 | 250675,00 | 0,200 | 6775,00 |
| | Bitümlü Membran | 1917,15 | 51,00 | 97774,65 | 0,490 | 939,40 |
| | Cam | 1234,00 | 15,00 | 18510,00 | 0,910 | 1122,94 |
| | Delikli Tuğla | 51424,00 | 3,00 | 154272,00 | 0,240 | 12341,76 |
| | Fayans Yap. (Çimento Esaslı) | 384,00 | 1,33 | 510,72 | 0,221 | 84,86 |
| | Grobeton | 48400,00 | 0,70 | 33880,00 | 0,104 | 5033,60 |
| | Kapı (Ahşap) | 442,00 | 9,50 | 4199,00 | 0,330 | 145,86 |
| | Kiremit | 10594,26 | 6,50 | 68862,69 | 0,480 | 5085,24 |
| | Os b | 4953,60 | 15,00 | 74304,00 | 0,450 | 2229,12 |
| | Polietilen Şilte | 18,20 | 83,10 | 1512,42 | 2,540 | 46,23 |
| | Seramik Karo | 1305,60 | 12,00 | 15667,20 | 0,780 | 1018,37 |
| | Sıva | 36666,00 | 0,97 | 35566,02 | 0,156 | 5719,90 |
| | Şap | 16800,00 | 0,85 | 14280,00 | 0,136 | 2284,80 |
| | Taş Yünü | 2160,00 | 16,80 | 36288,00 | 1,120 | 2419,20 |
| | TOPLAM | | | 1353593,45 | | 105458,45 |

Toplam Gömülü Karbon Değerleri (kgCO₂e)**Şekil 10.** Yapı malzemelerinin Betonarme-1'deki toplam gömülü karbonlarının karşılaştırılması**Betonarme-1 Konutu Gömülü Enerji (MJ)****Şekil 11.** Taşıyıcı sistemin toplam gömülü enerjideki payı

Şekil 9 ve 10'a bakıldığında gömülü enerji ve gömülü karbon değerleri arasında belirgin farklar göze çarpmaktadır. Ahşap lambri ve os b malzeme gömülü enerji bakımından en yüksek değerleri oluştursalar da gömülü karbonları düşük malzemelerdir. Gömülü

karbon değerleri incelendiğinde ise en yüksek karbon emisyonunun beton tarafından gerçekleştirildiği gözlemlenmiştir. Betonarme-1 alternatifinin gömülü enerjisinin %35'i, gömülü karbon değerinin %50'si taşıyıcı sistemden kaynaklanmaktadır (Şekil 11 ve 12).

Betonarme-1 Konutu Gömülü Karbon (kgCO₂e)**Şekil 12.** Taşıyıcı sistemin toplam gömülü karbondaki payı

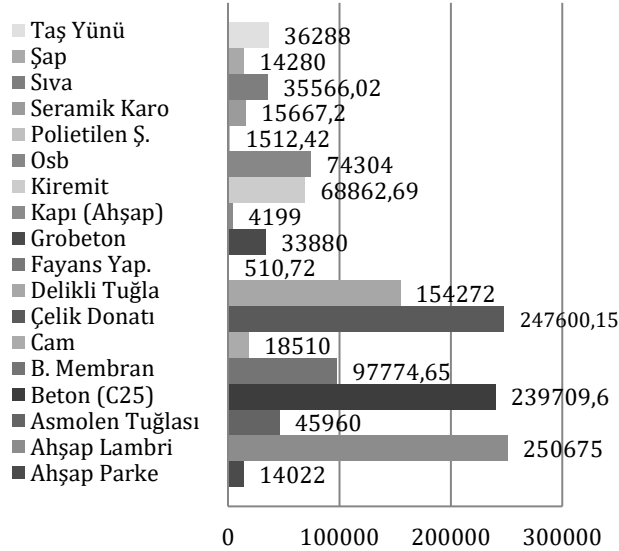
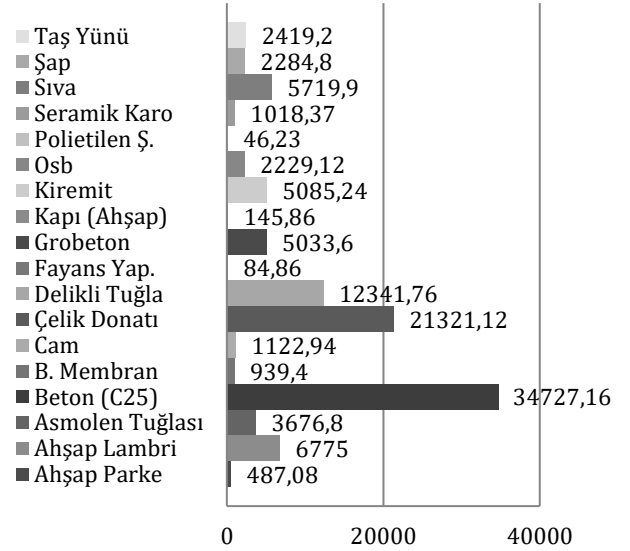
3.2.2. Betonarme konut ikinci alternatif

Betonarme taşıyıcı sistem ile üretilen ikinci alternatif proje "Betonarme-2" olarak adlandırılmıştır. Bu alternatifin hem zemin hem de çatı katında betonarme taşıyıcılar kullanılmıştır. Çatı, eğimli betonarme çatı olarak tasarlanmıştır. Bu alternatifte Betonarme-1 alternatifine göre bina ağırlaşmış ve kolon kesitleri buna bağlı olarak bir miktar artış göstermiştir. Tablo 5'te Betonarme-2 alternatifinin malzemelere göre gömülü karbon ve enerji değerleri listelenmiştir. Şekil 13 ve 14'te yapı malzemelerinin çevresel performansı grafiklerle ifade edilmiştir.

Şekil 13'e göre Betonarme-2 alternatifinde gömülü enerjisi en yüksek yapı malzemeleri ahşap lambri, çelik donatı ve beton olmuştur. Gömülü karbon değeri en yüksek malzeme ise beton ve çelik donatı olmuştur. Şekil 15 ve 16'daki grafiklere göre taşıyıcı sistem toplam gömülü enerjinin %39'undan, toplam gömülü karbonun %57'sinden sorumludur.

Tablo 5. Betonarme-2 konutunun malzemelere göre gömülü karbon ve gömülü enerji değerleri

| Yapı Malzemeleri | Metraj (kg) | G.E.(MJ/kg) | G.E.(MJ) | G.K.(kgCO ₂ e/kg) | G.K.(kgCO ₂ e) |
|------------------------------|-------------|-------------|-------------------|------------------------------|---------------------------|
| Asmolen Tuğlası | 15320,00 | 3,00 | 45960,00 | 0,240 | 3676,80 |
| Taşıyıcı S. Beton C25 | 307320,00 | 0,78 | 239709,60 | 0,113 | 34727,16 |
| Çelik Donatı | 11462,97 | 21,60 | 247600,15 | 1,860 | 21321,12 |
| DİĞER Malzemeler | | | | | |
| Ahşap Parke | 1476,00 | 9,50 | 14022,00 | 0,330 | 487,08 |
| Ahşap Lambri (İç Duv.,Cep.) | 33875,00 | 7,40 | 250675,00 | 0,200 | 6775,00 |
| Bitümlü Membran | 1917,15 | 51,00 | 97774,65 | 0,490 | 939,40 |
| Cam | 1234,00 | 15,00 | 18510,00 | 0,910 | 1122,94 |
| Delikli Tuğla | 51424,00 | 3,00 | 154272,00 | 0,240 | 12341,76 |
| Fayans Yap. (Çimento Esaslı) | 384,00 | 1,33 | 510,72 | 0,221 | 84,86 |
| Grobeton | 48400,00 | 0,70 | 33880,00 | 0,104 | 5033,60 |
| Kapı (Ahşap) | 442,00 | 9,50 | 4199,00 | 0,330 | 145,86 |
| Kiremit | 10594,26 | 6,50 | 68862,69 | 0,480 | 5085,24 |
| Osب | 4953,60 | 15,00 | 74304,00 | 0,450 | 2229,12 |
| Polietilen Şilte | 18,20 | 83,10 | 1512,42 | 2,540 | 46,23 |
| Seramik Karo | 1305,60 | 12,00 | 15667,20 | 0,780 | 1018,37 |
| Sıva | 36666,00 | 0,97 | 35566,02 | 0,156 | 5719,90 |
| Şap | 16800,00 | 0,85 | 14280,00 | 0,136 | 2284,80 |
| Taş Yünü | 2160,00 | 16,80 | 36288,00 | 1,120 | 2419,20 |
| TOPLAM | | | 1353593,45 | | 105458,45 |

Toplam Gömülü Enerji Değerleri (MJ)**Şekil 13.** Yapı malzemelerinin Betonarme-2'deki toplam gömülü enerjilerinin karşılaştırılması**Toplam Gömülü Karbon Değerleri (kgCO₂e)****Şekil 14.** Yapı malzemelerinin Betonarme-2'deki toplam gömülü karbonlarının karşılaştırılması

3.3. Çelik Konut Alternatifi

Çelik konut alternatifi, betonarme iki yöne sürekli temel üzerine çelik I profilli kolon ve kirişlerden meydana gelmektedir. Kat döşemesinde çelik trapez sac üzerine beton uygulaması ile oluşturulan kompozit döşeme tipi seçilmiştir. Kompozit döşemeler çelik konstrüksiyonlu yapılarda kullanılan bir döşeme çeşididir. Trapez sac, çelik hasır ve betonla imal edilmektedir. Trapez sac; beton tasarrufu sağlamak, beton dökme işlemi sırasında kalıp görevi görmek ve beton ile birlikte kompozit olarak çalışarak gelen yükleri taşımak amacıyla kullanılan bir yapı elemanıdır. Çelik hasır, kompozit döşemede donatı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Son olarak bu sistemin üzerine dökülen ince bir beton tabakası ile döşeme tamamlanmaktadır. Çatı konstrüksiyonu çelik profillerle tasarlanmış, kiremit çatı kaplaması ile bitirilmiştir (Tablo 6).

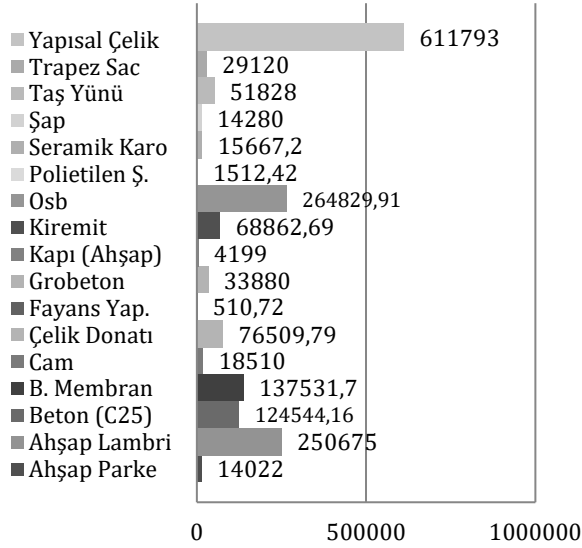
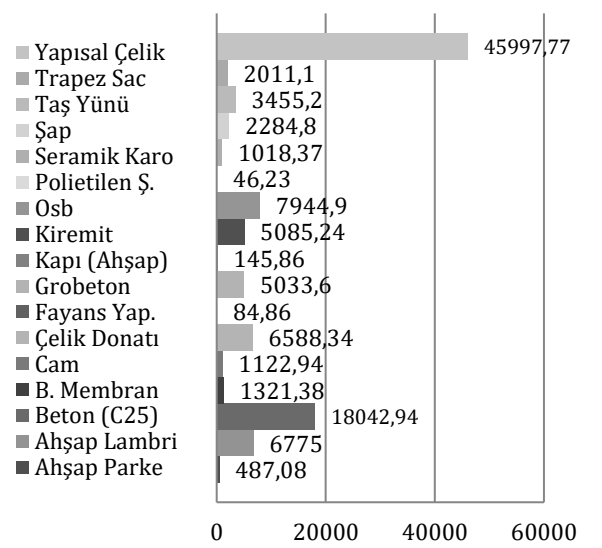
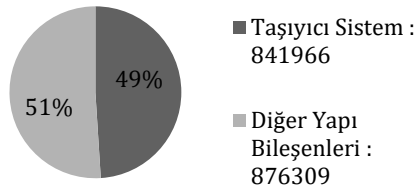
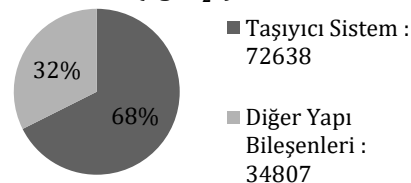
Tablo 6. Çelik konutun ana yapı elemanlarının malzemeleri

| Yapı Elemanı | Yapı Malzemesi |
|--------------|-----------------------------|
| Temel | Betonarme Sürekli Temel |
| Kolon | Çelik |
| Kiriş | Çelik |
| Döşeme | Çelik+Betonarme (Kompozit) |
| Duvar | Çelik Dikme+Osب |
| Çatı | Çelik Taşıyıcılar + Kiremit |
| Pencere | Ahşap Kasa + Cam |
| Kapı | Ahşap Kasa ve Kanat |

Tablo 7'de çelik konutta kullanılan malzemeler, kilogram biriminden yapıda kullanılan miktarları, birim gömülü enerji ve gömülü karbon değerleri verilmiş, birim değerlerle çarpılan miktarlar listelenmiştir. Şekil 17 ve 18'de yapı malzemelerinin gömülü karbon ve gömülü enerji değerleri grafikler yardımıyla karşılaştırılmıştır.

Tablo 7. Çelik konutun malzemelere göre gömülü karbon ve gömülü enerji değerleri

| | Yapı Malzemeleri | Metraj (kg) | G.E.(MJ/kg) | G.E.(MJ) | G.K.(kgCO ₂ e/kg) | G.K.(kgCO ₂ e) | |
|------------------|------------------------------|---------------|-------------|-----------|------------------------------|---------------------------|------------------|
| Taşıyıcı S. | Beton C25 | 159672,00 | 0,78 | 124544,16 | 0,113 | 18042,94 | |
| | Çelik Donatı + Çelik Hasır | 3542,12 | 21,60 | 76509,79 | 1,860 | 6588,34 | |
| | Trapez Sac | 910,00 | 32,00 | 29120,00 | 2,210 | 2011,10 | |
| | Yapısal Çelik | 22659,00 | 27,00 | 611793,00 | 2,030 | 45997,77 | |
| Diğer Malzemeler | Ahşap Parke | 1476,00 | 9,50 | 14022,00 | 0,330 | 487,08 | |
| | Ahşap Lambri | 33875,00 | 7,40 | 250675,00 | 0,200 | 6775,00 | |
| | Bitümlü Membran | 2.696,70 | 51,00 | 137531,70 | 0,490 | 1321,38 | |
| | Cam | 1234,00 | 15,00 | 18510,00 | 0,910 | 1122,94 | |
| | Fayans Yap. (Çimento Esaslı) | 384,00 | 1,33 | 510,72 | 0,221 | 84,86 | |
| | Grobeton | 48400,00 | 0,70 | 33880,00 | 0,104 | 5033,60 | |
| | Kapı (Ahşap) | 442,00 | 9,50 | 4199,00 | 0,330 | 145,86 | |
| | Kiremit | 10594,26 | 6,50 | 68862,69 | 0,480 | 5085,24 | |
| | Os b | 17655,33 | 15,00 | 264829,91 | 0,450 | 7944,90 | |
| | Polietilen Şilte | 18,20 | 83,10 | 1512,42 | 2,540 | 46,23 | |
| | Seramik Karo | 1305,60 | 12,00 | 15667,20 | 0,780 | 1018,37 | |
| | Şap | 16800,00 | 0,85 | 14280,00 | 0,136 | 2284,80 | |
| | Taş Yünü | 3085,00 | 16,80 | 51828,00 | 1,120 | 3455,20 | |
| | | TOPLAM | | | 1718275,59 | | 107445,61 |

Toplam Gömülü Enerji Değerleri (MJ)**Şekil 17.** Yapı malzemelerinin çelik konuttaki toplam gömülü enerjilerinin karşılaştırılması**Toplam Gömülü Karbon Değerleri (kgCO₂e)****Şekil 18.** Yapı malzemelerinin çelik konuttaki toplam gömülü karbonlarının karşılaştırılması**Çelik Konut Gömülü Enerji (MJ)****Şekil 19.** Taşıyıcı sistemin toplam gömülü enerjideki payı**Çelik Konut Gömülü Karbon (kgCO₂e)****Şekil 20.** Taşıyıcı sistemin toplam gömülü karbondaki payı

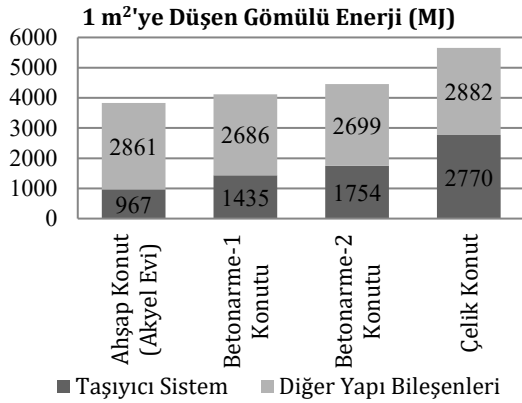
Çelik strüktür grafiklerde görüldüğü şekilde diğer malzemelere oranla fazla enerji tüketmektedir ve o oranda karbon emisyonları da fazladır. Çelik yapı malzemeleri için ICE veri setinde farklı ölçüler bulunmaktadır. Bu çalışma için seçilen birim değerler dünya ortalaması için verilmiş olan “%39 oranlı geri dönüştürülmüş çelik” tir. Çelik malzeme içindeki geri dönüştürülmüş katkı oranı arttıkça gömülü enerji miktarı da o ölçüde düşecektir. Çelik konutun gömülü karbon ve gömülü enerjisinin taşıyıcı sistem ve diğer yapı bileşenlerinin birbirine oranı Şekil 19 ve 20’deki grafiklerde ifade edilmiştir. Çelik konutun gömülü enerjisinin %49’u, gömülü karbonunun %68’i taşıyıcı sistem kaynaklıdır.

4. Tartışma ve Değerlendirmeler

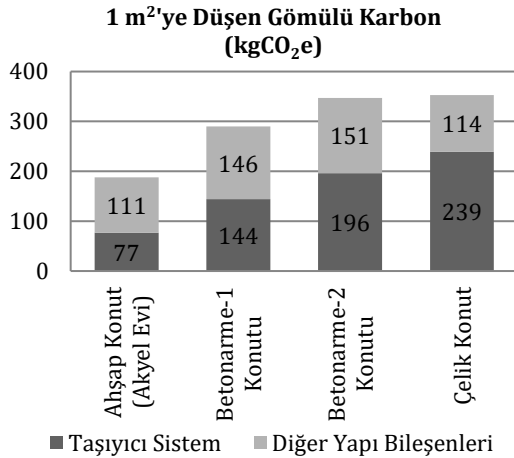
Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının “Bütünleşik Bina Tasarımı Yaklaşımı” (2016) isimli raporunda metrekaşe başına düşen çevresel etkilerin

hesaplanması, hem kullanıcıya kolaylıkla anlatılması hem de Türkiye'nin Kyoto Protokolü kapsamında iklim değişikliği ile mücadele hedeflerine katkıda bulunacak bir altyapı oluşturması bakımından teşvik edilmektedir. Üç farklı yapım sisteminin ayrı ayrı değerlendirilmesi ile elde edilmiş veriler bu bölümde metrekare başına düşen değerler bağlamında karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

304 m² toplam inşaat alanından meydana gelen konutun toplam gömülü karbon ve gömülü enerjisinin metrekare düzeyine indirgenmiş değerleri Şekil 21 ve Şekil 22'de görülmektedir. Yapıların toplam ağırlıklarının karşılaştırılması Şekil 23'te verilmiştir.



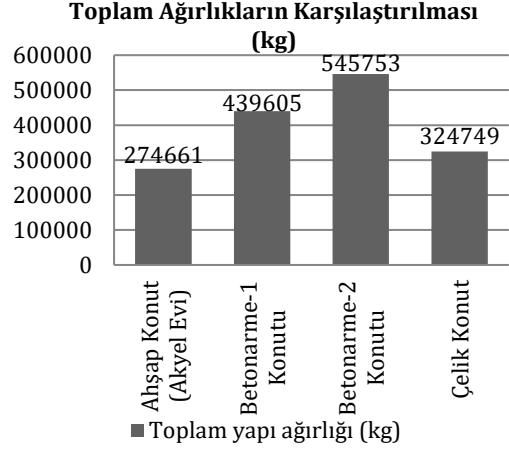
Şekil 21. 1 metrekareye düşen gömülü enerji değerlerinde taşıyıcı sistemin payı



Şekil 22. 1 metrekareye düşen gömülü karbon değerlerinde taşıyıcı sistemin payı

Bu bulgular ışığında ahşap yapım sisteminin az katlı konut üretiminde hem "beşikten kapıya" tüketilen enerji (binanın gömülü enerjisi), hem de karbon emisyonları bazında en sürdürülebilir sistem olduğu görülmüştür. Betonarme ve çelik alternatifler ahşap strüktüre göre yüksek karbon emisyonu değerleri vermişlerdir. Üretim enerjileri kıyaslanırken alternatifler arasındaki fark çok yüksek olmasa da gömülü karbon değerlerindeki karşılaştırma belirgin farklar ortaya koymuştur. Ahşap konutla kıyaslandığında Betonarme-1 konutu 1,5 kat, Betonarme-2 konutu 1,8 kat daha fazla karbon salınımına neden olmaktadır. Betonarme-1

konutunun çatı katında ahşap strüktür kullanılması betonarme-2 konutuna göre daha iyi bir çevresel performans elde edilmesini sağlamıştır. Çelik konut ise ahşap konuttan yaklaşık 1,9 kat daha fazla karbon salınımına neden olmaktadır. Bir başka deyişle çelik konutun küresel ısınma potansiyeli ahşap konuta göre neredeyse 2 kat fazladır.



Şekil 23. Toplam ağırlıkların karşılaştırılması

Ahşap konutta -binanın mimarları ile yapılan görüşmede aktarılmıştır- yapı sahibinin isteği doğrultusunda dış duvarlar olması gerekenden daha kalın tasarlanmıştır (15cm yerine 20cm). Dolayısı ile ahşap taşıyıcı kesitleri özellikle fazla tutulmuştur. Bu da karbon salınımı miktarını ve gömülü enerji değerlerini doğrudan etkilemiştir. Standart boyutlarda tasarlanmış bir ahşap strüktür kullanımının söz konusu olması, ahşap konutun olumsuz çevresel etkilerinin daha da azalmasını sağlayacaktır.

Yapı ağırlıkları karşılaştırıldığında en hafif alternatif ahşap konut olmuştur, çelik konut, ahşaba ağırlıkça en yakın alternatif olmuştur ve 1,2 kat daha ağırdır. Betonarme-2 konutu, ahşaba göre yaklaşık 2 kat daha fazla olmak üzere en ağır alternatif olmuştur. Betonarme-1 konutu ise ahşap konuta oranla 1,6 kat daha ağırdır. Yapı ağırlıkları sadece çevresel etkiler bağlamında değil deprem yükleri açısından da oldukça önemlidir. Binaya etki edecek deprem kuvveti, depremin ivmesi ile yapının ağırlığının çarpımıdır. Yani yapı ağırlaştıkça depremden daha çok etkilenecektir. Bu açıdan da ahşabın avantajı açıkça görülmektedir.

Tüm bu bulgular sonucunda hem düşük ağırlık, hem düşük üretim enerjisi hem de düşük karbon salınımı avantajıyla az katlı konut bağlamında ahşap taşıyıcı sistemlerin en sürdürülebilir alternatif olduğu gözlemlenmiştir.

5. Sonuç ve Öneriler

YDD ile erken tasarım evrelerinde malzeme kaynaklı emisyonların biliniyor olması, tasarımın daha çevreci bir anlayışla yapılmasına olanak tanımaktadır.

Yapıların gömülü enerjilerini azaltmada taşıyıcı sistem seçimi büyük rol oynamaktadır çünkü yapının diğer bölümlerine kıyasla en çok malzeme kullanılan kısmı taşıyıcı sistemlerdir. Türkiye özelinde bakarsak yapı stokumuzda en büyük pay betonarme binalarıdır. Çelik yapılar betona oranla hafif olması sebebiyle daha az deprem yükü alması avantajı ile az da olsa konut üretiminde kullanılmaktadır. Ahşap yapı sistemleri ise, ahşap teknolojisinde dünyaya kıyasla geride olmamız, üniversitelerde bu konuda yeterince güncel eğitim verilmemesi ve yönetmeliklerin çağın gerisinde kalması gibi nedenlerle en az tercih edilen yapı türüdür.

Sürdürülebilir bir yapı için ülkemizdeki sektörel tüm engellere rağmen, bu denli çevreci sonuçlar veren ahşap taşıyıcı sistem kullanımı yaygınlaştırılmalıdır. Özellikle az katlı yapılar bağlamında ahşap taşıyıcı sistemin kullanılması teşvik edilmelidir. Bunun için öncelikle bu konudaki karar vericiler olan mimar ve mühendisler güncel ahşap yapı üretimi konusunda daha nitelikli bir eğitim almalı ve kullanıcıları bu konuda teşvik etmelidirler.

Bu konuda yapılabilecek gelecek çalışmalar :

- Yapının gömülü enerjisi ile operasyonel enerjisi de beraber ele alınarak yapının yaşam döngüsü boyunca tükettiği enerjinin taşıyıcı sistemler bağlamında bütüncül olarak değerlendirilmesi yapılabilir.
- Ahşap yapı sistemlerinin çevresel avantajları maliyet faktörü ile birlikte ele alınarak uygulanabilirliği bir örnek üzerinden araştırılabilir.
- Beton ve çelik yapılarda karbon emisyonunu düşürecek yöntemlerin örnek durum üzerinden incelenmesi söz konusu olabilir.

Etik Beyanı

Bu çalışmada, "Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi" kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin "Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler" başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederiz.

Teşekkür

Bu çalışma, Hatice Sena Azkur'un, Doç. Dr. Fatih Canan danışmanlığında hazırladığı "Konut Mimarisinde Farklı Taşıyıcı Sistemlerin Çevresel Etkilerinin Yaşam Döngüsü Analizi ile Değerlendirilmesi" isimli yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

Kaynakça

- [1] World Wildlife Fund Türkiye, 2010. Türkiye'nin Yarınları Projesi Sonuç Raporu. WWF-Türkiye, İstanbul, 9s.
- [2] United Nations Environmental Programme, 2017. Towards a Zero-Emission, Efficient, and

Resilient Buildings and Construction Sector Global Status Report. UNEP.

- [3] Canan, F., Bakır, İ., 2008. Enerji ve Çevre Etkin Bina Tasarımında Ömür Süreci Analizi Yönteminin Değerlendirilmesi. Teknik-Online Dergisi, 7(2), 153-174.
- [4] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2016. Bütünleşik Bina Tasarımı Yaklaşımı- Türkiye Ortamı ve Koşullarına Uyarlama Raporu. ETKB, Ankara.
- [5] Guan, L., Walmsely, M., Chen G., 2015. Life Cycle Energy Analysis of Eight Residential Houses in Brisbane, Australia. 9th International Symposium on Heating, Ventilation and Air Conditioning (ISHVAC) and the 3rd International Conference on Building Energy and Environment (COBEE), Australia.
- [6] Curran, M.A., 2006. Life Cycle Assessment: Principles and Practice. EPA, Ohio.
- [7] Adalberth, K., 1997. Energy Use During the Life Cycle of Buildings: A Method. Building and Environment, 32(4), 317-320.
- [8] Kim, J.J., Rigdon, B., 1998. Sustainable Architecture Module: Introduction to Sustainable Design. National Pollution Prevention Center for Higher Education, Michigan.
- [9] Fay, R., Treloar, G., Iyer-Raniga, U., 2000. Life-Cycle Energy Analysis of Buildings: A Case Study. Building Research and Information, 28(1), 31-41.
- [10] Canan, F., 2002. Enerji ve Çevre Bilinçli Konut Tasarımında Bina Ömür Süreci Yaklaşımı. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 75s, Konya.
- [11] Tuna Taygun, G., 2005. Yapı Ürünlerinin Yaşam Döngüsü Değerlendirmesine Yönelik Bir Model Önerisi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 164s, İstanbul.
- [12] TS EN ISO 14040:2006, 2007. Çevre Yönetimi -Hayat Boyu Değerlendirme- İlkeler ve Çerçeve. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [13] Tanaçan, L., 2012. Ekoloji, Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi ve Malzeme. Mimarlıkta Malzeme, 1, 18-23.
- [14] Yüceer, N.S. 2015., Yapıda Çevre ve Enerji. Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara.
- [15] Chau, C.K., Leung, T.M., Ng, W.Y., 2015. A Review on Life Cycle Assessment, Life Cycle Energy Assessment and Life Cycle Carbon Emissions Assessment on Buildings. Applied Energy, 143, 395-413.

- [16] Dewolf, C., 2017. Low Carbon Pathways for Structural Design: Embodied Life Cycle Impacts of Building Structures. Massachusetts Institute Of Technology, Phd Thesis, 53s, Massachusetts.
- [17] Gervasio, H., Dimova, S., 2018. Model for Life Cycle Assessment (LCA) of Buildings. EUR 29123 EN, Publicians Office of the European Union.
- [18] TÜİK, 2020. Yapı İzin İstatistikleri Ocak-Eylül 2020. <https://tuikweb.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=33782> (Erişim Tarihi: 20.12.2020).
- [19] Koman, İ., Eren, Ö., 2006. Alternatif Sürdürülebilir Konut Uygulamaları ve Türkiye'deki Betonarme Konut Sektörü. Mimarlık Dergisi, 329.
- [20] Tuna Kayılı, M., Özmen, S.T., 2020. Hafif Çelik ve Ahşap Duvar Konstrüksiyonlarının Gömülü Karbon Değerinin Belirlenmesi. El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi, 7(2), 613-618.
- [21] Saleem, M., Chhipi-Shestra, G., Andrade, M.T.B., Dyck, R., Ruparathna, R., Hewage, K., Sadiq, R., 2018. Life Cycle Thinking-Based Selection of Building. Journal of Architectural Engineering, 24(4)
- [22] Paleari, M., Miliani, A. 2018. The Sustainability of Wall Solutions: Life Cycle Assessment (LCA) of Different Solutions for External closures. CE Papers, 2, 489-494.
- [23] Benli Yıldız, N., 2017. Cam Elyaf Takviyeli Beton (GFRC) Cephe Panelleri İçin Yaşam Döngü Değerlendirmesi (YDD) Yöntemiyle Bir Sürdürülebilirlik Çerçevesi Geliştirilmesi. Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 37s, Düzce.
- [24] Brander, M., 2019. Greenhouse Gases, CO₂, CO_{2e}, and Carbon : What Do All These Terms Mean? <https://ecometrica.com/assets/ghgs-co2-co2e-and-carbon-what-do-these-mean-v2.1.pdf> (Erişim tarihi Kasım 2019)
- [25] Yıldırım, E., 2018. Dış Duvarların Operasyonel ve Gömülü Enerji Bağlamında Çevresel Sürdürülebilirliğinin Değerlendirilmesi, İstanbul'dan Otel Binası Örnekleri. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- [26] Berge, B., 2009. The Ecology of Building Materials Second Edition. Architectural Press, UK.
- [27] Roaf, S., Fuentes, M., Thomas, S., 2001. Ecohouse : A Design Guide, Architectural Press, UK.
- [28] Koçkuzu, M., 2013, Koçkuzu Fotoğraf Arşivi.

Biyobozunur Mg-Ag Döküm Alaşımlarının Mikroyapı Mekanik ve İn Vitro Korozyon Özelliklerinin İncelenmesi

Levent ELEN^{*1}, Yunus TÜREN², Hayrettin AHLATCI², Mehmet ÜNAL³

¹Karabük Üniversitesi, TOBB MYO, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, 78050, Karabük, Türkiye

²Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 78050, Karabük, Türkiye

³Karabük Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, 78050, Karabük, Türkiye

(Alınış / Received: 03.03.2021, Kabul / Accepted: 10.09.2021, Online Yayınlanma / Published Online: 20.04.2022)

Anahtar Kelimeler

Mg-Ag alaşımları,
Biyomalzeme,
Mikroyapı,
Mekanik özellikler,
İn vitro korozyon özellikleri

Özet: Bu çalışmada, magnezyuma %1 ve %3 oranlarında gümüş ilave edilmiş Mg-Ag alaşımlarının döküm sonrası mekanik ve in vitro korozyon özellikleri incelenmiştir. Deney sonuçlarına göre, döküm alaşımlarındaki ilave edilen Ag'nin miktarı arttıkça yapıda ortaya çıkan ikincil fazlar (Mg_4Ag ve $Mg_{54}Ag_{17}$) daha belirginleşmiştir. Ayrıca Ag miktarı arttıkça, döküm yapısına kıyasla tanelerin incelendiği ve bu sayede alaşımların mekanik özellikleri de artmıştır. Potansiyodinamik polarizasyon testlerinde ise Ag miktarına bağlı olarak, alaşımların korozyon akım yoğunlukları artış göstermiştir. Hank sıvısı ile yapılan testler sonucunda ise Mg-1Ag alaşımının korozyonu daha hızlı ilerlediği ve buna bağlı olarak da Mg-1Ag alaşımında daha fazla kütle kaybının olduğu tespit edilmiştir. Tüm bu sonuçlar ışığında bakıldığında, Mg-Ag alaşımlarında Ag ilavesi ile deney sonuçlarının değişim göstermesi, Mg-Ag alaşımlarının gelişime açık olduğunu ve biyomalzeme olarak hayatımıza girmeye büyük bir aday olduğunu ortaya koymuştur.

Investigation of Microstructure, Mechanical and In Vitro Corrosion Properties of Biodegradable Mg-Ag Casting Alloys

Keywords

Mg-Ag alloys,
Biomaterials,
Microstructure,
Mechanical properties,
In vitro corrosion properties

Abstract: In this study, mechanical and in vitro corrosion properties of Mg-Ag alloys with 1% and 3% silver added to magnesium were investigated. According to the test results, as the amount of Ag added in the cast alloys increased, the secondary phases (Mg_4Ag and $Mg_{54}Ag_{17}$) emerging in the structure became more pronounced. In addition, it was observed that as the amount of Ag increased, the grains became finer compared to the cast structure and thus the mechanical properties of the alloys increased. In potentiodynamic polarization tests, the corrosion current density of the alloys increased depending on the amount of Ag. As a result of the tests performed with hanks solution, it was determined that the corrosion of the Mg-1Ag alloy progressed faster and therefore, there was more mass loss in the Mg-1Ag alloy. As a conclusion, due to the change in experimental results with Ag addition, it is revealed that Mg-Ag alloys are open to development and a great candidate to be used as a biomaterial in our lives.

1. Giriş

Magnezyumun insan vücuduna toksisite göstermemesi nedeniyle, son yıllarda yapılan çalışmalarda araştırmacılar tarafından, üstün özelliklere sahip bir biyomalzeme [1-3] olabileceği ortaya koyulmuştur. Mg^{2+} insan vücudunda birçok metabolik reaksiyonda ve biyolojik mekanizmada rol oynar [1]. Ayrıca magnezyumun elastik modülü (41-45 GPa) doğal kemiğe (3-20 GPa) oldukça yakındır [4,

5]. Magnezyumun özellikle de korozif davranışı biyomalzeme olarak tercih edilmesinde çok önemli bir diğer özelliğidir. Ancak insan vücudunda ki akışkanların pH dereceleri 1-9 arasında olan bir ortam yarattıkları için Biyomalzemelerin korozyon özelliklerinin yanısıra mekanik özelliklerinin de iyi olması gerekir.

Magnezyum içerisinde yüksek çözünürlüğe (Ağırlıkça %15) sahip olmakla birlikte katı çözelti oluşturarak

*İlgili yazar: leventelen@karabuk.edu.tr

magnezyum alaşımlarının mekanik özelliklerini geliştiren gümüş (Ag) [6] biyomalzeme alanında oldukça önemli bir elementtir. Biyomalzeme alanında önemli bir element olmasının asıl nedeni ise bakterilerin DNA ve RNA yapısını deforme edip çoğalmasını ve yaşamını sürdürmesini engelleyerek antibakteriyel özellik göstermesidir [7].

Antibakteriyel kabiliyetin yanı sıra, alaşımlarda veya kaplamada az miktarda gümüş içeriğinin de sitouyumluluğunu ve hücre canlılığını belirgin şekilde artırdığı bildirilmiştir [8, 9]. Herhangi bir formda gümüşün bağışıklık, kardiyovasküler, sinir veya üreme sistemleri için toksik olmadığı [10] ve kansinojenik olmadığı düşünülmüştür [11]. Bu sebeple gümüşün son yıllarda sağlık alanında kullanımı oldukça yaygın hale gelmiştir. Literatürde Mg-Ag ile ilgili çalışmalar daha çok ekstrüzyon üzerine yoğunlaşmıştır. Mg-Ag döküm alaşımları üzerine çalışmalar az sayıdadır.

Dolayısıyla bu çalışmada saf Mg ve (%1, %3) gümüş içeren magnezyum gümüş alaşımlarının mikroyapı, mekanik ve in vitro korozyon özellikleri incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Deneysel çalışmalarda, Mg-Ag magnezyum alaşımlarının hazırlanmasında Bilginoğlu Endüstri firmasından temin edilen %99,9 saflıkta magnezyum ve 4D Makine ve Teknoloji firmasından temin edilen %99,9 saflıkta gümüş kullanılmıştır.

Alaşımların eritme ve döküm proseslerinde atmosfer kontrollü indüksiyon döküm ocağı kullanılmıştır. Döküm sıcaklığı 750 °C ve kalıp sıcaklığı 250 °C olarak belirlenmiştir. Eritme ve karıştırma işlemlerinin ardından döküm işlemi, kokil kalıp içerisine (CO₂+%1SF₆) gaz koruması altında yapılmıştır.

Mg-Ag alaşımlarının döküm sonrası kimyasal bileşimleri Karabük Üniversitesi Demir Çelik Enstitüsü XRD- XRF laboratuvarındaki XRF (X-Işınları Floresans) yöntemi ile Rigaku ZSX Primus II marka cihaz kullanılarak belirlenmiştir. Analiz sonuçları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Mg-Ag alaşımlarının ağırlıkça element miktarları ve bileşimleri.

| Alaşımlar | Element (% Ağı.) | | | | | |
|-----------|------------------|------|------|------|------|-------|
| | Ag | Al | Si | Ca | Mn | Mg |
| Mg-1Ag | 1.08 | 0.02 | 0.04 | 0.01 | 0.02 | kalan |
| Mg-3Ag | 3.35 | 0.02 | 0.03 | 0.01 | 0.02 | kalan |

Metalografik incelemeler için numune yüzeyleri sırası ile 400, 600, 800, 1200 ve 2000 mesh zımparalar ile saf su kullanılarak zımparalanmıştır. Daha sonra 1 µm alümina süspansiyon kullanılarak yüzeyler parlatılarak Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalografi Laboratuvarında Nikon Epiphot marka optik mikroskopta mikroyapıları incelenmiştir. Karabük Üniversitesi Demir Çelik Enstitüsü MARGEM

mikroyapı inceleme biriminde Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) (Carl Zeiss Ultra Plus) ile SEM ve EDX analizleri yapılmıştır.

Döküm sonrası 5 adet çekme numunesi hazırlanmıştır. Numunelerin çekme testleri Karabük Üniversitesi Demir Çelik Enstitüsü Çekme Testi Laboratuvarındaki Zwick/Roell Z600 çekme cihazında, $1,67 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ çekme hızında gerçekleştirilmiştir.

Numunelerin sertlikleri, Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Tahrifatlı Muayene Laboratuvarlarında bulunan Shimadzu marka HMV model Micro Hardness Tester cihazında Vickers sertlik testi ile belirlenmiştir. Sertlik deneyi 0,3 kg yük altında 15 sn uygulanarak gerçekleştirilmiştir.

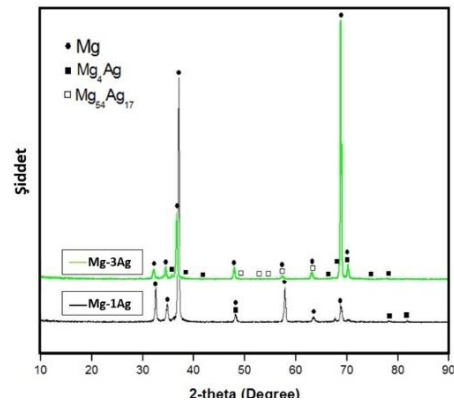
Numunelerin korozyon özelliklerinin karakterizasyonu $\sim 37 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de, 7.4 pH'a sahip ve kompozisyonu: NaCl 8.0 g/l, KCl 0.4 g/l, CaCl₂ 0.14 g/l, NaHCO₃ 0.35 g/l, C₆H₆O₆ 1.0 g/l, MgCl₂·6H₂O 0.1 g/l, MgSO₄·7H₂O 0.06 g/l, KH₂PO₄ 0.06 g/l, Na₂HPO₄·12H₂O 0.06 g/l. Bileşiminden oluşan hank sıvısında yapılmıştır.

Elektrokimyasal ölçümler $\sim 37 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de, 7.4 pH olan Hank sıvısı içerisinde, bilgisayar kontrollü DC105 korozyon analizine sahip Gamry model PC4/300 mA potansiyostat/galvanostat ile yapılmıştır.

Daldırma testleri 37 °C'de, 7.4 pH'a sahip hank sıvısında yapılmıştır. Daldırma işlemi 72 saat (3 gün) süre ile gerçekleştirilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

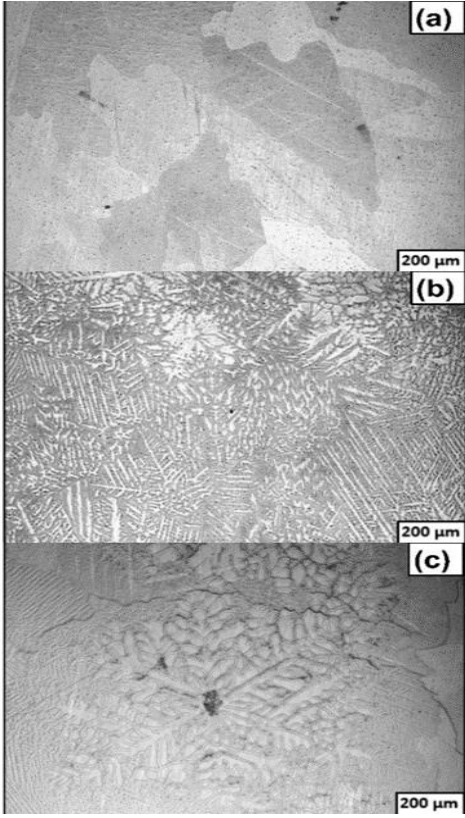
Döküm sonrası bütün numunelerin XRD profilleri Rigaku Ultima IV marka cihaz ile 10°-90° tarama açısı aralığında ve 3 °/dakika tarama hızında elde edilmiştir. Mg (JCPDS kart no 01-089-5003), Mg₄Ag (JCPDS kart no 00-045-1020) ve Mg₅₄Ag₁₇ (JCPDS 03-065-8314) kırınım tepeleri, döküm halindeki Mg-Ag alaşımının XRD modelinde gözlenmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Mg-1Ag ve Mg-3Ag alaşımlarının XRD analizi.

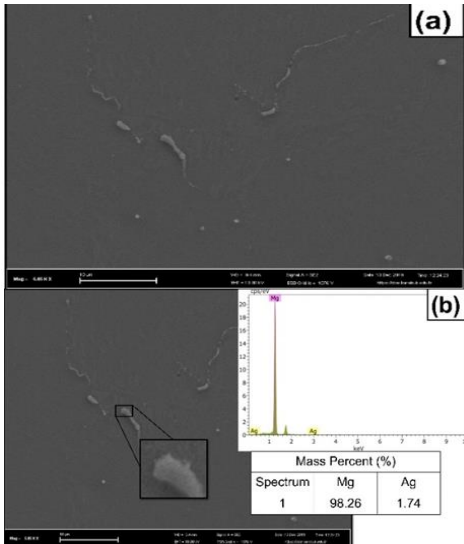
Mg-Ag alaşımlarının mikroyapısı incelendiğinde, dendiritik yapının gümüş içeriğinin artmasıyla arttığı gözlenmiştir. Bu durum Dai vd. [12], yapmış oldukları

çalışmada da rapor edilmiştir. Optik mikroskop görüntüleri Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Alaşımların optik özellikleri (a) saf Mg, (b) Mg-1Ag, (c) Mg-3Ag.

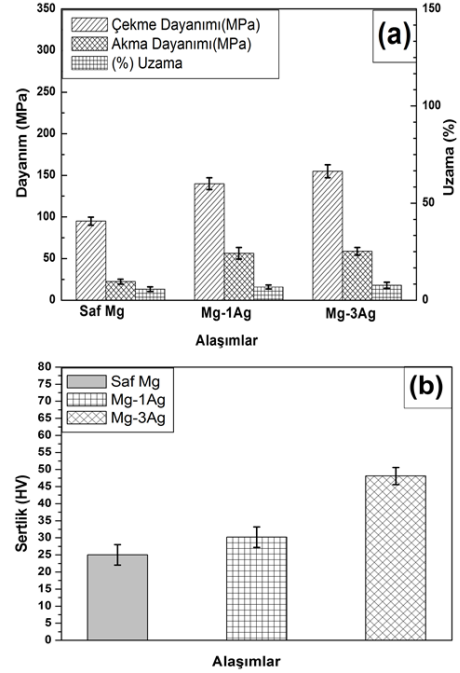
Şekil 3’te verilen SEM görüntüleri ve EDX analizleri sonucunda, ötekiğin büyük β -Mg₄Ag /Mg₅₄Ag₁₇ faz partiküllerinden ve α -Mg fazından oluştuğunu tespit edilmiştir.



Şekil 3. Mg-3Ag (a) SEM görüntüsü, (b) EDX analizi.

Çekme testi sonucunda akma-çekme dayanımları ile yüzde uzama değerleri (Şekil 4(a)) tespit edilmiştir. Saf magnezyum ile kıyaslandığında, Ag ilavesi ile mekanik özelliklerin geliştiği düşünülmektedir. Gümüş miktarının artmasıyla (Şekil 4(a)), çekme

dayanımı Mg-1Ag alaşımında %47 Mg-3Ag alaşımında ise %60’lık bir artış olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca akma dayanımı her iki alaşımda da (Mg-1Ag ve Mg-3Ag) kayda değer bir artışın olduğu tespit edilmiştir. Sertlik değerleri ölçümünde Vickers (HV) cinsinden ölçüm yapılmış ve gümüş içeriğinin artması ile sertlik değerinin arttığı gözlenmiştir (Şekil 4(b)). Özellikle Mg-3Ag alaşımında Saf Mg’ya kıyasla %95’lik bir artışın olduğu tespit edilmiştir.



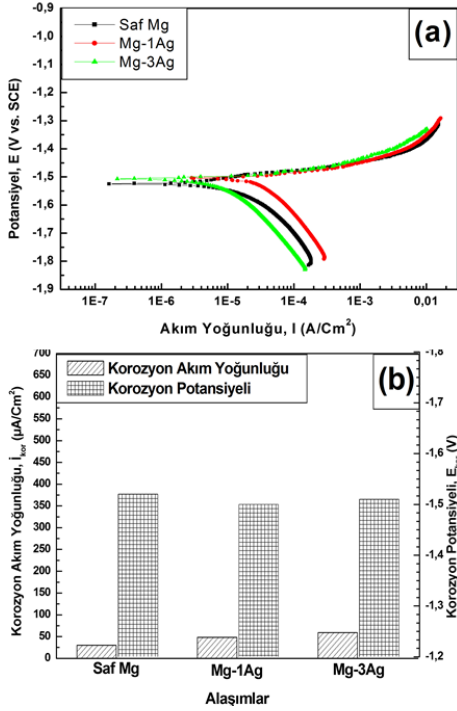
Şekil 4. Alaşımların içerdiği Ag miktarına göre, (a) çekme-akma dayanımı ve %uzama, (b) Sertlik değerleri.

Mekanik testlerden elde edilen sonuçlara göre, gümüş içeren ikincil fazların mekanik özellikler üzerinde olumlu etkilere sahip olduğunu göstermektedir. Mg-Ag alaşımlarının sertliği, çekme ve akma dayanımı saf magnezyum ile karşılaştırıldığında belirgin bir iyileşme sağlamıştır. En düşük sertlik saf magnezyumda gözlenirken, artan gümüş içeriği ile daha fazla ikincil faz ve dendrit yapısına sahip (Şekil 2) Mg-3Ag alaşımında daha yüksek sertliğe yol açmıştır. Mekanik özelliklerde ki bu değişim, ikincil Mg-Ag fazının miktarı, büyüklüğü ve dağılımına bağlı olarak ortaya çıkmıştır. Benzer sonuçları Zhao vd. [13] yapmış oldukları çalışmada rapor etmiştir.

Polarizasyon testlerinin sonucunda Ag içeren alaşımlara ait korozyon akım yoğunlukları ve potansiyellerine bakıldığında (Şekil 5), %3 Ag ilavesi ile korozyon akım yoğunluğu arttığı gözlenmiştir.

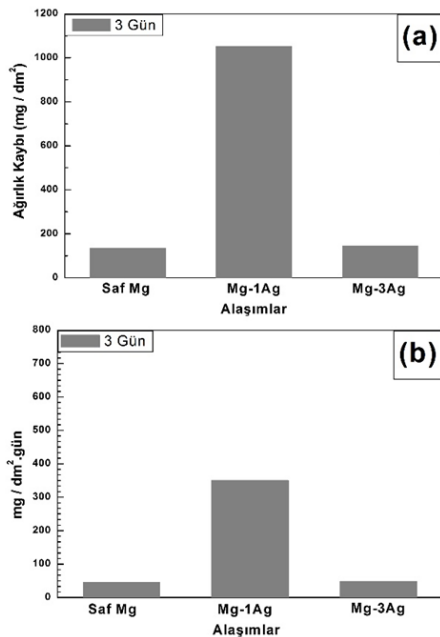
Galvanik korozyon oluşum prensibine göre, α -Mg (anot faz) oranının intermetalikler (katot faz) oranından büyük olması galvanik korozyonu hızlandırıcı rol oynar [14]. Bununla birlikte malzemelerde genel olarak çökeltmeler ve segregasyonlar tane sınırlarında olmaktadır. Dolayısıyla da yapı içerisinde meydana gelen ikincil fazların öncelikle ve büyük miktarlarda tane sınırları

boyunca çökmesi ve Ag ilavesinin artmasıyla intermetalik fazların çoğalması neticesinde (Şekil 5) farklı korozyon oranlarının ortaya çıkardığı düşünülmektedir.



Şekil 5. Alaşımların (a) potansiyodinamik polarizasyon test sonuçları (b) korozyon akım yoğunluğu ve potansiyel değerleri.

Şekil 6'da Saf Mg ve Ag içeren alaşımlarının daldırma korozyon testi sonuçları verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, 3. gün sonunda ki ağırlık kaybının (Şekil 6(a)) en fazla Mg-1Ag alaşımında olduğu ve buna bağlı olarak en yüksek korozyon hızına (Şekil 6(b)) sahip döküm alaşımı olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 6. Alaşımların Ag miktarına bağlı olarak 3 günlük daldırma korozyon testi sonrası, (a) ağırlık kaybı, (b) korozyon hızı.

Daldırma korozyon testleri sonuçları incelendiğinde, genel olarak Mg-1Ag ve Mg-3Ag alaşımlarında, saf Mg' a göre daha yüksek korozyon hızı ve ağırlık kaybının olduğu tespit edilmiştir. Bu durum Ag'nin Mg üzerinde genel korozyonu arttırdığı anlamına gelir. Ancak Ag miktarının artması ile artan ikincil fazlar, çökeltiler ve daha ince taneli yapı sayesinde korozyon hızının azaldığı düşünülmektedir. Dolayısıyla çökeltilerin hem miktarı hem de dağılımı, mikrogalvanik korozyon prensibine bağlı olarak bozunma davranışını etkileyebilir [15, 16].

4. Sonuç

Yapılan çalışma sonucunda;

1- Mg'a ilave edilen Ag miktarının artmasıyla yapıda Mg₄Ag ve Mg₅₄Ag₁₇ fazlarının varlığı tespit edilmiştir.

2- Saf magnezyum ile kıyaslandığında, Ag ilavesi ile tane büyüklüğünün azaldığı ve bu sayede daha iyi mekanik özellikler ortaya çıktığı tespit edilmiştir.

3- Genel olarak Ag miktarını artması ile alaşımların dayanımlarında önemli ölçüde artış olduğu tespit edilmiştir. Aynı şekilde sertlik değerlerinin de paralel olarak artış gösterdiği tespit edilmiştir.

4- Potansiyodinamik polarizasyon testinde %3'e kadar Ag ilavesi ile birlikte korozyon akım yoğunluğu artış göstermiştir.

5- Daldırma korozyon testlerinin sonuçları incelendiğinde, Mg-1Ag alaşımında daha fazla kütle kaybı olduğu tespit edilmiştir.

6- Mg-Ag alaşımlarına uygulanan test ve deney sonuçlarına göre, Ag miktarına bağlı olarak farklı sonuçlar ortaya çıkması, bu alaşım türünün gelişime açık olduğu ve farklı alaşım elementleri ilavesi ile korozyon hızları kontrol altına alınabildiği takdirde iyi bir biyobozunur malzeme adayı olabilir.

Teşekkür

Bu çalışma Türkiye Bilimsel Araştırmalar Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 1002 no'lu ve 119M645 kodlu Hızlı Destek Projesi ile desteklenmiştir.

Etik Beyanı

Bu çalışmada, "Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi" kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin "Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler" başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederiz.

Kaynakça

[1] Song, G., Song, S. 2007. A possible biodegradable magnesium implant material. *Advanced Engineering Materials*, 9(4), 298-302.

- [2] Zheng, Y. F., Gu, X. N., Witte, F. 2014. Biodegradable metals. *Materials Science and Engineering: R: Reports*, 77, 1–34.
- [3] Chen, Y., Xu, Z., Smith, C., Sankar, J. 2014. Recent advances on the development of magnesium alloys for biodegradable implants. *Acta Biomaterialia*, 10(11), 4561–4573.
- [4] Staiger, M. P., Pietak, A. M., Huadmai, J., Dias, G. 2006. Magnesium and its alloys as orthopedic biomaterials: A review. *Biomaterials*, 27(9), 1728–1734.
- [5] Purnama, A., Hermawan, H., Couet, J., Mantovani, D. 2010. Assessing the biocompatibility of degradable metallic materials: State-of-the-art and focus on the potential of genetic regulation. *Acta Biomaterialia*, 6(5), 1800–1807.
- [6] Zheng, Y. 2015. *Magnesium alloys as degradable biomaterials*. 1st., CRC Press, Taylor & Francis Group 600s.
- [7] Tie, D., Feyerabend, F., Müller, W.D., Schade, R., Liefelth, K., Kainer, K., Willumeit, R. 2013. Antibacterial biodegradable Mg-Ag alloys. *European Cells & Materials*, 25(25), 284–298.
- [8] Hardses, J. Streitburger, A., Ahrens, H., Nusselt, T., Gebert, C., Winkelmann, W., Battmann, A., Gosheger, G. 2007. The influence of elementary silver versus titanium on osteoblasts behaviour in vitro using human osteosarcoma cell lines. *Sarcoma*, 2007, 26539.
- [9] Bosetti, M., Massè, A., Tobin, E., Cannas, M. 2002. Silver coated materials for external fixation devices: in vitro biocompatibility and genotoxicity. *Biomaterials*, 23(3), 887–892.
- [10] ATSDR 1990. Toxicological profile for silver. <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp146.pdf> (Erişim Tarihi: 05.12.2021).
- [11] Furst, A., Schlauder, M.C. 1978. Inactivity of two noble metals as carcinogens. *Journal of Environmental Pathology, Toxicology and Oncology*, 1(1), 51–57.
- [12] Dai, Y., Liu, H., Tang, Y., Xu, X., Long, H., Yan, Y., Lou, Z., Zhang, Y., Yu, K., Zhu, Y. 2018. A potential biodegradable Mg-Y-Ag implant with strengthened antimicrobial properties in orthopedic applications. *Metals*, 8(11), 948.
- [13] Zhao, Z., Chen, Q., Chao, H., Huang, S. 2010. Microstructural evolution and tensile mechanical properties of thixoforged ZK60-Y magnesium alloys produced by two different routes. *Materials and Design*, 31(4), 1906–1916.
- [14] Song, G.L. Atrens, A. 1999. Corrosion mechanisms of magnesium alloys. *Advanced Engineering Materials*, 1(1), 11–33.
- [15] Song, G., Atrens, A. 2003. Understanding magnesium corrosion - A framework for improved alloy performance. *Advanced Engineering Materials*, 5(12), 837–858.
- [16] Witte, F., Hort, N., Vogt, C., Cohen, S., Kainer, K. U., Willumeit, F., Feyerabend, F. 2008. Degradable biomaterials based on magnesium corrosion. *Current opinion in solid state & materials science*, 12(5), 63–72.

Gökdelenlerde Alınan Deprem Önlemleri ve Sisam Depremi Bağlamında Folkart Kuleleri'nin İncelenmesi

Esra ÖZTÜRK*¹, Kutluğ SAVAŞIR²

¹Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Bölümü, Yapı Bilgisi Anabilim Dalı, 35410, İzmir, Türkiye

²Dokuz Eylül Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, 35410, İzmir, Türkiye

(Alınış / Received: 18.05.2021, Kabul / Accepted: 21.01.2022, Online Yayınlanma / Published Online: 20.04.2022)

Anahtar Kelimeler

Gökdelenler,
Deprem Yüğü,
30 Ekim 2020 Sisam
Depremi,
Sönümleyiciler,
Folkart Kuleleri

Özet: 30 Ekim 2020 tarihinde yaşanan, merkez üssü Sisam Adası olan 6,6 büyüklüğündeki depremin, yaklaşık 70 km mesafedeki Bayraklı ilçesinde neden olduğu hasar oldukça büyüktür. Buna karşın, depremde yıkılan binalara yaklaşık 500 metre mesafede bulunan Folkart Kuleleri depremi hasarsız atlattır. Araştırmanın amacı, bu depremi hasarsız atlatan Folkart Kuleleri'nde depreme karşı alınan önlemleri araştırmak ve dünya genelindeki yüksek yapılarda depreme karşı alınan önlemleri de örnekler üzerinden incelemektir. Aynı zamanda bu çalışma Bayraklı bölgesinde ileride yapılması planlanan gökdelenlerde depreme karşı alınması gereken önlemlere yönelik, mimarlık camiasında bir farkındalık yaratması amacıyla hazırlanmıştır. Çalışmada yer alan Folkart Kuleleri'nde yerinde yapılan incelemeler ile bilgiler toplanmış ayrıca belirlenen 6 gökdelenle ilgili literatürden elde edilen bilgiler analiz edilmiş ve değerlendirilmiştir. Folkart'ta alınan deprem önlemlerinden bazılarının aktif deprem kuşağında bulunan diğer ülkelerdeki gökdelenlerde de alındığı saptanmıştır. Bu çerçevede Sisam Depremi'nden etkilenen Bayraklı, gökdelenler bölgesi olduğu için inşa edilmesi planlanan gökdelenlerde yanıl yüklerle karşı alınacak tasarım önlemleri oldukça önemlidir. Hazırlanan makale içerdiği tüm bu bilgilerle özgün değer taşımaktadır.

Earthquake Measures in Skyscrapers and Folkart Towers Analysis in the Context of Sisam Earthquake

Keywords

Skyscrapers,
Earthquake Loads,
30 October 2020 Sisam
Earthquake,
Dampers,
Folkart Towers

Abstract: An earthquake, its epicentre is approximately 70 km away from İzmir, damaged many buildings in the Adliye, Manavkuyu and Mansuroğlu neighbourhoods in Bayraklı district. However, Folkart Towers that is within the borders of the Adliye District survived this earthquake without any damage. In this research, the reasons why Folkart Towers survived this earthquake without damage were examined. The purpose is to search the earthquake measures taken in Folkart Towers that were not damaged in the Sisam Earthquake and to examine the earthquake measures taken in high-rise buildings around the world. Besides, this research was prepared in order to create an awareness in the architectural community for the measures to be taken against earthquakes in skyscrapers planned to be built in the future in the Bayraklı region. Interviews were held with the engineers of the Folkart Towers that is in the scope of the study and the findings obtained through on-site investigations were analysed and evaluated. The data collected by interview, observation and literature review were presented in a descriptive approach and tabulated in a conceptual framework. These data were interpreted and results were obtained. Some of the earthquake measures taken at Folkart Towers were also taken in skyscrapers in other active earthquake zones. So, design measures to be taken against lateral loads are very important in the skyscrapers planned to be built since Bayraklı is a skyscrapers region. This article has original value with all this information it contains.

*İlgili yazar: esra.ozt.94@gmail.com

1. Giriş

Türkiye, aktif deprem kuşağında bulunduğu için geçmişten günümüze kadar farklı büyüklüklerde birçok depremi yaşamıştır. Bunlardan biri de 30 Ekim 2020 tarihinde (Türkiye saati ile 14.51) merkez üssü Sisam Adası (İzmir Seferihisar Açıkları) olan AFAD verilerine göre 6,6; Kandilli Rasathanesi verilerine göre 6,9 büyüklüğündeki Sisam Depremi'dir. Deprem, merkez üssüne yaklaşık 70 km uzaklıktaki Bayraklı ilçesinin özellikle alüvyonlu zeminde gelişmiş olan üç mahallesinde (Adliye, Manavkuyu ve Mansuroğlu Mahallesi) hasara, can ve mal kayıplarına neden olmuştur [1]. Adalet Mahallesi genelinde Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü tarafından yaptırılan ilk hasar tespitine göre; bir yıkık, on bir acil yıkılacak, dokuz ağır hasarlı ve yirmi üç adet de orta hasar görmüş yapı mevcuttur, Folkart Kulelerinin hiç hasar görmediği belirlenmiştir [2].

Bayraklı ilçesinin Adalet Mahallesi, gökdelenler bölgesi olarak belirlendiği için bu alanda inşa edilmiş ve inşa aşamasında olan çok sayıda yüksek yapı mevcuttur. Yüksek yapıların tasarım aşamasında, yanal yükler olan rüzgâr ve deprem yükleri önemli birer kriterdir. Her ikisi için de yükseklik arttıkça artan bir yanal yük karşımıza çıkar ki bu da yüksek yapıların konforunu etkilemektedir. Özellikle rüzgâr yüklerinin, yüksek yapılara sürekli etki ettiği durumda üst katlardaki kişiler için dalgalı bir denizde yolculuk yapan bir gemi hissi yaratabilir ve bu durum mide bulantılarına neden olabilir. Bu durumun yaşanmaması için çeşitli önlemler alınmaktadır. Bu kapsamda Bayraklı'da inşa edilmiş en eski ikiz kuleler olan Folkart Kuleleri incelenmiş ve 30 Ekim 2020 Depremi'nde neden hasar almamış olabileceğine yönelik çıkarımlarda bulunulmuştur. Dünya genelinde literatür taraması da yapılarak, mega gökdelenlerde alınan deprem önlemleri irdelenmiştir.

Merkez üssü Sisam Adası olan deprem, İzmir'in Bayraklı ilçesinde birçok binada hasara, can ve mal kaybına neden olmuştur. Bu bölgedeki 7 ila 10 katlı betonarme binalarda ağır hasarlar ve yıkımlar olmasına rağmen, yıkılan Rıza Bey Apartmanı'na yaklaşık 500 metre, ağır hasar alan Adliye Ek Binalarına yaklaşık 250 metre mesafede bulunan Folkart Kuleleri depremi hasarsız atlattır. Folkart

Kuleleri'nin depremi hasarsız atlattırmasını sağlayan nedenlerin araştırılması, makalenin problemini oluşturmaktadır.

Yaşanan deprem, Bayraklı bölgesindeki 7-10 kat arasındaki birçok binayı yıkıp, birçoğuna da ağır ve orta hasar vermişken, Folkart Kuleleri'nin depremi hasarsız olarak atlattırmasının arkasındaki nedenlerin araştırılması; dünyada genelinde deprem kuşağında bulunan diğer gökdelenlerde alınan önlemlerin literatürden taranıp analiz edilmesi ve elde edilen bulguların Bayraklı'da yapılması planlanan yeni gökdelenlerin tasarım aşamasında mimarlara yol gösterici nitelikte olması çalışmanın asıl amacıdır.

Araştırmanın kapsamı Bayraklı'da bulunan en yüksek ve en eski gökdelen olan Folkart Kuleleri ile deprem kuşağında bulunan ülkelerde tasarlanmış altı adet mega gökdelen örneğiyle sınırlandırılmıştır. Bu kapsamda Folkart Kuleleri'nde depreme karşı alınan teknolojik önlemler ile dünyanın farklı yerlerinde inşa edilmiş olan mega gökdelenlerde alınan deprem önlemleri araştırılmış ve bu yöntemler analiz edilerek değerlendirmelerde bulunulmuştur.

Gökdelenler ve maruz kaldıkları yanal yükler (deprem ve rüzgâr yükleri), yüksek yapıların varoluşundan beri üzerinde düşünülen ve çözüm bulmaya çalışılan konulardır. Bu kapsamda gökdelenlerin maruz kaldıkları yanal yüklere karşı tasarım aşamasından itibaren alınan önlemlere dair yapılan çalışmalar araştırılmış ve dünyanın farklı yerlerinde hazırlanan yayınlara ulaşılmıştır [3-20]. Tablo 1'de verilen yayınlar arasında İzmir'de inşa edilen gökdelenlerin sürdürülebilirlik ya da cephe tasarımları kapsamında çalışmalar mevcuttur. Folkart Kuleleri özelinde ise temel betonu uygulaması ve jeofizik yöntemlerle risk belirlenmesi üzerine çalışmalar mevcuttur. Sisam Depremi ya da yanal yüklerden biri olan deprem yüklerine karşı alınan önlemler özelinde bir çalışma mevcut değildir. Bu açıdan bakıldığında da tarafımızdan hazırlanan makale, özgün bir değere sahiptir. Tablo 2'de kronolojik olarak verilen yayınlar arasında Folkart Kuleleri ve Sisam Depremi ile ilgili bir çalışma mevcut değildir. Bu açıdan yazılan makale özgün bir değere sahiptir.

Tablo 1. Gökdelenler ve Folkart Kuleleri Konularıyla İlgili Yapılan Yayınlar

| Yazar | Tarih | Çalışma Konusunun Başlığı |
|--|-------|---|
| [3]-Öner, A.C. & Pasin, B. | 2015 | Emerging Towers in Bayraklı: Sustainability as a Branding Strategy or a Tool for Local Development? |
| [4]-Öziçer, S. | 2016 | Jeofizik Yöntemlerle Riskli Yapıların Belirlenmesi ve İzmir Örneği |
| [5]-Demircan, M.M. | 2016 | Sustainability in Office Environments |
| [6]-Karakız, C. | 2017 | The "Manhattan" Of İzmir? Folkart Towers And Urban Transformation |
| [7]-Fidan, S.Ö. & Güven, S.S. | 2019 | Yüksek Yapılarda Cephelerin Taşıyıcı Sistemle Olan İlişkisinin İncelenmesi ve İzmir Yüksek Yapıları Üzerine Bir Araştırma |
| [8]-Gündüz, A. & Savaşır, K. | 2019 | Criticising (Un)Sustainable Skyscrapers:The Case Of Folkart Towers |
| [9]-Kadiroğlu, İ. Öz, E. Ramyar, K. Ute A. | - | Folkart Towers İnşaatı Temel Betonu İmalatı ve Uygulaması |

Tablo 2. Gökdelenler, Yanal Yükler ve Sönümleyiciler Konularıyla İlgili Yapılan Yayınlar

| Yazar | Tarih | Çalışma Konusunun Başlığı |
|--|-------|---|
| [10]-Higashino, M. Aizawa, S. Yamamoto, M. & Toyama K. | 1998 | Application of Active Mass Damper System and Earthquake and Wind Observation Results |
| [11]-Sev A. | 2001 | Türkiye ve Dünya'daki Yüksek Binaların Mimari Tasarım ve Taşıyıcı Sistem Açısından Analizi |
| [12]-Mir M.A. | 2001 | Evolution of Concrete Skyscrapers: from Ingalls to Jinmao |
| [13]-Akıncıtürk, N. | 2003 | Yapı Tasarımında Mimarın Deprem Bilinci |
| [14]-Aldemir, Ü. & Aydın, E. | 2005 | Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında Yeni Yaklaşımlar |
| [15]-Kourakis, I. | 2007 | Structural Systems and Tuned Mass Dampers of Super-Tall Buildings: Case Study of Taipei 101 |
| [16]-Günel, M.H. & Ilgın H.E. | 2010 | Yüksek Binalar: Taşıyıcı Sistem ve Aerodinamik Form |
| [17]-Pramod, S.D. | 2018 | Use of Dampers in Vertical cities: Effective Method to Control Seismic Vibrations |
| [18]-Lago, A. Trabucco, D. & Wood, A. | 2019 | Damping Considerations in Tall Buildings |
| [19]-Özcan, U. Duran, G. & Erol I. | 2019 | Çok Katlı Yapılarda Betonarme Döşeme Sistemleri / İstanbul Örneği |
| [20]-Alhaddad, W. Halabi, Y. Xu, H. & Lei, H.G. | 2020 | A comprehensive introduction to outrigger and belt-truss system in skyscrapers |

2. Materyal ve Metot

Çalışmada, nitel araştırmada veri analizi yöntemlerinden betimsel analiz ve içerik analizi yöntemleri kullanılmıştır. Betimsel analiz, toplanan verilerin doğrudan açıklanması ya da kavramsallaştırılarak bu kavramlar arasında neden-sonuç ilişkisi kurulması şeklinde açıklanmaktadır. İçerik analizi ise betimsel analizin bir adım ötesine geçilerek bu neden-sonuç ilişkisinin araştırmacı tarafından yorumlanması ilkesine dayanmaktadır [21].

Araştırma için yerinde incelemeler yapılmış, ilgili inşaat mühendisiyle görüşmeler yapılmış ve teknik detaylar hakkında bilgiler alınmıştır. Görüşme, gözlem ve literatür taranması ile toplanan veriler betimsel bir yaklaşımla sunulmuş ve kavramsal çerçevede tablo haline getirilmiştir. Tabloda araştırma kapsamındaki gökdelenlerde depremlere karşı alınan önlemler bir arada bulunmaktadır. Daha sonra bu veriler yorumlanarak gelecekte Bayraklı'da yapılması planlanan gökdelenlere öneriler geliştirilmiştir.

2.1. Deprem Yüklerine Karşı Alınan Önlemler

Bir yapının inşası için, deprem yüklerine karşı alınabilecek önlemler yapının oturduğu zeminin etüdü ile başlamaktadır. Zeminin yapının ağırlığını emniyetli bir şekilde karşılayamadığı durumda, zemin iyileştirme yöntemleri uygulanmalıdır. Nasıl ki bir ağacın kökü, neredeyse toprağın üstündeki gövdesi kadar toprağın altında da devam ediyorsa, bir gökdelenin de temel sistemi zeminin derinliklerine doğru sağlam zemine ulaşana kadar devam etmelidir. Bayraklı'nın alüvyonlu bölgelerinde olduğu gibi sağlam zemine ulaşamıyorsa sürtünme kazıkları çakılarak ya da farklı yöntemlerle zemin dayanımı artırılmalıdır. Aksi takdirde zeminde sıvılaşmanın gerçekleştiği durumda yapıda farklı oturmalarından kaynaklı hasarlar veya bir yana doğru eğilme durumu gerçekleşebilir.

Yapıların yüksekliği, kat sayısı ve hacmiyle yüksek binalarda uygulanan plan şemasında simetri önemli bir faktördür. Kütleli simetrinin yanında taşıyıcı elemanların yerleşimi bakımından da simetri tercih edilmelidir [22]. Simetrinin önemli son deprem yönetmeliklerinde de vurgulanmaktadır. Dünya genelinde uygulanmış olan birçok gökdelen de simetrinin uygulandığını görmekteyiz.

Yüksek bir binanın depremde ayakta kalabilmesi, binanın deprem enerjisini tüketim yeteneğine, yani sünekliliğe (düktilite) bağlıdır. Deprem enerjisinin yapı elemanlarının sünek davranışı, plastik deformasyonu ile tüketilmesi, depreme dayanıklı yapı tasarımının temel ilkesidir. Yüksek yapılarda sünekliliği desteklemek için çelik malzeme kullanılmaktadır. Fakat bazı yüksek yapılarda gelen sismik yük tam olarak emilemez ve yapının taşıyıcı sistemine zarar verebilir. Bu duruma engel olup deprem enerjisinin tüketilmesi için kullanılan bazı yöntemler vardır. Bunlar;

- Sismik taban izolatör sistemleri,
 - Pasif sönümleme sistemleri ve
 - Aktif sönümleme sistemleri
- şeklinde sıralanabilir.

2.1.1. Sismik Taban İzolatör Sistemleri

Yapıların tabanına yerleştirilen izolatör çeşididir. Yapı sistemine ulaşan deprem enerjisinin büyük bir kısmının emilmesini sağlayıp, taşıyıcı sistemin hasar görmesini engellemektedir. İzolatörlerde büyük oranda, yapıda küçük oranda yer değiştirmeler görülmektedir. Genellikle kamusal yapılarda tercih edilen ve pahalı olan bir sistemdir.

2.1.2. Pasif Sönümleme Sistemleri

Yapıların üst kısmına yerleştirilen, herhangi bir enerji kaynağı tarafından aktive edilmeden sismik etkilerle hareket eden sönümleme sistemleridir. Üst yapıya ulaşan deprem enerjisi teknolojik aletlerle tüketilmektedir [23]. En çok tercih edilen pasif sönümleme sistemleri aşağıdaki gibi sıralanmaktadır.

- Ayarlı Kütle Sönümleyici
- Ayarlı Likit Sönümleyici
 - Ayarlı Akışkan Sönümleyici
 - Ayarlı Likit Kolon Sönümleyici [18].

2.1.3. Aktif Sönümlenme Sistemleri

Bu sistem, yapıya yerleştirilmiş sönümleyicilerin kullanımında enerji kaynağı ve bilgisayar kontrollü uyarıcı gerektirdiği için aktif olarak kabul edilmektedir. Yapının üst kısmına yerleştirilen aktif sönümleyiciler, yapıya gelen deprem enerjisini sönümleyip binanın salınımlarını azaltmaktadır.

- Aktif Kütle Sönümleyici
- Aktif Çeşitli Sertlik Sönümleyicileri [18].

3. Bulgular

Makale kapsamında, dünya genelinde aktif deprem kuşağında bulunan ülkelerdeki mega gökdelenlerde alınan deprem önlemlerine yönelik araştırma yapılmıştır. Sismik bölgelerde ve yakın çevrelerinde inşa edilmiş olan 6 adet mega gökdelen deprem yüklerine karşı alınan önlemler kapsamında değerlendirilmiştir. Bu gökdelenler Malezya'daki Petronas Kuleleri, Birleşik Arap Emirlikleri'ndeki Burj al Arab, Çin'deki Jin Mao Kulesi, Tayvan'daki Taipei 101, Birleşik Arap Emirlikleri'ndeki Princess Kulesi ve Amerika Birleşik Devletleri'ndeki 432 Park Avenue'dur. Ayrıca Sisam Depremi sırasında hasar almayan Folkart Kuleleri'nin deprem önlemleri açısından da değerlendirilmesi yapılmıştır.

3.1. Petronas Kuleleri

Tablo 3. Petronas Kuleleri'nin Künyesi

| | |
|----------------|--------------------------|
| Mimarı | : Cesar Pelli Ass. |
| Yapım Yılı | : 1997 |
| Yapım Yeri | : Kuala Lumpur, Malezya |
| Yüksekliği | : 452 metre |
| Yapım Sistemi | : Betonarme Karkas |
| Deprem Önlemi: | Ayarlı Kütle Sönümleyici |

Petronas Kuleleri, Mimar Cesar Pelli tarafından tasarlanıp, 1997 yılında Malezya'da inşa edilmiş olan 452 metre yüksekliğiyle günümüzde dünyanın en yüksek ikiz kuleleridir [Tablo 3]. Betonarme karkas taşıyıcı sisteme sahip olan Petronas Kuleleri, iki kule ve aralarındaki bir çelik köprüden oluşmaktadır. 41. ve 42. katlar arasında bulunan ve her iki kuleye de rijit bir şekilde bağlanmayan bu köprü, yoğun rüzgâr ve deprem durumlarında iki kuleden de ayrı hareket edebilmektedir. Köprü ayaklarının altında, yerden yaklaşık 150 metre yukarıda ayarlı kütle sönümleyici mevcuttur. Yanal yükün etkisinde kaldığı zaman köprünün hareket edebilmesi enerjinin soğurulmasını sağlayıp yapıdaki salınımları kontrol altında tutulmaktadır [Şekil 1].



Şekil 1. Petronas Kuleleri ve Çelik Köprüsü [24]

3.2. Burj Al Arab

Tablo 4. Burj Al Arab'ın Künyesi

| | |
|----------------|--------------------------|
| Mimarı | : Tom Wright |
| Yapım Yılı | : 1999 |
| Yapım Yeri | : Dubai, BAE |
| Yüksekliği | : 321 metre |
| Yapım Sistemi | : Betonarme Karkas |
| Deprem Önlemi: | Ayarlı Kütle Sönümleyici |

Burj al Arab, Mimar Tom Wright tarafından tasarlanıp, 1999 yılında BAE'nde inşa edilmiş olan 321 metre yüksekliğindeki, günümüzde dünyanın en lüks otellerinden birisidir [Tablo 4]. Burj Al Arab, kıyıda 280 metre açıktaki yapay bir ada üzerine inşa edilen bir oteldir. Basra Körfezi'nin ağır rüzgâr yüklerinin etkileri ve hareketli fay hattına yakınlığıyla birçok yanal yüke maruz kalmaktadır. Çelik diyagonallerle güçlendirilen dış iskelet, taşıyıcı sisteme dayanıklılık kazandırmaktadır. Dış iskelette 11 adet ayarlı kütle sönümleyici mevcuttur [Şekil 2 ve Şekil 3]. Bu önlem sayesinde yapıya gelen yanal yükler sönümlenmekte ve salınımlar azaltılmaktadır.



Şekil 2. Burj Al Arab [25]



Şekil 3. Yapının Dış İskeletindeki Sönümleyiciler [26]

3.3. Jin Mao Kulesi

Tablo 5. Jin Mao Kulesi'nin Künyesi

| | |
|----------------|----------------------------|
| Mimarı | : Adrian Smith |
| Yapım Yılı | : 1998 |
| Yapım Yeri | : Pudong, Çin |
| Yüksekliği | : 348 metre |
| Yapım Sistemi | : Karma |
| Deprem Önlemi: | Ayarlı Akışkan Sönümleyici |

Jin Mao Kulesi, Mimar Adrian Smith tarafından tasarlanıp, 1998 yılında Çin'de inşa edilmiş olan 348 metre yüksekliğinde yapıldığı dönemde Çin'in en yüksek gökdelenidir [Şekil 4]. Jin Mao Kulesi, betonarme bir öz sistemi ve çelik kolonlardan oluşmaktadır. Yapıda çelik kullanımı binanın yanal yüklere karşı dayanımının artmasını sağlamaktadır. Deprem yüklerine karşı ise 57. katında bulunan, pasif enerji sönümleyici gibi çalışan bir havuz bulunmaktadır. Havuz, pasif enerji sistemlerinden ayarlı akışkan sönümleyici sınıfına dahildir [Tablo 5].



Şekil 4. Jin Mao Kulesi [27]

3.4. Taipei 101

Tablo 6. Taipei 101'in Künyesi

| | |
|----------------|--|
| Mimarı | : C.Y. Lee & C.P. Wang |
| Yapım Yılı | : 2004 |
| Yapım Yeri | : Taipei, Tayvan |
| Yüksekliği | : 509 metre |
| Yapım Sistemi | : Karma |
| Deprem Önlemi: | Esnek Kirişler ve Ayarlı Kütle Sönümleyici |

Taipei 101, Mimar Chu-Yuan Lee ve C. P. Wang tarafından tasarlanıp, 2004 yılında Tayvan'da inşa edilmiş olan 509 metre yüksekliğinde, yapıldığı dönemde dünyanın en yüksek gökdelenidir [Tablo 6]. Taipei 101'de, deprem yüklerine karşı taşıyıcı sistem tasarımında önlemler alınmış; esnek bir taşıyıcıyla inşa edilmiştir. Rijit 36 adet kolonun etrafını saran esnek kiriş elemanların oluşturduğu taşıyıcı sistem, yapının inşası sırasında meydana gelen 7,3 büyüklüğünde depremle sarsılmıştır. Yapısal bir hasar almayan yapının depreme dayanıklılığı 1999 Depremi ile görülmüştür. Yapı sürekli hareketli olan bir sismik bölgede bulunduğundan ek deprem

önlemleri de alınmıştır [Şekil 5]. Yapının 87. kat ile 92. katları arasına konumlandırılmış dev küre şeklindeki bir ayarlı kütle sönümleyici bulunmaktadır [Şekil 6]. Yanal yüklere karşı salınım yaparak enerjinin sönümlenmesini sağlamaktadır.



Şekil 5. Taipei 101 [28]



Şekil 6. Taipei 101'deki Sönümleyici [29]

3.5. Princess Kulesi

Tablo 7. Princess Kulesi'nin Künyesi

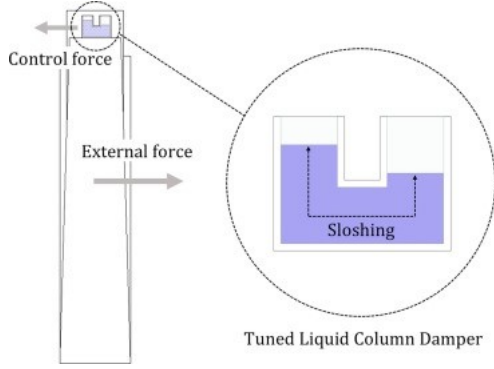
| | |
|----------------|--|
| Mimarı | : Adnan Saffarini |
| Yapım Yılı | : 2012 |
| Yapım Yeri | : Dubai, BAE |
| Yüksekliği | : 413 metre |
| Yapım Sistemi | : Karma |
| Deprem Önlemi: | Esnek Kirişler ve Ayarlı Likit Kolon Sönümleyici |



Şekil 7. Princess Kulesi [30]

Princess Kulesi, Mimar Adnan Saffarini tarafından tasarlanıp, 2012 yılında BAE'nde inşa edilmiş olan

413 metre yüksekliğinde, yapıldığı dönemde dünyanın en yüksek konutu unvanını elde eden bir gökdelenidir [Tablo 7]. Princess Kulesi'nde ağırlığı azaltmak için betonarmenin yanında çelik sistem de kullanılmıştır. Karma sistemle inşa edilen bu yapıda, taşıyıcı sisteminde kullanılan çelik nedeniyle binada esneklik sağlanmıştır. Yanal yüklere karşı da pasif sönümleyici sistem kullanılmıştır [Şekil 7]. Yapının 98. katına yerleştirilen ayarlı likit kolon sönümleyici, salınımı azaltıp enerjiyi sönümlemektedir. [Şekil 8].



Şekil 8. Yapıdaki Ayarlı Likit Kolon Sönümleyici [31]

3.6. 432 Park Avenue

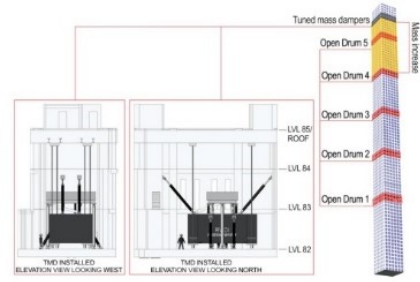
Tablo 8. 432 Park Avenue Kulesi'nin Künyesi

| | |
|----------------|--|
| Mimarı | : Rafael Vinoly & SLCE |
| Yapım Yılı | : 2015 |
| Yapım Yeri | : New York, ABD |
| Yüksekliği | : 426 metre |
| Yapım Sistemi | : Betonarme Karkas |
| Deprem Önlemi: | Esnek Kirişler ve Ayarlı Kütle Sönümleyici |

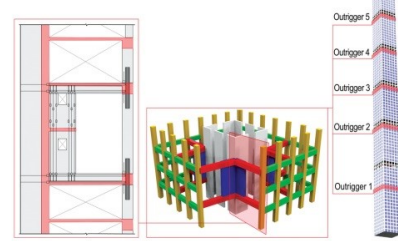
432 Park Avenue Kulesi, Mimar Rafael Vinoly & SLCE tarafından tasarlanıp, 2015 yılında ABD'nde inşa edilmiş olan 426 metre yüksekliğinde, günümüzde dünyanın en yüksek konutu unvanını elde eden bir gökdelenidir [Tablo 8]. 432 Park Avenue, betonarme malzemeden inşa edilmiştir [Şekil 9]. Yanal yüklere karşı, yapının 82. ve 85. katları arasında ayarlı kütle sönümleyici yerleştirilmiştir. Aynı zamanda outrigger sistemle desteklenmiş yapı, depreme karşı da dayanıklı hale getirilmiştir. Bu sistemler yapıda salınımın azaltılıp taşıyıcı sisteme zarar gelmeden yüklerin sönümlemesi sağlar [Şekil 10 ve Şekil 11].



Şekil 9. 432 Park Avenue [32]



Şekil 10. Yapıdaki Ayarlı Kütle Sönümleyici [33]



Şekil 11. Yapıdaki Outrigger Sistem [33]

3.7. Folkart Kuleleri

Tablo 9. Folkart Kuleleri'nin Künyesi

| | |
|----------------|---------------------------|
| Mimarı | : Yağcıoğlu Mimarlık |
| Yapım Yılı | : 2014 |
| Yapım Yeri | : Bayraklı-İzmir, Türkiye |
| Yüksekliği | : 200 metre |
| Yapım Sistemi | : Betonarme Karkas |
| Deprem Önlemi: | Esnek Kirişler |

Folkart Kuleleri, Yağcıoğlu Mimarlık tarafından tasarlanıp, 2014 yılında İzmir, Türkiye'de inşa edilmiş olan 200 metre yüksekliğinde, İzmir'in en yüksek ikiz kuleleridir [Tablo 9] [Şekil 12 ve Şekil 13].

30 Ekim 2020'de yaşanan ve merkez üssü Sisam Adası olan deprem, İzmir'in Bayraklı ilçesinde birçok hasara neden olmuştur. Birçok yapıda yıkımın yanı sıra ağır, orta ve az olmak üzere hasar tespit edilmiştir. Ağır hasarlı ya da yıkık 124, orta hasarlı da 119 bina bulunmaktadır [1]. Yapılan incelemelerde hasarın 7-10 katlı betonarme karkas yapılar da yoğunlukla görüldüğü tespit edilmiştir. Bu durumun birçok nedeninden birisi rezonans olayıdır. Rezonans, sallanan bir cismin doğal periyoduna uygun kuvvetlerle zorlanması sonucu cismin ivmesini 4 - 5 katına çıkarır. [34].



Şekil 12. Folkart Kuleleri [Yazar Arşivi]



Şekil 13. Yapının İnşaat Aşaması [35]

Folkart Kuleleri'nin inşası sırasında Bayraklı bölgesinde yüksek yapı tasarımı daha yeni başladığı için, yönetmeliğe depremin etkisi altında yapı-zemin etkileşimiyle ilgili ek maddelerin (teknik önermeler) yazılması gerekmiştir [36]. Bayraklı bölgesi dolgu, balçık ve alüvyondan oluşan yumuşak zemin yapısına sahiptir. Deprem dalgaları (S dalgaları) genellikle yukarı doğru zayıflayan zemin tabakalarının içinden geçerek ilerlerken genlikleri de değişime uğrar. Sağlam zeminlerde bu değişim önemli olmaz fakat zayıf zeminlerde ivmelerin genlikleri artar ve zemin büyütmesi oluşmuş olur [37]. Bu bölgede oluşan zemin büyütmesiyle 7-10 katlı yapılar rezonans etkisine girmiştir ve ağır hasarlar almıştır. Rıza Bey Apartmanı çevresindeki yıkımın olduğu bölge ile Folkart Kuleleri arasındaki mesafe en fazla 500 metre olup kuleler bu depremi hasarsız atlattır. Bu kapsamda Folkart Kuleleri'nde alınan deprem önlemleri 8 Ocak 2021 tarihinde yerinde incelenmiştir.

Folkart Kuleleri, her biri 44 katlı olan iki kuleden oluşmaktadır. Tasarım aşamasında göz önüne alınan en önemli etken zemin olmuştur. Bayraklı'nın denize çok yakın olan yumuşak zemininde yüksek yapı inşa edilebilmesi için öncelikle zemin iyileştirmesi yapılmıştır. Yapıya etki eden yanal kuvvetlere karşı yapı-zemin etkileşimi çerçevesinde kazık temel uygulaması yapılmıştır. Folkart Kuleleri'nde yer altında 60 metre derinliğe inen sürtünme kazıkları, 3 metre yüksekliğinde radye temel ve iki adet bodrum katı bulunmaktadır. Kule 1 ve Kule 2'de, sürtünme kazığı işlevinde baret kazık ve fore kazık kullanılmıştır. Folkart Kuleleri'nde baret kazıkların tercih edilmesinin nedeni, dikdörtgen yapısından dolayı sürtünme alanının daha fazla olmasıdır. Kule 1 ve Kule 2'nin temelinde kullanılan derin temellere ilişkin bilgi Tablo 10'de verilmektedir.

Yapı, kazık temel ve zemin etkileşimi kapsamında ek olarak baret ve fore kazıkların çevresinde jet-grout uygulaması da yapılmıştır. Jet-grout uygulaması,

yapının radye temel seviyesinden açılan silindirik delginin yüksek basınçlı çimento şerbetiyle doldurulması işlemidir [38]. Oluşan jet-grout kolonlarının amacı oturmayı kontrol etmek, sıvılaşma potansiyelini azaltmak, taşıma ve dayanım gücünü artırmaktır. Kazıkların çevresine yapılan bu uygulama ile 80 cm çapında jet-grout kolonları oluşturulmuştur. Çakılan baret temellerden birisi üzerinde yükleme deneyi yapılmış, statik hesapta en fazla 1800 ton yük gelmesi öngörülürken, yapılan yükleme deneyi sonucunda (O'cell Deneyi) 3900 ton yüke karşı dayanımı olduğu saptanmıştır. Taşıyıcı sistem, yeterli rijitlikte perdelerden oluşan bir çekirdek perde grubu ile perde grubunun etrafında betonarme kiriş ve kolonlardan oluşan bir çerçeve sistemi şeklindedir. Yapının batı cephesindeki bombeli kısım ise çelik profillerle oluşturulmuştur. Yapıda, kayar kalıp teknolojisi kullanılmıştır. Yapının kolonlarında ek olarak çelik I profiller bulunmaktadır ve bu, esneklik ve dayanıklılık kriterlerini desteklemektedir [39].

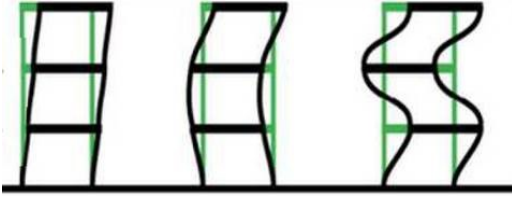
Folkart Kuleleri kullanıcıların konforunun desteklenmesi, bunun yanında rüzgâr ve deprem yüklerine dayanım sağlanması prensipleri çerçevesinde tasarlanmıştır. Yanal yüklerin etkisinin azaltılabilmesi için zemin iyileştirme ve esnek taşıyıcı sistemin yanında ek önlemler de alınmıştır. Yapıya etki eden rüzgâr yükleri, yerden yükseldikçe artmaktadır. Bu durum, üst katlarda rüzgâr kaynaklı salınım etkisi oluşması riskini doğurmaktadır. Bu kapsamda Folkart Kuleleri, tasarım aşamasında rüzgâr testlerine tabi tutularak projelendirilmiştir [35]. Aynı zamanda 44. katta dahi gündelik hayatı etkileyecek bir salınım etkisinin olmadığı saptanmıştır.

Yapıda, rüzgârın yanında deprem yüklerinin de sönümlenmesi için 'Outrigger Sistem' kullanılmıştır. Outrigger sistem merkezdeki perde ile dış çeperdeki kolonlar arasında etkileşimi sağlayan, kafes çelik çubuklardan oluşan yapısal elemanlardır. Özellikle yapılarda, yanal yüklere karşı eğilme rijitliğini artırmaktadır. [40].

Yanal yükler altında gökdelenlerde bir salınım oluşmaya başlar. Teorik olarak gökdelenin yüksekliği arttıkça gökdelenin farklı katlarında zıt yönlü deplasman hareketi görülmeye başlar [Şekil 14]. Folkart Kuleleri'nde bu deplasmanların 18. ve 29. katlarda olması öngörüldüğü için bu katlar tesisat katı olarak düzenlenmiş ve her kulede 8 adet outrigger sönümlenme sistemi kurulmuştur [Şekil 15 ve Şekil 16].

Tablo 10. Folkart Kuleleri'nin Temelinde Kullanılan Kazık Çeşitleri [35]

| Açıklama | Birim | Kule-1 | | Kule-2 | |
|-------------------|-------|-------------|------------|-------------|------------|
| | | Baret Kazık | Fore Kazık | Baret Kazık | Fore Kazık |
| Ebat | cm | 80x280 | 100 | 80x280 | 100 |
| Adet | adet | 86 | 60 | 86 | 57 |
| Ortalama Derinlik | metre | 50,68 | 52,55 | 51,36 | 51,49 |



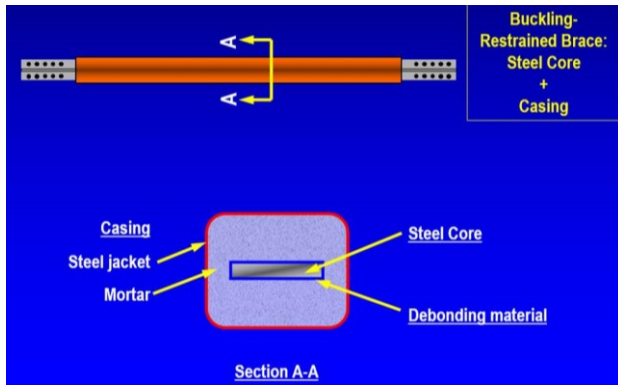
Şekil 14. Yanal Yüklerin Etkisiyle Oluşan Deplasmanlar [35]



Şekil 15. Outrigger Sönümlenme Sistemi [35]



Şekil 16. Kule1 Outrigger Sönümlenme Sistemi [Yazar Arşivi]



Şekil 17. Outrigger Sönümlenme Çapraz Kiriş Detayı [35]

Outrigger sönümlenme sistemi, dıştan çelik kaplamalı beton dolgusu olan, içinde ise sönümlemeyi sağlayan çelik öz olan bir sistemdir. Dolgu ile çelik öz arasında ayırıcı bir kat da bulunmaktadır [Şekil 17]. Deprem anında gelen yan yük, çelik öz tarafından sönümlenir ve bu sırada çelik özde gerçekleşen yer değiştirme ile beton dolgu malzemede deformasyon oluşur ve enerji sönümlenir. Bu şekilde yan yük yapı elemanlarına zarar vermeden sönümlenmiş olur.

Deformasyondan sonra kirişte dolgu malzemenin bulunduğu parça çıkarılıp değiştirilebilir. 30 Ekim 2020'de gerçekleşen 6,6 büyüklüğündeki depremde - outrigger sönümlenme sistemini harekete geçirecek bir büyüklükte deprem olmadığı için- çapraz kirişlerde herhangi bir deformasyon saptanmamıştır.

4. Değerlendirme

Tablo 11'de belirtildiği üzere gökdelenlerde deprem yüklerine karşı alınan önlemler çeşitlilik göstermektedir. Her gökdelende birden fazla deprem önlemi alındığı görülmektedir. Folkart Kuleleri'nin tasarımında da önem verilen bir kriter olan esnek taşıyıcı sistemin, incelenen tüm gökdelenlerde de uygulandığı Tablo 11'de görülmektedir. Özellikle gökdelenlerde yapıya gelebilecek yan yüklerin sönümlenebilmesi için esnek bir tasarım önemlidir. Bayraklı bölgesinde bundan sonra yapılması planlanan gökdelenlerde de kullanılmasının uygun olacağı düşünülmektedir.

Taban izolatörlerinin, incelenen hiçbir gökdelende uygulanmadığı saptanmıştır. Yapılan literatür taramalarında, taban izolatörlerinin kamusal, geniş taban alanına sahip ve yüksek olmayan yapılarda tercih edildiği görülmektedir. Bu nedenle de gelecekte yapılması planlanan gökdelenlerde de uygulanması gerekli görülmemiştir.

Deprem yüklerine karşı alınan önlemlerden olan outrigger sistem, Jin Mao Kulesi, Taipei 101 ve 432 Park Avenue Kuleleri'nde tercih edilirken Folkart Kuleleri'nde de uygulaması yapılmış bir sistemdir. Outrigger sistem yan yük olan deprem yüklerine karşı etkili olduğu gibi bir diğer yan yük olan rüzgâr yüklerine karşı da etkili bir sistemdir.

Deprem yüklerine karşı en çok kullanılan sistem pasif sönümleyicilerdir. Ayarlı kütle sönümleyici Petronas Kuleleri, Burj al Arab, Taipei 101 ve 432 Park Avenue Kuleleri'nde uygulanırken, ayarlı akışkan sönümleyici Jin Mao Kulesi'nde ve ayarlı likit kolon sönümleyici Princess Kulesi'nde uygulanmıştır. Ayarlı kütle sönümleyiciler, özellikle 2000 yılından sonra yüksek yapılarda yaygın olarak kullanılmaya başlanmış olan bir yöntemdir. Asya Kıtası'nda yaygın olarak kullanılan bu yöntem, deprem yükleri için tasarlanmış olsa da rüzgâr yükleri için de etkilidir. Tablo 11'de pasif sönümleyici sistemlerin mega gökdelenlerde kullanımının yaygın olduğu görülmesine karşın, yüksekliği görece az olan Bayraklı bölgesinde yapılacak yeni gökdelenler için kullanımı gerekli görülmemektedir.

İncelenen yedi gökdelen arasında aktif sönümlenme sistemlerinin uygulanmadığı saptanmıştır [Tablo 11]. Bu sistemin alternatifi olan deprem önlemlerinin uygulandığı saptanmıştır. Aktif sönümlenme sistemlerinin üretim ve bakım maliyetinin yüksek olması tercih edilmeme nedeni olarak görülmektedir.

Tablo 11. Gökdelenlerde Deprem Yüklerine Karşı Alınan Önlem Türleri

| Gökdelenler | Deprem Yüklerine Karşı Alınan Önlemler | | | | | | |
|-------------------------|--|--------------------|------------------|--------------------------|-----------------|---|-----------------------------|
| | Esnek Taşıyıcı Sistem | Taban İzolatörleri | Outrigger Sistem | Pasif Sönümleyici Sistem | | | Aktif S. S. |
| | | | | Ayarlı Kütle Sönümleyici | Ayarlı Likit S. | | Aktif K. S./ Aktif Ç. S. S. |
| | | | | A. A. S. | A. L. K. S. | | |
| Petronas Kuleleri, | x | | | x | | | |
| Burj Al Arab, | x | | | x | | | |
| Jin Mao Kulesi, | x | | x | | x | | |
| Taipei 101, | x | | x | x | | | |
| Princess Kulesi | x | | | | | x | |
| 432 Park Avenue, | x | | x | x | | | |
| Folkart Kuleleri | x | | x | | | | |

5. Sonuç

30 Ekim 2020'de yaşanan AFAD verilerine göre 6,6; Kandilli Rasathanesi verilerine göre 6,9 büyüklüğündeki deprem Bayraklı'da 7-10 kat arası konutlarda yıkıcı etkilere neden olmuş, buna karşın bölgede bulunan 44 katlı Folkart Kuleleri'ne yapısal hasar vermemiştir. Yapılan incelemeler sonucu, gerçekleşen deprem ile yapının maruz kaldığı yanal yükün Folkart Kuleleri'nde uygulanmış olan outrigger sistemi harekete geçirecek kadar etkili olmadığı saptanmıştır. Bu bölge, gökdelenler bölgesi olduğundan dolayı gelecekte inşa edilecek olan gökdelenlerde yanal yüklere karşı alınacak tasarım önlemleri oldukça önemlidir.

2014 yılında tamamlanan Folkart Kuleleri 2018'de yayınlanıp 2019'da yürürlüğe giren 'Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne uymaktadır. Aydınoglu'nun da belirttiği gibi Folkart Kuleleri inşa edildiği dönemde Bayraklı bölgesinde yüksek yapı tasarımı yeni başladığı için, yönetmeliğe depremin etkisi altında yapı-zemin etkileşimiyle ilgili ek maddelerin (teknik önermeler) yazılması gerekmiştir.

Folkart Kuleleri'nde yanal yüklere karşı alınan önlemler zeminin iyileştirilmesi ile başlamıştır. Folkart Kuleleri Bayraklı'da 2007 Deprem Yönetmeliği'ne göre zemin grubu D, yerel zemin sınıfı da Z4 olan zemin yapısına ait bir bölgede inşa edilmiştir. Zemin incelemeleri sonucu elde edilen verilere göre statik veriler değerlendirilip ön tasarımı yapılmıştır. Zemin iyileştirilmesi kapsamında baret ve fore kazık temel uygulamaları ile birlikte jet-grout uygulaması da yapılmıştır. 2018 Bina Deprem Yönetmeliği'nde yer alan kazık temellerin boyutlandırılması ve taşıma gücünün hesaplanması kapsamında baret kazıklara kazık yükleme deneyi uygulanmıştır. Yanal yüklere karşı alınan diğer bir önlem ise 18. ve 29. katlarda uygulanan outrigger sistemdir. Dünya'da inşa edilen gökdelenlerdeki outrigger sistem uygulamaları, rüzgâr yüklerine daha fazla maruz kalman yükseklikteki yapılarda uygulanmaktadır. Sistemin tercih edilmesi, beklenen performans verimliliğini karşıladığını göstermektedir. Bundan dolayı Bayraklı bölgesinde ileride inşa edilecek yüksek yapılarda, outrigger sistem ya da araştırma kapsamında incelenen farklı

yanal kuvvet önlemlerinin birisinin uygulamasının yapılması önerilmektedir.

Yanal yüklerden olan deprem yükünün yapıya etkisi uzun zaman aralıklarında gerçekleşmekte olsa da önlemler alınmalıdır. Aynı zamanda bir diğer yanal yük olan rüzgâr yükleri yapılara sürekli etki ettiği için ve yapının yüksekliği arttıkça maruz kaldığı yük de arttığı için önlemler alınması gerekir. Yüksek yapı tasarımında, yapıda yaşayan kişilerin başta konforunun sağlanması için; sonra da yapının rüzgâr ve deprem yüklerine karşı dayanımının sağlanması için yanal yüklere karşı alınması gereken önlemlerin değeri büyüktür.

Teşekkür

Çalışma için sahada yapılan incelemeler sırasında teknik bilgiler veren ve Folkart arşivinden önemli notları bizimle paylaşan İnş. Y. Mühendisi Atacan Üte'ye teşekkürlerimizi sunarız.

Etik Beyanı

Bu çalışmada, "Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi" kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin "Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler" başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederiz.

Kaynakça

- [1] AFAD. 2020. 30 Ekim 2020 Sisam Adası (İzmir Seferihisar Açıkları) Mw 6,6 Deprem Raporu. <https://deprem.afad.gov.tr/downloadDocument?id=2065>. (Erişim Tarihi: 10.12.2020).
- [2] Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. 2020. Hasar Tespit Sorgulama. <https://hasartespit.csb.gov.tr/#/>. (Erişim Tarihi: 03.01.2021).
- [3] Öner, C. A., Pasin, B. 2015. Emerging Towers in Bayraklı: Sustainability as a Branding Strategy or a Tool for Local Development?" Buildings, 5(3), 834-859.
- [4] Öziçer, S. 2016. Jeofizik Yöntemlerle Riskli Yapıların Belirlenmesi ve İzmir Örneği.

- Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 93s, Isparta.
- [5] Demircan, M. M., Insel, M. 2016. Sustainability in Office Environments. (Erişim Tarihi: 10.01.2021).
- [6] Karakız, C. 2017. The 'Manhattan' Of İzmir? Folkart Towers And Urban Transformation. Yaşar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 105s, İzmir.
- [7] Fidan, S. Ö., Güven, S. S. 2019. Yüksek Yapılarda Cephelerin Taşıyıcı Sistemle Olan İlişkisinin İncelenmesi Ve İzmir Yüksek Yapıları Üzerine Bir Araştırma. Ç.Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 38(2), 15-26.
- [8] Gündüz, A., Savaşır, K. 2019 Criticising (Un)Sustainable Skyscrapers:The Case Of Folkart Towers. 5th International Conference on New Trends in Architecture and Interior Design, 26-28 Nisan, İstanbul, 178-188.
- [9] Kadiroğlu, İ., Öz, E., Ramyar, K., Ute, A. t.y. Folkart Towers İnşaatı Temel Betonunu İmalatı ve Uygulaması.<https://www.thbbakademi.org/wp-content/uploads/2020/12/382-395.pdf>. (Erişim Tarihi: 10.01.2021).
- [10] Higashino, M., Aizawa, S., Yamamoto, M., Toyama, K. 1998. Application of Active Mass Damper System and Earthquake and Wind Observation Results. 2nd World Conference on Structural Control, Haziran, Kyoto, Japonya.
- [11] Sev, A. 2001. Türkiye ve Dünya'daki Yüksek Binaların Mimari Tasarım ve Taşıyıcı Sistem Açısından Analizi. Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.
- [12] Mir, M. A. 2001. Evolution of Concrete Skyscrapers: from Ingalls to Jinmao. Electronic Journal of Structural Engineering, 1.
- [13] Akıncıtürk, N. 2003. Yapı Tasarımında Mimarın Deprem Bilinci. Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 8(1), 189-200.
- [14] Aldemir, Ü., Aydın, E. 2005. Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında Yeni Yaklaşımlar. Türkiye Mühendis Haberleri, 435, 81-89.
- [15] Kourakis, I. 2005. Structural systems and tuned mass dampers of super-tall buildings : case study of Taipei 101. Massachusetts Teknoloji Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 69s, Massachusetts, ABD.
- [16] Günel, M.H., Ilgın H.E. 2010. Yüksek Binalar Taşıyıcı Sistem ve Aerodinamik Form. ODTÜ Mimarlık Fakültesi Basım İşliği, Ankara, 225s.
- [17] Pramod, S. D. 2018. Use of Dampers in Vertical cities: Effective Method to Control Seismic Vibrations. International Journal of Engineering Research, 7(1), 80-82.
- [18] Lago, A., Trabucco, D., Wood, A. 2018. Damping Technologies for Tall Buildings: Theory, Design Guidance and Case Studies. ss 55-57. Butterworth-Heinemann Publishing, Birleşik Krallık, 1067s.
- [19] Özcan, U., Duran, G., Erol, İ. 2019. Çok Katlı Yapılarda Betonarme Döşeme Sistemleri / İstanbul Örneği. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 17, 161-175.
- [20] Alhaddad, W., Halabi, Y., Xu, H., Lei, H, G. 2020. A comprehensive introduction to outrigger and belt-truss system in skyscrapers. Structures, 27, 989-998.
- [21] Yıldırım, A., Şimşek, H. 2003. Sosyal Bilimlerde Nitel Araştırma Yöntemleri. 3. Baskı. Seçkin Yayıncılık, Ankara, 241s.
- [22] Sesigür, H, Y. 1999. Deprem Güvenliği Açısından Malzeme Seçimi, Yangın ve Deprem Güvenliği Açısında Malzeme ve Taşıyıcı Sistem Seçimi Semineri. TMMOB Mimarlar Odası, İstanbul Büyükkent Şubesi, 8-45.
- [23] Düzgün, M., Bozdağ, Ö. t.y. Betonarme Yapıların Deprem Performansının Belirlenmesi. http://www.imo.org.tr/resimler/dosya_ekler. (Erişim Tarihi: 31.12.2020).
- [24] Unsplash Petronas Tower. t.y. <https://unsplash.com/photos/zZd6Oqgu2-c>. (Erişim Tarihi: 15.01.2021).
- [25] Unsplash Burj al Arab. t.y. https://unsplash.com/photos/0IV1o4_otKA. (Erişim Tarihi: 11.02.2021).
- [26] Real Truth Science Documentaries. t.y. Mega Structures:Building the Burj Al Arab. <https://www.youtube.com/watch?v=y10DpG8uiNc>. (Erişim Tarihi: 05.05.2021).
- [27] Wikipedia Jin Mao Tower. t.y. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Shanghai_Jin_Mao.JPG. (Erişim Tarihi: 11.02.2021).
- [28] Unsplash Taipei 101. t.y. <https://unsplash.com/photos/qQj8lcyZ8Fw>. (Erişim Tarihi: 09.02.2021).
- [29] Wikimedia Commons Taipei 101 Damper. t.y. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Taipei_101_Tuned_Mass_Damper.png. (Erişim Tarihi: 09.02.2021).
- [30] Wikipedia Princess Tower. t.y. https://en.wikipedia.org/wiki/File:Princess_Tower.jpg. (Erişim Tarihi: 11.02.2021).
- [31] Park, B, J., Lee, Y, J., Park, M, J., Young, K, J. 2018. Vibration Control of a Structure by a Tuned Liquid Column Damper with Embossments. Engineering Structures Journal, 168, 290-292.

- [32] Unsplash 432 Park Avenue. t.y. https://unsplash.com/photos/fB_qJwduGYw. (Erişim Tarihi: 11.02.2021).
- [33] Marcus, S., Mena, H., Yalnız, F., Shirley, C. 2018. 432 Park. Structure Magazine, 32-33.
- [34] Düzgünoğlu, C, O. t.y. Depremin Yapılar Üzerinde Etkileri. http://www.csproje.com/gal/dos/DEPREMIN_YAPILAR_UZERINDE_ETKILERI.pdf. (Erişim Tarihi: 10.01.2021).
- [35] Folkart Arşivi. 2017. Folkart Towers Teknik Sunum. (Kişisel Görüşme ile Erişim Tarihi: 08.01.2021).
- [36] Aydınöğlu, M, N. 2020. İzmir Depremi Ortak Akıl Buluşması: Dayanıklı Yapılar, İzmir'de Yapı Güvenliği ve Yapı Stoğu. <https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=KXxOFaEqtOU&t=3s>. (Erişim Tarihi: 10.01.2021).
- [37] Aydınöğlu, M, N. 2012. Zayıf Zeminlerde Yapılan Binalarda Deprem Etkisi Altında Yapı-Kazık-Zemin Etkileşimi. https://www.imo.org.tr/resimler/dosya_ekler. (Erişim Tarihi: 05.05.2021).
- [38] Gökalp, A. t.y. Derin Zemin İyileştirme Yöntemleri Ve Uygulama Örnekleri. <https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=tl0gyRh2SjI&t=1809s>. (Erişim Tarihi: 05.02.2021).
- [39] Üte, A. Folkart Yapı (Kişisel Görüşme Tarihi: 08.01.2021).
- [40] Folkart. 2020. Deprem ve İzmir Webinarı 1-12. <https://www.youtube.com/watch?v=xRmm9gPjMxs>. (Erişim Tarihi: 30.04.2021).

Flexural Tensile Strength Measurement and Determination for Kerbstones with Unsymmetrical Section

Cengiz Duran ATIŞ*¹, Abdisamed Ahmed ABDILAHİ², Serhan İLKENTAPAR¹, Uğur Durak¹, Okan KARAHAN¹

¹Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 38039, Kayseri, Türkiye

²Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 38039, Kayseri, Türkiye

(Alınış / Received: 27.05.2021, Kabul / Accepted: 15.12.2021, Online Yayınlanma / Published Online: 20.04.2022)

Keywords

Kerbstone,
Biaxial bending strength,
Moment of inertia,
Unsymmetrical section.

Abstract: In this study, the determination of flexural tensile strength of concrete kerbstone is investigated. Currently, the flexural tensile strength of concrete kerbstone is determined using simple bending formula. However, due to the unsymmetrical cross-section of kerbstone, the bending take place on the section of kerbstone is not simple bending but bi-axial bending. The study shows how the flexural tensile strength for unsymmetrical sections should be determined. Additionally, flexural strength results obtained using the simple bending formula suggested by certain specifications and bi-axial bending formula used in the study were compared. As a result of the study, it was found that bi-axial bending formula gave higher values than that of the simple bending formula.

Simetrik Kesitli Olmayan Bordür Taşları için Eğilmede Çekme Dayanımı Ölçümü ve Tayini

Anahtar Kelimeler

Bordür taşı,
Çift eksenli eğilme dayanımı,
Atalet momenti,
Simetrik olmayan kesit.

Özet: Bu çalışmada, beton bordür taşının eğilmede çekme dayanımının belirlenmesi konusu araştırılmıştır. Günümüzde, beton bordür taşının eğilmede çekme dayanımı, basit eğilme formülü kullanılarak belirlenmektedir. Ancak, bordür taşının simetrik olmayan enine kesitinden dolayı, bordür taşı kesitinde meydana gelen eğilme, basit bir eğilme değil, iki eksenli bir eğilme olmaktadır. Çalışma da, simetrik olmayan kesitler için eğilmede çekme dayanımının nasıl belirlenmesi gerektiği teorik olarak gösterilmiştir. Ek olarak, standartların önerdiği basit eğilme formülü ve çalışmada kullanılan iki eksenli eğilme formülü kullanılarak elde edilen eğilme dayanımı sonuçları karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucuna göre, iki eksenli eğilme formülü ile basit eğilme formülüne göre daha yüksek eğilmede çekme dayanımı değerleri elde edildiği tespit edilmiştir.

1. Introduction

There are three different approaches in the measurement of the tensile strength of concrete materials. These are direct tensile strength testing, splitting tensile strength testing, and bending tensile strength testing measurement. The information on these tensile strength testing measurements are available in the relevant literature [1, 2]. In this work, bending tensile strength testing and determination would be under consideration.

In general, bending tensile strength of concrete can be found by simply supported beam bending test using a concrete prism sample with square or rectangular

section. In the testing, three-point or four-point loading testing apparatus are used [1, 2].

Kerbstone or border stone is generally used in the border of road to separate pedestrian walking way and motorized vehicle way, also it is used to make traffic island, or to separate double roads properly, or in construction of parking lots.

It is expected that kerbstone, used in the border of access way or road in urban, to have specified dimensions with appropriate tensile strength. Turkish Standard that specifies the dimensions and strength of kerbstone made with concrete is TS 436 EN 1340 [3]. Apart from describing dimensions, standard specification specifies the lower limit of flexural

*İlgili yazar: cdati@erciyes.edu.tr

strength of kerbstone. This study is focused on measurement and determination of flexural strength of concrete kerbstone.

Kerbstone bending test is carried out according to relevant standard TS 436 EN 1340 [3], using three-point load testing by simply supported beam simulation.

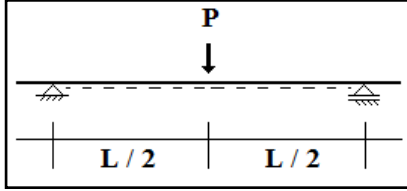


Figure 1. Kerbstone bending test by simply supported beam simulation [6]

Modeling of three-point load by simply supported beam simulation can be seen in Figure 1, and application of testing can be seen in Figure 2. Bending strength is determined using the equation given by relevant standard, in the equation, kerbstone working dimensions and section parameters, breaking load obtained from laboratory testing, the distance between supports and position of point load are used.

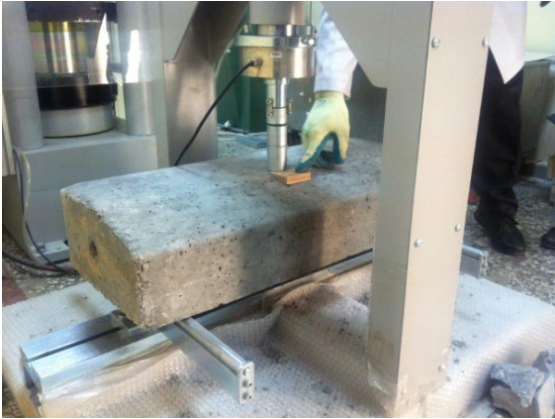


Figure 2. Kerbstone bending application picture [6]

Bending strength determination formula specified by current Turkish Standard [3] is presented in the following Equation 1.

$$T = \frac{PL}{4I} y \quad (1)$$

“P”, is breaking load (in Newton). “L”, is span length of beam or distance between supports (mm). “I”, is moment of inertia for working or breaking section of kerbstone, (mm⁴). “y”, is distance between centroid of working section and outer fibre of beam in tensile zone (mm). “T” is flexural tensile strength of kerbstone in MPa.

It is known that above given formula by Equation 1 is valid for symmetrical section under simple bending. However, in general, the cross-section of kerbstone is

not a symmetrical, thus, given formula is under question.

Therefore, this case should be analyzed, and the situation has to be clarified. This clarification is taken as the main target of the study. To achieve this goal a theoretical and experimental program were planned and carried out.

2. Material and Method

2.1. Method for determination of flexural bending strength

As it was stated above that the given formula by Equation 1, is valid for simple bending with symmetrical section, it is not valid for simple bending of unsymmetrical section. In Equation 1, there appears a “y” term, the definition of “y” value by the standard is that “distance between centroid of working section and outer fibre of beam”. This definition of y value is also thought to be inappropriate. The realistic definition of “y” value should be that “distance of outer fibre in tension zone to neutral axis”.

Strength determination can be carried out for a general section regardless if the section is either symmetrical or unsymmetrical, using the formula described by mechanics of materials rule (Equation 2) presented below [4,5].

$$\sigma_z = \frac{M_x(I_y Y - I_{xy} X) + M_y(I_{xy} Y - I_x X)}{I_x I_y - (I_{xy})^2} \quad (2)$$

In the formula, M_x is bending moment about x axis of section. M_y is bending moment about y axis of section. I_x is inertial moment of section about x axis. I_y is inertial moment of section about y axis. I_{xy} is product inertial moment of section. X and Y are abscissa and ordinate of a point where stress is calculated, with respect to the axes located at centroid of section. σ_z is stress at any point located at X and Y coordinates.

In addition, the equation of neutral axis is given in Equation 3 that is presented below [4, 5]. The definition of neutral axis is that the stress distribution of a cross-section becomes zero on a line that passes through centroid, such line is called neutral axis, and it can be found by equating the stress values, given in Equation 2, to zero, then equation of neutral axis is found as presented in Equation 3.

$$Y = \frac{X(I_{xy} M_x - I_x M_y)}{I_y M_x - I_{xy} M_y} \quad (3)$$

In the case of symmetrical kerbstone section, the formula (Equation 1) suggested by relevant standard to be used in the determination of the strength of kerbstone section, can be used. However, when the

section is unsymmetrical then bending becomes biaxial. When a symmetrical section is subjected to such a moment with two components about axes then also bending becomes biaxial, not simple. Thus, the general formula (Equation 2) should be used in the strength calculation. In case of kerbstone flexural tensile strength determination, the value of maximum moment about x axis can be determined using the three-point testing using the formula described by Equation 4, and suggested by the relevant Standard.

$$M = \frac{PL}{4} \quad (4)$$

The general dimensions and shape of the kerbstone used in this study are presented in Figure 3. It can be clearly seen from the figure that kerbstone section is not symmetrical. The bending moment that breaks the section would be about x axis, there would not be moment about y axis. Therefore, moment about x axis would be determined after bending testing that is to be determined using Equation 4, and moment about y axis M_y is zero.

While strength calculation carried out for kerb stone section, Equation 2 have to be used, since the section is unsymmetrical and the formula is general. Therefore, the parameters that used in Equation 2, i.e. I_x, I_y, I_{xy}, X ve Y are to be determined using the section dimensions provided in Figure 3. Determinations of those parameters can be carried out using mechanics of materials rule. As a result of mechanics of materials rule, the following equations are obtained to determine these inertial moment values (Equation 5, 6, 7).

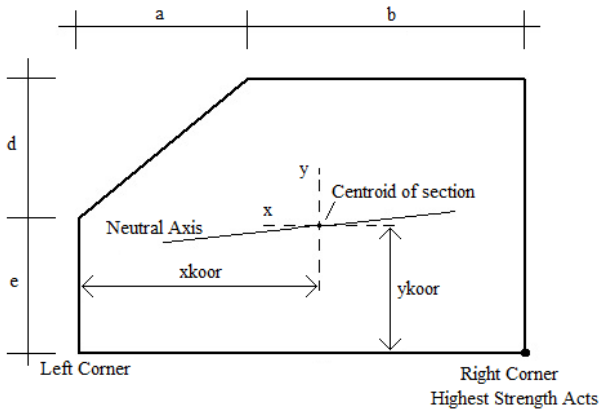


Figure 3. Typical kerb stone section, dimension and axis used in the study [6]

Where, a, b, d, e is side length of cross-section as defined in Fig.3. Abscissa and ordinate values of centroid of section can also be obtained using mechanics of materials rule. In this work, abscissa and ordinate values of centroid of entire section are obtained with respect to axis located at left corner of section and provided by Equation 8 and 9.

$$I_x = \frac{6b^2(d+e)^4 + 6ab(d+e)(d^3 + 4d^2e + 4de^2 + 2e^3)}{72b(d+e) + 36a(d+2e)} + \frac{a^2(d^4 + 6d^3e + 12d^2e^2 + 12de^3 + 6e^4)}{72b(d+e) + 36a(d+2e)} \quad (5)$$

$$I_y = \frac{6b^4(d+e)^2 + 12ab^3(d+e)(d+2e) + 12a^2b^2(d+e)(d+3e)}{72b(d+e) + 36a(d+2e)} + \frac{6a^3b(d+e)(d+4e) + a^4(d^2 + 6de + 6e^2)}{72b(d+e) + 36a(d+2e)} \quad (6)$$

$$I_{xy} = \frac{ad(6b^2(d+e)(d+3e) + 6ab(d+e)(d+4e))}{72(2b(d+e) + a(d+2e))} + \frac{a^2(d^2 + 6de + 6e^2)}{72(2b(d+e) + a(d+2e))} \quad (7)$$

$$x_{koor} = \frac{\frac{-(a^2d)}{6} + \frac{1}{2}(a+b)^2(d+e)}{a\left(\frac{d}{2} + e\right) + b(d+e)} \quad (8)$$

$$y_{koor} = \frac{3b(d+e)^2 + a(d^2 + 3de + 3e^2)}{6b(d+e) + 3a(d+2e)} \quad (9)$$

Therefore, stress value at any point on the entire section can be calculated using these moments of inertia and other parameters. It is known that compressive strength of concrete is much higher than flexural tensile strength of concrete. Thus, the breaking occurs due to tensile stress on the section. Highest breaking stress should be calculated, since it causes the breaking of section. The highest breaking stress is also called flexural tensile strength of material. In the section presented in Figure 3, neutral axis is also plotted. It is known that the highest stress acts on the fibre that is the farthest from the neutral axis. In our case, the fibre farthest from neutral axis is located at right corner of kerbstone section. That point is also marked on the section presented in Figure 3. Coordinates of the above mention points with respect to the axes of whose origins located at centroid of entire section, where the highest tensile stress acts, can be stated by Equation 10 and 11. These coordinates are used in determination of flexural strength of kerbstone.

$$X = a + b - x_{koor} \quad (10)$$

$$Y = -y_{koor} \quad (11)$$

Above, it was stated that value of bending moments existed about y axis M_y was zero. If M_y value is substituted in stress formula given in Equation 2. Then below statement can be obtained in Equation 12.

$$\sigma_z = \frac{M_x(I_y Y - I_{xy} X)}{(I_x I_y - I_{xy}^2)} \quad (12)$$

For clarification or easing calculation process, if the statement next to M_x moment is considered as coefficient of M_x , then inverse of that coefficient can be described as “W” (section modulus), thus, Equation 13 is obtained. If “W” is substituted in Equation 12, then, Equation 14 is obtained.

$$W = \frac{I_x I_y - I_{xy}^2}{I_y Y - I_{xy} X} \quad (13)$$

$$\sigma_z = \frac{M_x}{W} \quad (14)$$

When those moments of inertia i.e. I_x , I_y , I_{xy} , and X and Y value are determined as described above, and substituted in section modulus (Equation 13), then “W” section modulus is obtained. The value of W can be substituted in Equation 14, thus, the highest stress acted on kerbstone section namely σ_z is obtained. The resultant value is also called flexural strength of kerbstone.

When the neutral axis is considered, bending moment about y axis was zero, this can be substituted in neutral axis Equation 3, then, simplified form of neutral axis can be obtained as presented below (Equation 15).

$$Y = \frac{X I_{xy}}{I_y} \quad (15)$$

It can be seen from Equation 15 that slope of the neutral axis is ratio of product moment of inertia to moment of inertia about y axis for entire section namely I_{xy}/I_y . Definition of slope is that tangent of the angle between neutral axis and x axis, thus, that angle ϕ can be determined using Equation 16.

$$\phi = \arctan\left(\frac{I_{xy}}{I_y}\right) \quad (16)$$

By using Equation 14 and 16, flexural tensile strength of kerbstone and angle between neutral axis and “x” axis can be determined.

2.2. Materials Used and Experimental Study

In real application and production, kerbstone dimensions are about 100 cm in length, and 30 and 40 cm in width and height. Thus, weight of a kerb stone becomes heavy to handle it, i.e. weight of a kerbstone heavier than 100 kg or more. In this study, producing small samples for laboratory were considered. Prismatic mortar samples with square section were produced. Unsymmetrical section was obtained by cutting a triangle from the corner of a square section. Mortar samples regardless of its cross-section were tested under tree point bending test. Then, bending

strength were calculated using breaking load, span between supports and section properties. In calculation of bending strength Equation 1 and Equation 2 were employed. In Equation 1, moment of inertia value (I) was taken as I_x calculated in this study, and “ y ” value was substituted by “ y_{koor} ” value. It is known that strength of a material is constant, thus, the results obtained from unsymmetrical section and symmetrical section have to be equal. Therefore, it is expected that Equation 1 would be failed, and Equation 2 would satisfy the results. Mortar sample was prepared with 40x40 mm section and with 160 mm length. In preparation of mortar sample, a standard mixture was used. In the mixture, 450 gr cement, 1350 gr standard Rilem sand, and 225 water used to prepare three 40x40x160 mm³ sized prismatic specimens. In total, 18 prismatic specimens were prepared, 9 of them were subjected to saw cutting to obtain unsymmetrical section that looks like kerb stone section. Other 9 of them were used with square symmetrical section. For each sample, bending testing was carried out. Picture of mortar samples with symmetrical and unsymmetrical section were presented in the following figures (Figure 4 and 5) [6].

2.2.1 Flexural tensile strength measurements on symmetrical sectioned specimens

In the following, the specimens with square sections used for experiment are presented in Figure 4. The result of breaking force of the section is also measured for each specimen. The results of measurement obtained from flexural tensile strength testing were presented in Table 1, with the dimensions of each section.



Figure 4. Specimens for symmetrical section

Table 1. Breaking load for each square sectioned samples

| Exp. Number | a (mm) | b (mm) | c (mm) | d (mm) | e (mm) | L (mm) | P (Newton) |
|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------------|
| 1 | 0 | 40 | 40 | 0 | 40 | 100 | 3520 |
| 2 | 0 | 40 | 40 | 0 | 40 | 100 | 3330 |
| 3 | 0 | 40 | 40 | 0 | 40 | 100 | 3460 |
| 4 | 0 | 40 | 40 | 0 | 40 | 100 | 3410 |
| 5 | 0 | 40 | 40 | 0 | 40 | 100 | 3550 |
| 6 | 0 | 40 | 40 | 0 | 40 | 100 | 3360 |
| 7 | 0 | 40 | 40 | 0 | 40 | 100 | 3290 |
| 8 | 0 | 40 | 40 | 0 | 40 | 100 | 3650 |
| 9 | 0 | 40 | 40 | 0 | 40 | 100 | 3220 |

2.2.2 Flexural tensile strength measurements on unsymmetrical sectioned specimens

In the following, the specimens with unsymmetrical sections used for flexural tensile strength are presented in Figure 5. Dimensions of section of each specimen are marked on specimen. The result of breaking force of the specimens is also measured for each specimen. The results of measurement obtained from flexural tensile strength testing were presented in Table 2, with the dimensions of each section.



Figure 5. Specimens for unsymmetrical section

Table 2. Breaking load for unsymmetrical sectioned samples

| Exp. Number | a mm | b mm | c mm | d mm | e mm | L mm | P Newton |
|-------------|------|------|------|------|------|------|----------|
| 1 | 20 | 20 | 40 | 20 | 20 | 100 | 2670 |
| 2 | 17 | 23 | 40 | 16 | 24 | 100 | 2720 |
| 3 | 17 | 23 | 40 | 15 | 25 | 100 | 2560 |
| 4 | 18 | 22 | 40 | 17 | 23 | 100 | 2380 |
| 5 | 19 | 21 | 40 | 19 | 21 | 100 | 2370 |
| 6 | 18 | 22 | 40 | 17 | 23 | 100 | 2380 |
| 7 | 17 | 23 | 40 | 17 | 23 | 100 | 2250 |
| 8 | 18 | 22 | 40 | 18 | 22 | 100 | 2400 |
| 9 | 18 | 22 | 40 | 18 | 22 | 100 | 2380 |

3. Results and Discussion

The data presented in Table 1 and Table 2 was used to calculate the strength of the entire sections using both formulas suggested by TS 436 (Equation 1) and this study (Equation 2). Flexural tensile strengths obtained from both formulas are presented in Table 3 and Table 4, for symmetrical and unsymmetrical sections, respectively.

Averages and standard deviations of the strength obtained are also calculated and presented in Table 3 and Table 4. The angle of neutral axis was also given in Table 3 and 4.

It can be seen from Table 3 that average strength of symmetrical section is 8.06 MPa, this result is obtained from both formulas. For symmetrical section, formulas described in Equation 1 and 2 gave the same results, this is expected, since the bending occurred on symmetrical section is simple. Thus, the strength of mortar materials is 8.06 MPa.

Table 3. Strength of each squared section samples calculated by both formulas, MPa

| Exp. Number | σ_{TS436} | σ_{work} | ϕ^0 | $\frac{\sigma_{work}}{\sigma_{TS436}}$ |
|--------------------|------------------|-----------------|----------|--|
| 1 | 8.25 | 8.25 | 0 | 1 |
| 2 | 7.80 | 7.80 | 0 | 1 |
| 3 | 8.11 | 8.11 | 0 | 1 |
| 4 | 7.99 | 7.99 | 0 | 1 |
| 5 | 8.32 | 8.32 | 0 | 1 |
| 6 | 7.88 | 7.88 | 0 | 1 |
| 7 | 7.11 | 7.11 | 0 | 1 |
| 8 | 8.55 | 8.55 | 0 | 1 |
| 9 | 8.55 | 8.55 | 0 | 1 |
| Average | 8.06 | 8.06 | - | 1 |
| Standard Deviation | 0.45 | 0.45 | - | - |

Table 4. Strength of each unsymmetrical section samples calculated by both formulas, MPa

| Experiment Number | σ_{TS436} | σ_{work} | ϕ^0 | $\frac{\sigma_{work}}{\sigma_{TS436}}$ |
|--------------------|------------------|-----------------|----------|--|
| 1 | 7.18 | 9.30 | 12.86 | 1.29 |
| 2 | 7.06 | 8.49 | 9.50 | 1.20 |
| 3 | 6.63 | 7.88 | 8.98 | 1.19 |
| 4 | 6.24 | 7.66 | 10.43 | 1.23 |
| 5 | 6.30 | 7.98 | 11.90 | 1.27 |
| 6 | 6.24 | 7.66 | 10.43 | 1.23 |
| 7 | 5.86 | 7.11 | 10.00 | 1.21 |
| 8 | 6.31 | 7.83 | 10.94 | 1.24 |
| 9 | 6.26 | 7.76 | 10.95 | 1.24 |
| Average | 6.45 | 7.96 | 10.66 | 1.23 |
| Standard Deviation | 0.43 | 0.61 | 1.06 | 0.03 |

The average strength for unsymmetrical section calculated using the formula suggested by standard (Equation 1) is 6.45 MPa. The average strength of unsymmetrical section calculated using the formula suggested in this work (Equation 2) is 7.96.

The results of this study have shown that results of symmetrical section (8.06 MPa) the true ones, and results of formula suggested in this work for biaxial bending is near to each other (7.96 MPa). This was expected, since a materials strength does not depend on section geometry. The result obtained from standards formula (Equation 1) deviates in the order of 20% from true result (Equation 2). Therefore, this proves that formula suggested in this study (Equation 2) is more appropriate and realistic in comparison to standards formula (Equation 1) which gave over safe result.

In this study, small number of samples (9 samples) for comparison purposes is used, it is suggested that more experiment should be carried out to verify this results. Additionally, the dimensions of samples used in this

study is small, it is suggested that testing may be carried out on real samples.

As a result of this study, it is found that standards formula gave over safe results in calculation of kerbstone section strength. Therefore, it is suggested that the formula used in this work could be used in calculation of kerbstone strength. Another suggestion is that a symmetrical section can be prepared by cutting kerb stone section, and the strength of sample with symmetrical section can be calculated.

4. Conclusion

Determination of flexural tensile strength of kerbstone with unsymmetrical section should be carried out with respect to rule of mechanics of material. The formula suggested by the standard for determination of flexural tensile strength of kerbstone gave over safe results. The relative difference is in the order of 20%, which is significant. Determination of kerbstone flexural strength can be calculated using exact formula, provided by mechanics of materials rule, and computer; and more realistic results can be obtained. The extra stress part of over safe calculation can be reduced appropriately which may result in saving in amounts of cement used in producing kerbstone.

Declaration of Ethical Code

In this study, we undertake that all the rules required to be followed within the scope of the "Higher Education Institutions Scientific Research and Publication Ethics Directive" are complied with, and that none of the actions stated under the heading "Actions Against Scientific Research and Publication Ethics" are not carried out.

References

- [1] Erdoğan, TY, *Concrete*, METU Press, Ankara, 2003.
- [2] Neville, A. M., *Properties of Concrete*, 4th ed., Pearson Education Limited, UK, 2004.
- [3] TS 436 EN 1340 (2005), *Testing Methods and Specifications for concrete kerbstone*, Turkish Standards, Ankara, 2005.
- [4] Omurtag, M.H., (2007), *Strength*, Volume 1 and 2, 2007.
- [5] Gross, D., Hauger, W., Schröder, J., Wall, W. A. Bonet, J., 2010, *Engineering Mechanics 2, Mechanics of Materials*, Springer, ISBN 978-3-642-12885-1.
- [6] Abdilahi, A. Abdisamed, Cengiz Duran Atiş, Measurement and Determination of Kerbstone Bending Strength, MSc Thesis, Graduate School of Natural and Applied Science, Erciyes University, 2014.

Silisyum İnce Filmlerde Taban Malzemelerin Elektronik Kusurlar Üzerine Etkisinin Belirlenmesi

Gökhan YILMAZ^{ORCID}

Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü,
15030, Burdur, TÜRKİYE

(Alınış / Received: 01.06.2021, Kabul / Accepted: 15.12.2021, Online Yayınlanma / Published Online: 20.04.2022)

Anahtar Kelimeler

Silisyum ince film,
PECVD,
Elektronik kusurlar,
Taban malzeme etkisi

Özet: Silisyum ince filmlerin taban malzeme ve üretim koşullarına bağlı olarak kristal hacim oranları değişmektedir. Kristal hacim oranlarındaki bu farklılık ince filmlerin yasak enerji aralığında bulunun elektronik kusur çeşitlerini de etkilemektedir. Silisyum ince filmlerde atmosferik koşullardan ya da uzun süre ışığa maruz kalmalarından kaynaklı olarak elektronik kusurlar oluşmaktadır. Elektronik kusurların değişimine bağlı olarak iletkenlik değerlerinde değişimler oluşmaktadır. Bu çalışmada PECVD tekniği kullanılarak aynı anda üç farklı taban malzeme üzerine silisyum ince filmler büyütülmüştür. Büyütülen filmlerin kristal hacim oranları Raman Spektroskopisi ile yüzey morfolojileri ise taramalı elektron mikroskobu (SEM) yöntemi ile belirlenmiştir. Büyütülen silisyum ince filmler farklı atmosferik koşullara (laboratuvar atmosferi, ışık banyosu ve UV ışık yaşlandırmasına) maruz bırakılarak bilinçli bir şekilde ince filmlerin yapısında elektronik kusurlar oluşturulmuştur. Bu kusurların davranışı elektriksel iletkenlik yöntemleri olan zamana bağlı karanlık iletkenlik, fotoiletkenlik ve mobilite-yaşam süresi hesaplamaları ile incelenmiştir. Elde edilen bulgular sonucunda taban malzemelerin farklı olmasından kaynaklı malzemelerin kristal hacim oranlarında ve kalınlıklarında belirgin farklılıklar olduğu ve bu farklılıklardan kaynaklı olarak malzemelerin aynı atmosferik koşullarda farklı elektronik kusur durumlarından etkilendikleri belirlenmiştir.

Determination of the Effect of Substrates on Electronic Defects in Silicon Thin Films

Keywords

Silicon thin film,
PECVD,
Electronic defects,
Substrate effect

Abstract: The crystal volume ratios of silicon thin films vary depending on the substrate material and production conditions. The difference in crystal volume fraction also affects the types of electronic defects in the band gap of thin films. Electronic defects occur in silicon thin films due to atmospheric conditions or prolonged light exposure. Conductivity values changes can occur due to the change of electronic defects. In this study, silicon thin films were grown on three different substrates at the same time using the PECVD technique. The crystal volume ratios and surface morphology of the grown films were determined by Raman Spectroscopy and scanning electron microscopy (SEM) respectively. The grown silicon thin films intentionally were exposed to different atmospheric conditions (such as laboratory atmosphere, light soaking and UV aging) and electronic defects were created in the structure of the thin films. The behavior of these defects were investigated by electrical conductivity methods, which are time dependent dark conductivity, photoconductivity and mobility-lifetime calculations. As a result of the findings, it was determined that there were significant differences in the crystal volume ratios and thicknesses of the materials due to the different base materials, and that the materials were affected by different electronic defect states in the same atmospheric conditions due to these differences.

1. Giriş

Yarıiletken ince filmler günümüz elektronik uygulamalarının temelini oluşturmaktadır.

Transistörler, diyotlar, dedektörler, sensörler ve fotovoltaik uygulamalarında silisyum ince filmlerin büyük bir yere sahip olduğu görülmektedir. Özellikle fotovoltaik alanında üretilen silisyum ince filmler

*İlgili yazar: gyilmaz@mehmetakif.edu.tr

sahip oldukları kristal hacim oranlarına bağlı olarak farklı elektronik davranışlar sergilemektedirler [1,2]. Silisyum ince filmler amorf fazda üretilmeleri durumunda üretilen ince filmlerde kristal hacim oranından bahsetmek mümkün değildir. Silisyum ince filmler nano-kristal ya da mikro kristal fazda üretilmeleri durumunda yapıda hacimsel olarak nano ya da mikro ölçekte kristal adacıklar oluşmaktadır [1,2]. Bu farklı üretim formları silisyum ince filmlerde hem yapısal hem de morfolojik özelliklerin değişimi anlamına gelmektedir. Örneğin amorf fazda üretilen silisyum ince filmler uzun süre ışığa maruz kalmaları durumunda elektronik bozunmaya uğramaktadırlar [3]. Bununla birlikte amorf fazda üretilen silisyum ince film malzemeler atmosferik koşullardan etkilenmemektedir[3,4]. Nano ya da mikro kristal öbeklerine silisyum ince film malzemelerde belirli bir kristal hacim oranının üzerine çıkılması ile (%10-%15) Stabler-Wronski etkisi ortadan kalktığı görülmektedir[2,4,5,13-15].

Buna karşın yapısında nano ya da mikro kristal yapılar barındıran ve belirli bir ~%10'in üzerinde kristal hacmine sahip silisyum ince filmler atmosferik koşullardan etkilenmekte ve elektronik bozunma yaşamaktadır.[4,6,13,14,16-21]. Nano ya da mikro kristal silisyumlarda oluşan bu elektronik bozunmalar tamamen geri dönüşümlü olabildiği gibi kısmi ya da tamamen geri dönüşümsüz etkiler de oluşturduğu literatüre rapor edilmiştir[6,13,14,19,20,22,26-29].

Silisyum ince film üretim yöntemleri arasında bulunan Plazma Destekli Kimyasal Buhar Fazdan Büyütme (Plazma Enhanced Chemical Vapour Deposition (PECVD)) sistemleri ile üretilen silisyum ince filmler elektronik kusur oranı en az olan ince filmlerdir [30]. PECVD sistemi ile üretilen silisyum ince film malzemelerde kristal hacim oranını etkileyen birçok parametre bulunmaktadır. Bunlardan birkaçı sıralanması gerekirse, ince film üretim hızı, üretim sistemine uygulanan güç, üretim elektrotları arasındaki mesafe, üretim odasına gönderilen silan-hidrojen oranı (Silan konsantrasyonu (SC)), taban malzeme sıcaklığı, üretim için bir çekirdek nano alt tabakanın kullanılıp kullanılmaması, üretim gazlarının reaksiyon odasındaki basıncı, plazmanın pachen eğrisinin hangi bölgesinde kaldığı ve belki de en önemlilerinden biri taban malzemenin yüzey morfolojisidir. Bütün bu parametreler üretilen ince filmlerin ya da güneş hücrelerinin elektronik kusur durumunu etkilemektedir [31-33].

Bu çalışmada üç farklı taban malzeme (plastik (Polyimide film), pürüzlü cam ve pürüzsüz cam) üzerine PECVD sistemi kullanılarak aynı anda ~600nm kalınlığında nano-kristal, mikrokristal silisyum ince filmler üretilmiştir. Üretilen silisyum ince filmlerin sahip oldukları kristal hacim oranları Raman spektrometresi ile ölçülmüştür. İnce filmlerin kalınlıkları profilometre ile belirlenmiştir. Üretilen silisyum ince filmler arasında atmosferik koşullara

bağlı olarak iletkenlik değerlerindeki değişim, taban malzemeler ile kristal hacim oranı arasındaki ilişki ve kristal hacim oranı ile elektronik kusur durumları arasındaki ilişki mobilite-yaşam süresi çarpımları karşılaştırılarak belirlenmeye çalışılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Nano-kristal silisyum ince filmler Almanya'nın Jülich araştırma merkezinde PECVD sistemi ile üç farklı taban malzeme üzerine, 94.7Mhz frekansla, %5 SC'da, elektrotlar arasındaki mesafe 8mm olacak şekilde, 2.1mBar üretim gaz basıncı altında, 0.49nm/dak. üretim hızında üretilmişlerdir. Yukarıda bahsi geçen parametreler üretim optimizasyonu ve homojenlik kriterleri dikkate alınarak belirlenmiştir. Öyle ki bahsi geçen parametreler ile yapılan ön çalışmalarda 10cm x 10cm pürüzsüz cam taban malzemesi üzerine yapılan büyütmelelerde köşeler ile merkez arasındaki kalınlık farkı %5'den azdır. Buna ek olarak köşeler ile merkez arasındaki kristal hacim oranı farkı %7'den az olarak belirlenmiştir.

Üretilen filmlerin kristal hacim oranları Raman spektrometresi ile kalınlıkları ise Dektak Profilometresi ile ölçülmüştür. İnce filmlerin kristal hacim oranları ve kalınlıkları tablo1'de sunulmuştur. Buna göre tablo 1'de görüleceği üzere pürüzlü taban malzeme %29.5, pürüzsüz malzeme %34.5 ve plastik taban malzeme %33,8 kristal hacim oranına sahiptir. Üretilen filmlerin kalınlıkları, pürüzlü taban malzeme için 610nm, pürüzsüz ve plastik taban malzeme için 590nm olarak belirlenmiştir. Üretilen ince filmler üzerine eş yüzeyli metal kontaklar termal buharlaştırma sistemi ile 700nm olacak şekilde atılmıştır. Metal kontaklar arasındaki mesafe 0.05cm, metal kontakların boyu ise 0.5cm'dir.

Tablo 1. Silisyum ince filmlerin yapısal özellikleri.

| Malzeme Kodu | Kristal Hacim Oranı (%) | Kalınlık (nm) |
|---------------------------------|-------------------------|---------------|
| 11C453-P (P: Plastik (Plastik)) | 33.8 | 590 |
| 11C453-S (S:Smooth (Pürüzsüz)) | 34.5 | 590 |
| 11C453-R (R: Rough (Pürüzlü)) | 29.5 | 610 |

Üretilen silisyum ince filmlerin yüzey morfolojisi taramalı elektron mikroskobu ile analiz edilmiştir. Silisyum ince filmlerin elektriksel ölçümleri Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Nanomalzemeler ve Optoelektronik (Nano-OP) laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Elektriksel ölçümler sırası ile I-V, zamana bağlı karanlık iletkenlik, sıcaklığa bağlı karanlık iletkenlik ve ışık akısına bağlı fotoiletkenlik ölçümlerini içermektedir. Silisyum malzemelerde var olan elektronik kusur durumlarına ek olarak UV yaşlandırma ve ışık banyosu uygulamaları gerçekleştirilerek elektronik kusur durumlarında değişiklik yaratılmış ve bu değişikliklerin geri dönüşümlü olup olmadığı belirlenmiştir.

Silisyum ince filmlerin mobilite-yaşam süresi ($\mu\tau$) çarpımları ışık akısına bağlı fotoiletkenlik ölçümlerinden hesaplanmıştır. Buna bağlı olarak kararlı durum fotoiletkenlik denklem 1'deki gibi ifade edilebilir[34].

$$\sigma_{(ph)}(G) = q\mu_n\tau_n G + q\mu_p\tau_p G \quad (1)$$

Silisyum ince film malzemelerin yasak enerji aralığında mevcut elektronik kusurların dağılımlarının asimetrik olmasından ve buna ek olarak değerlik bant ucuna yakın elektronik kusurların daha geniş ve yüksek yoğunluklara sahip olmasından dolayı serbest elektron ve boşluklar için $\mu_n\tau_n \gg \mu_p\tau_p$ olduğu bilinmektedir. Bu nedenle fotoiletkenlik sadece elektronların baskın olduğu tek tip yük taşıyıcılardan oluşmaktadır. Buna bağlı olarak denklem 1, denklem 2 şeklinde özetlenebilir.

$$\sigma_{(ph)} \approx q\mu_n\tau_n G \quad (2)$$

Denklem 2'de $\mu_n\tau_n$ ifadesi yalnız bırakılırsa ısı yük taşıyıcısı yaratma oranı ve fotoiletkenlik ölçümüne bağlı bir denklem elde edilmiş olur. Bu ifade denklem 3'de detaylı olarak gösterilmiştir.

$$\mu_n\tau_n = \sigma_{(ph)}/qG \quad (3)$$

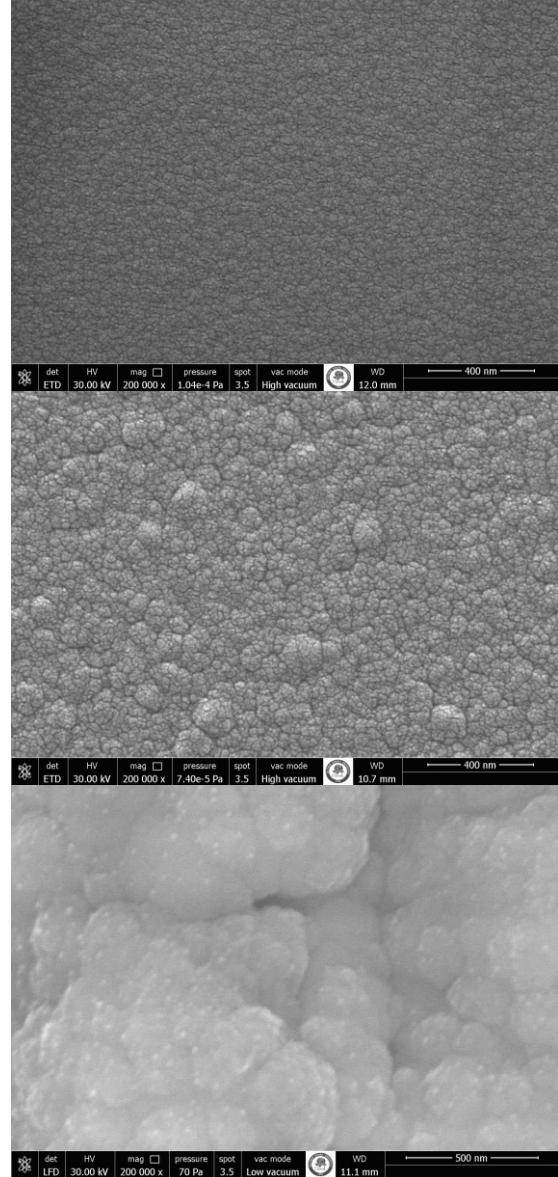
Denklem 3'de fotoiletkenlik ifadesi ve ısı yük taşıyıcısı yaratma oranı deneysel olarak ölçülebilen parametrelerdir. Elementel yük q ise bir sabit olduğundan dolayı mobilite-yaşam süresi çarpımı deneysel olarak belirlenebilmektedir.

3. Bulgular

Üretilen silisyum ince filmlerin yapısal analizlerinden yüzey morfolojisi ölçümleri taramalı elektron mikroskobu ile analiz edilmiş ve şekil 1'de elde edilen bulgular sunulmuştur. Burada amaç farklı taban malzemelerin sahip oldukları farklı yüzey morfolojilerine bağlı olarak ince filmlerin büyümesindeki değişimler belirlenmeye çalışılmıştır. Üç farklı taban malzemeye ait ince film silisyum malzemeler aynı anda üretildikleri için üretim koşullarında herhangi bir farklılık bulunmamaktadır. Bu nedenle yüzeylerde gözlemlenen morfolojik değişimler tamamen taban malzemeden kaynaklı olarak oluşmaktadır.

Şekil 1'de 200.000 büyütme faktörü ile esnek, pürüzsüz ve pürüzlü taban malzemeler üzerine büyütülen silisyum ince filmlerin görüntüleri sunulmuştur. Şekil 1'de görüleceği gibi esnek taban malzeme üzerine büyütülen ince filmin yapısında daha küçük öbekler oluşurken bu öbeklenme taban malzemenin pürüzsüz olması ile büyümekte ve pürüzlü taban malzeme de ise en büyük halini almaktadır. Bu durum aynı zamanda esnek malzemenin daha sıkı (compact) bir yüzey morfolojisine sahip olmasını sağlarken pürüzlü taban malzemede daha gözenekli (porous) bir yüzey

morfolojisinin oluşmasını sağlamaktadır. Böylesi bir durumda farklı atmosferik gazların yüzeye tutunabilmesi için daha geniş bir yüzey alanı oluşturduğu anlaşılmaktadır.

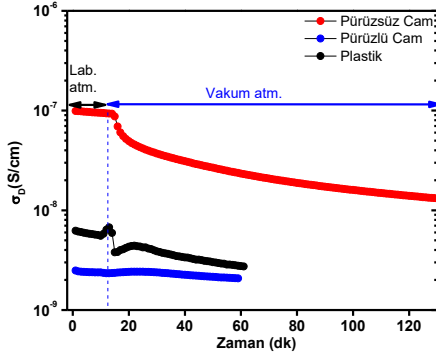


Şekil 1. Silisyum ince filmlerin 200.000 büyütme SEM görüntüleri yukarıdan aşağıya doğru sırayla esnek taban malzeme, pürüzsüz taban malzeme, pürüzlü taban malzeme

Silisyum ince filmler ilk olarak laboratuvar atmosferinde karanlık ortamda I-V ölçümleri alınarak Ohmik gerilimleri belirlenmiştir. Akabinde Ohmik gerilim altında laboratuvar atmosferinden vakum atmosferine geçişleri sırasında zamana bağlı karanlık iletkenlik verileri kayıt altına alınmıştır. Bu şekilde malzemelerden laboratuvar atmosferinden kaynaklı bir iletkenlik değişimi olup olmadığı belirlenmiştir. Şekil 2'de her üç taban malzemenin de laboratuvar atmosferinden vakum atmosferine geçişleri sırasında elde edilen karanlık iletkenlik değerleri sunulmuştur.

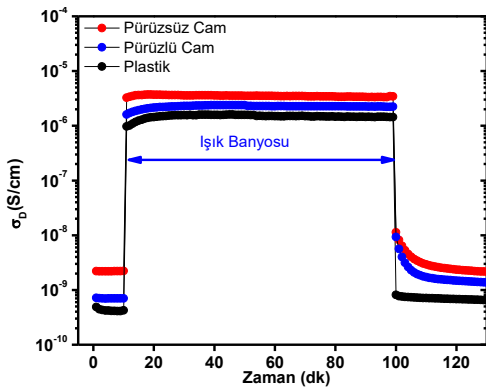
Her üç malzeme de laboratuvar atmosferinden vakum atmosferine geçişleri sırasında karanlık iletkenlik değerlerinde belirgin bir azalma oluşmaktadır. Bu üç

malzeme arasında laboratuvar atmosferinden en çok etkilenen malzeme ise pürüzsüz cam taban üzerine büyütülen silisyum ince film olduğu net olarak görülmektedir. Pürüzlü ve plastik taban malzeme üzerine büyütülen filmler 60 dakikada kararlı bir iletkenlik seviyesine gelirken pürüzsüz cam taban üzerine büyütülen film 130 dakikada kararlı iletkenlik seviyesine ulaşmıştır.



Şekil 2. Silisyum ince filmlerin laboratuvar atmosferinden vakum atmosferine geçişleri sırasındaki karanlık iletkenlik değişim grafiği

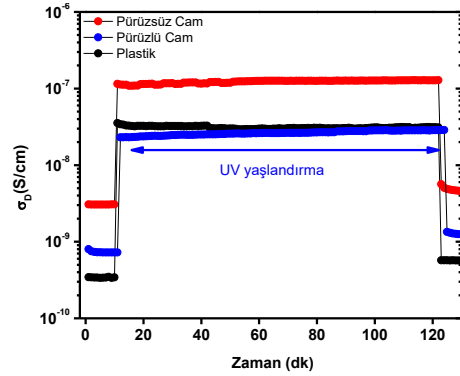
Malzemeler vakum ortamında kararlı iletkenlik seviyelerine ulaştıktan sonra ısıtılarak 450K dereceye kadar çıkarılmış ve 450K'de 30 dakika ısıl işleme (ısıl işlem-1) tabii tutulmuştur. Malzemelere ısıl işlem uygulamasından sonra 300K'e kadar kontrollü bir şekilde soğutulmuştur. Şekil 3'de ısıl işlem-1 uygulamasından sonra 300K'de, vakum ortamında A.M.1.5 ışık şiddeti altında ışık banyosu uygulaması gerçekleştirilen elde edilmiş zamana bağlı iletkenlik verileri sunulmuştur. Işık banyosu uygulaması süresince her üç malzemenin de iletkenlik seviyesi yaklaşık olarak 1000 katlık bir artış sergilemiştir. Işık banyosunun tamamlanmasının ardından malzemelerin karanlık iletkenlik değerlerine bakıldığında ise pürüzsüz ve plastik taban malzeme üzerine büyütülen filmlerde bir değişim olmazken pürüzlü taban malzeme üzerine büyütülen filmde yaklaşık iki katlık bir artış olduğu görülmektedir.



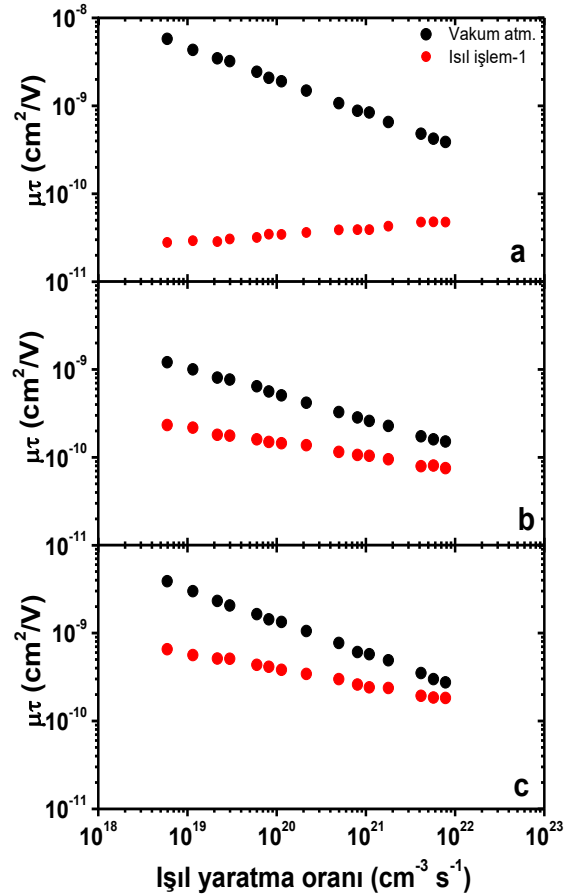
Şekil 3. Silisyum ince filmlerin ışık banyosu altındaki karanlık iletkenlik değişim grafiği

Işık banyosunun ardından malzemeler birinci ısıl işlemle aynı prosedür uygulanarak ikinci ısıl işleme (ısıl işlem-2) tabii tutulmuştur. Isıl işlem-2 sonrası

300K'de malzemeler daha yoğun ve hızlı bir yaşlandırma prosedürü olan UV ışık altında hızlı yaşlandırma uygulamasına tabii tutulmuştur. Şekil 4'de UV hızlı yaşlandırma uygulaması sırasında malzemenin karanlık iletkenlik değişim grafiği sunulmuştur. UV yaşlandırma uygulaması sonrası bütün malzemelerin karanlık iletkenlik değerleri yaklaşık olarak iki katlık bir artış sergilemiştir. UV yaşlandırmanın ardından malzemeler son bir defa daha ısıl işleme (ısıl işlem-3) tabii tutulmuş ve atmosferik ortam ölçümleri tamamlanmıştır. Malzemelerin her yaşlandırma uygulamasından sonra ve ısıl işlemlerden sonra ışık akısına bağlı fotoiletkenlik ölçümleri alınmıştır.



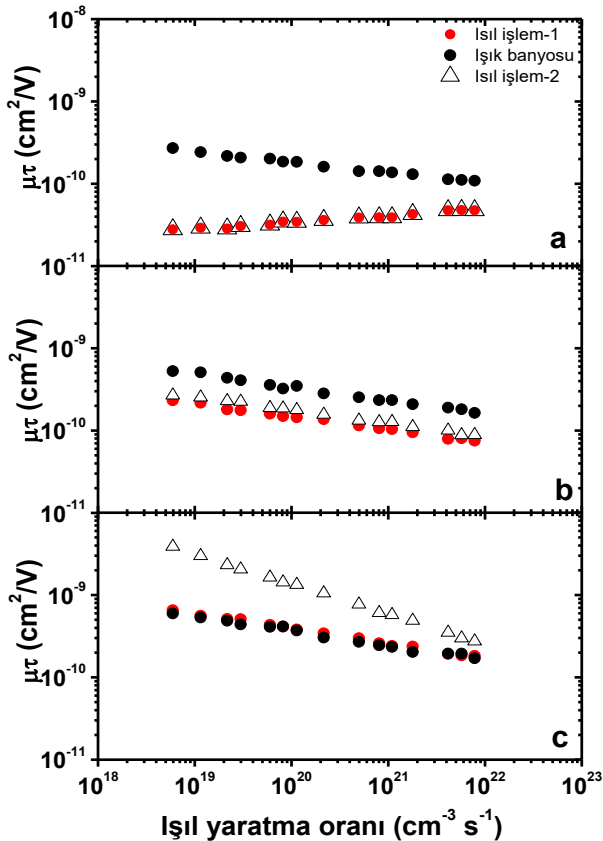
Şekil 4. Silisyum ince filmlerin UV yaşlandırma altındaki karanlık iletkenlik değişim grafiği



Şekil 5. Silisyum ince filmlerin laboratuvar atmosferinde yaşlanmış ve ısıl işlem-1 sonrası elde edilen mobilite-yaşam süresi çarpımına karşılık ışık yaratma oranı grafiği a) Plastik, b) Pürüzlü cam, c) Pürüzsüz cam taban malzeme.

Fotoiletkenlik ölçümlerinden malzemelerin mobilite-yaşam süresi çarpımı ifadeleri hesaplanmıştır. Şekil 5'de her üç malzeme için de laboratuvar atmosferinde yaşanmış vakum ortamında ve ısıtım işlem-1 uygulamasından sonra elde edilen mobilite-yaşam süresi çarpımına karşı ışıl yaratma oranı grafikleri sunulmuştur.

Şekil 5'de görüleceği gibi her üç malzemede de ısıtım işlem-1 uygulaması sonrası malzemelerin düşük ışıl yaratma oranlarında ($10^{18} \text{ cm}^{-3}\text{s}^{-1}$) $\mu\tau$ çarpımı değerleri belirgin bir şekilde (yaklaşık 10 kat) azalma oluşurken, yüksek ışıl yaratma oranı bölgesinde ($10^{21} \text{ cm}^{-3}\text{s}^{-1}$) $\mu\tau$ çarpımı değerleri birbirine yaklaştığı görülmektedir. Bu durum ısıtım işlem-1 uygulaması ile malzemelerin elektronik kusur durumlarında belirgin bir artış olduğunu göstermektedir. Buna ek olarak plastik taban malzeme üzerine büyütülen silisyum ince filmde bu ekti düşük ışıl yaratma oranlarında ($10^{18} \text{ cm}^{-3}\text{s}^{-1}$) $\mu\tau$ çarpımı değerleri yaklaşık 100 kat azalma çok daha net olarak görülmektedir. Yüksek ışıl yaratma oranı bölgesinde ($10^{21} \text{ cm}^{-3}\text{s}^{-1}$) $\mu\tau$ çarpımı değerleri birbirine yaklaşıp da yine de aradaki fark yaklaşık olarak 10 katlıktır.



Şekil 6. Silisyum ince filmlerin ısıtım işlem-1, ışık banyosu ve ısıtım işlem-2 sonrası elde edilen mobilite-yaşam süresi çarpımına karşılık ışıl yaratma oranı grafiği a) Plastik, b) Pürüzlü cam, c) Pürüzsüz cam taban malzeme.

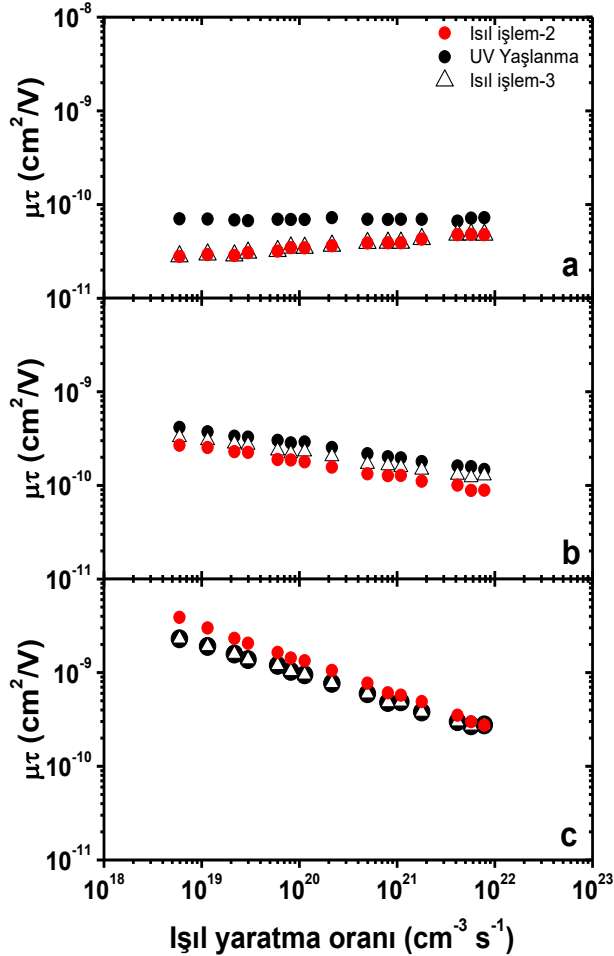
Malzemeler ısıtım işlem-1 uygulaması sonrası ışık banyosuna maruz bırakılmış ve akabinde ısıtım işlem-2 uygulaması gerçekleştirilmiştir. Şekil 6'da her üç malzemeye ait ısıtım işlem-1, ışık banyosu ve ısıtım işlem-2 sonrası elde edilen $\mu\tau$ çarpımı ışıl yaratma oranı

grafiki sunulmuştur. Plastik ve pürüzlü cam taban malzeme üzerine büyütülen ince filmlerde ışık banyosu sonrası $\mu\tau$ çarpımı değerlerinde belirgin bir artış olduğu görülmektedir. Bu artışın oranı plastik taban malzeme üzerine büyütülen silisyum ince film için düşük ışıl yaratma oranlarında ($10^{18} \text{ cm}^{-3}\text{s}^{-1}$) $\mu\tau$ çarpımı değerleri yaklaşık 10 kat olurken yüksek ışıl yaratma oranı bölgesinde ($10^{21} \text{ cm}^{-3}\text{s}^{-1}$) $\mu\tau$ çarpımı değerleri yaklaşık 3 kattır. Pürüzlü cam taban malzeme üzerine büyütülen silisyum ince filmdeki artış ise hem düşük hem de yüksek ışıl yaratma oranlarında $\mu\tau$ çarpımı değerleri yaklaşık 3 kattır. Pürüzsüz cam taban malzeme üzerine büyütülen silisyum ince film malzemede ise ışık banyosu sonrası $\mu\tau$ çarpımı ısıtım işlem-1 değerleri ile örtüşmektedir.

Işık banyosu uygulaması sonrası gerçekleştirilen ısıtım işlem-2 uygulaması ile malzemelerde ışık banyosundan kaynaklı geri dönüşümlü/ geri dönüşümsüz ya da kısmi geri dönüşümlü bir etki oluşup oluşmadığı belirlenmiştir. Şekil 6 (a) 'da görüleceği gibi ısıtım işlem-2 uygulaması sonrası $\mu\tau$ çarpımı değerleri ısıtım işlem-1 değerleri ile örtüşmektedir. Yani ışık banyosu bu malzemede tamamen geri dönüşümlü bir etki oluşturmaktadır. Şekil 6 (b) 'de ise ısıtım işlem-2 uygulaması sonrası $\mu\tau$ çarpımı değerleri kısmi olarak ısıtım işlem-1 değerlerine yaklaşmıştır. Bu durum kısmi geri dönüşümlü bir etki oluşturulduğunu göstermektedir. Ancak pürüzsüz cam taban malzeme üzerine büyütülen silisyum ince film malzemede ısıtım işlem-2 uygulaması sonrası $\mu\tau$ çarpımında yaklaşık 10 katlık keskin bir artış görülmektedir. Bu durum pürüzsüz cam taban malzeme üzerine büyütülen silisyum ince filmlerde ısıtım işlem-2 uygulaması ile elektronik kusur yoğunluğunda belirgin bir azalma olduğunu göstermektedir.

Isıtım işlem-2 uygulaması sonrası malzemeler UV yaşlandırma uygulamasına tabii tutulmuştur. Şekil 7'da her üç malzeme için ısıtım işlem-2, UV yaşlandırma ve ısıtım işlem-3 sonrası elde edilen $\mu\tau$ çarpımı verileri sunulmuştur. UV yaşlandırma uygulaması sonrası plastik ve pürüzlü cam taban malzeme üzerine büyütülen silisyum ince filmlerin $\mu\tau$ çarpımı değerlerinde ışık banyosu kadar olmasa da bir artış belirlenmiştir. Özellikle plastik taban üzerine büyütülen malzemede $\mu\tau$ çarpımı davranışının değiştiği görülmektedir. Işık banyosu uygulaması sonrası düşük ışıl yaratma oranlarında ($10^{18} \text{ cm}^{-3}\text{s}^{-1}$) $\mu\tau$ çarpımı değerleri 10 kat artarken yüksek ışıl yaratma oranı bölgesinde ($10^{21} \text{ cm}^{-3}\text{s}^{-1}$) $\mu\tau$ çarpımı değerlerinin 3 kat arttığı belirlenmiştir. Ancak aynı malzemede UV yaşlandırması sonrası ısıtım işlem-2'ye göre bu oran hem yüksek hem de düşük ışıl yaratma oranında yaklaşık 3 kat olarak gözlemlenmiştir. Üçüncü ısıtım işlem sonrası elde edilen $\mu\tau$ çarpımı değerlerinin ısıtım işlem-2 ile birebir örtüştüğü yani tamamen geri dönüşümlü bir etki olduğu görülmektedir. Pürüzlü cam taban malzeme üzerine büyütülen silisyum ince film malzemede hem düşük hem de yüksek ışıl yaratma oranında UV

yaşandırmadan kaynaklı $\mu\tau$ çarpımı değerlerinde ısıt işlem-2'ye göre yaklaşık 2 katlık bir artış olmaktadır. Üçüncü ısıt işlem uygulaması sonrası elde edilen $\mu\tau$ çarpımı değerleri ise UV yaşlandırma ile ısıt işlem-2 arasında kalmaktadır. Bu durum yine kısmi geri dönüşümlü bir etkinin oluştuğunu göstermektedir. Pürüzsüz cam taban üzerine büyütülen malzemede ise UV uygulaması sonrası ısıt işlem-2'ye göre $\mu\tau$ çarpımı değerlerinde yaklaşık 2 katlık bir azalma belirlenmiştir. Bu azalma ısıt işlem-3 ile değişmemiş ve aynı değerler korunmuştur. Bu durum UV yaşlandırmanın tamamen geri dönüşümsüz bir etkinin oluştuğunu göstermektedir.



Şekil 7. Silisyum ince filmlerin ısıt işlem-2, UV yaşlandırma ve ısıt işlem-3 sonrası elde edilen mobilite-yaşam süresi çarpımına karşılık ısıt yaratma oranı grafiği a) Plastik, b) Pürüzlü cam, c) Pürüzsüz cam taban malzeme.

4. Tartışma ve Sonuç

Elde edilen bulgular ışığında farklı taban malzemeler üzerine büyütülen silisyum ince filmlerde üç farklı atmosferik koşul uygulanarak malzemelerde oluşan elektronik kusur değişimi belirlenmeye çalışılmıştır. Buna göre aynı anda üretim olmasına rağmen pürüzlü taban malzemede plastik ve pürüzsüz taban malzemelere kıyasla daha düşük kristal hacim oranında ince film üretilmektedir. Literatürdeki bilgiler ile elde edilen bulgular örtüşmektedir[1,2]. Pürüzlü taban malzemede daha düşük bir kristal

hacim oranının olmasının nedeni taban malzemenin sahip olduğu pürüzlülüğünden kaynaklı olarak silisyum atomlarının üretim sürecinde düzgün bir dizilime sahip olamamasıdır. Üretilen ince filmlerin kalınlıkları ve kristal hacim oranları birbirlerine yakın olsa da taban malzemelerinin yüzey morfolojisinden kaynaklı olarak malzemelerin atmosferik koşullardan etkilenme mekanizmaları değişiklik göstermektedir. Benzer şekilde malzemelerin karanlık iletkenlik değerlerinde özellikle laboratuvar atmosferinden vakum atmosferine geçişlerinde belirgin değişiklikler görülmektedir. Bu değişikliklerin temel nedeni laboratuvar atmosferinde iken malzemelerin yüzeyine tutunan atmosferik gazlardır[18,26,29]. Malzemelerin vakuma alınması ile yüzeye tutunan bu moleküller yüzeylerden uzaklaşmakta ve iletkenlik değerlerinde belirgin değişiklikler oluşturmaktadır.

Silisyum ince filmlerin taban malzeme ve atmosferik koşullara bağlı olarak $\mu\tau$ çarpımı değerleri karşılaştırıldığında ise taban malzemenin önemi bir kez daha anlaşılmaktadır. Öyle ki laboratuvar atmosferinden vakum atmosferine geçişte plastik taban malzeme üzerine büyütülen silisyum ince film malzemede $\mu\tau$ çarpımı değerleri 100 kata varan azalma göstermektedir. Bu azalma malzemede oluşan elektronik kusur seviyesinde ve çeşidindeki azalmayı işaret etmektedir. Ancak pürüzlü ve pürüzsüz malzemelerde bu etki 10 kat seviyesinde sınırlıdır. Işık banyosu uygulaması ile $\mu\tau$ çarpımı değerleri en çok plastik taban malzeme üzerine büyütülen ince filmde artmıştır. Bununla birlikte plastik taban malzeme üzerine büyütülen silisyum ince filmlerde bu etkiler tamamen geri dönüşümlü olarak gözlemlenmiştir. Pürüzlü cam taban malzeme üzerine uygulanan atmosferik etkiler sonucu $\mu\tau$ çarpımı değerleri arttırsa da bu artışlar kısmi geri dönüşümlü olarak gözlemlenmektedir. Pürüzsüz cam taban malzeme üzerine uygulanan ısıt işlem-2 sonrası $\mu\tau$ çarpımı değerleri belirgin olarak artmaktadır. Bu artışın temeli ısıt işlem uygulaması sonrası ışık banyosundan kaynaklı malzemenin yasak enerji aralığında oluşan elektronik kusurların azalması şeklinde yorumlanabilir. Her üç malzemede de UV uygulaması ile $\mu\tau$ çarpımı değerleri ışık banyosu ile benzer davranış sergileyerek artış gösterse de plastik taban malzemede tamamen geri dönüşümlü, pürüzlü taban malzemede kısmi ve pürüzsüz taban malzemede geri dönüşümsüz etkiler oluşturmaktadır. Literatürde silisyum ince filmlerin ısıt işlem öncesinde ve sonrasında atmosferik koşullara bağlı olarak $\mu\tau$ çarpımı değerlerinde değişim olduğu rapor edilmiştir [25].

Sonuç olarak, aynı anda ve tamamen birebir üretimler olmuş olsa dahi taban malzemeler sahip oldukları farklı yüzey morfolojilerinden dolayı ince filmlerin kristal hacim oranlarını, kalınlıklarını, yüzey morfolojilerini etkilemektedir. Bu etkiler sonucu ince filmlerin yüzey alanları değişmekte ve buna bağlı olarak atmosferik gazlarla etkileşimleri de

değişmektedir. Taban malzemeden kaynaklı olarak kristal hacim oranlarının değişmesi malzemelerin yasak enerji bölgesinde sahip oldukları elektronik kusur yoğunluklarını ve çeşitlerini etkilemektedir. Elektronik kusur durumlarındaki bu farklılık malzemelerin farklı atmosferik koşullara maruz bırakılması ile daha belirgin olarak gözlemlenebilmektedir.

Teşekkür

Bu çalışmada doktora sonrasında da laboratuvar imkânlarını açtıklarından dolayı Jülich Araştırma Merkezine teşekkür ederim. Buna ek olarak akademik katkıları ve keyifli akademik sohbetleri için Dr. Friedhelm FINGER'a ve Dr. Vladimir SMIRNOV'a teşekkürü bir borç bilirim.

Etik Beyanı/Declaration of Ethical Code

Bu çalışmada, "Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi" kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin "Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler" başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederiz.

Kaynakça

- [1] Houben, L., Luysberg, M., Hapke, P., Carius, R., Finger, F., Wagner, H. 1998. Structural Properties Of Microcrystalline Silicon In The Transition From Highly Crystalline To Amorphous Growth. *Philos. Mag. A Phys. Condens. Matter, Struct. Defects Mech. Prop.*, 77 (6) 1447–1460.
- [2] Vetterl, O., Finger, F., Carius, R., Hapke, P., Houben, L., Kluth, O., Lambert, A., Mück, A., Rech, B., Wagner, H. 2000. Intrinsic Microcrystalline Silicon: A New Material For Photovoltaics. *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, 62 97–108.
- [3] Staebler, D, L., Wronski, C, R., 1977. Reversible Conductivity Changes In Discharge-Produced Amorphous Si. *Appl. Phys. Lett.*, 31 292-294.
- [4] Güneş, M., Wronski, C, R., 1997. Differences In The Densities Of Charged Defect States And Kinetics Of Staebler-Wronski Effect In Undoped (Nonintrinsic) Hydrogenated Amorphous Silicon Thin Films. *J. Appl. Phys.*, 81 3526-3536.
- [5] Veprek, S., Iqbal, Z., Kuhne, R, O., Capezzuto, P., Sarott, F., Gimzewski, J, K. 1983. Properties of microcrystalline silicon. Iv. Electrical conductivity, electron spin resonance and the effect of gas adsorption. *J. Phys. C Solid State Phys.*, 16 6241–6262.
- [6] Stutzmann, M., Jackson, W., Tsai, C. 1985. Light-Induced Metastable Defects In Hydrogenated Amorphous Silicon: A Systematic Study. *Phys. Rev. B*, 32 23–47.
- [7] Kočka, J., Vaněček, M., Trýska, A. 1989. Energy And Density Of Gap States In a-Si:H. *Amorphous Silicon and Related Materials vol A*, 297–327.
- [8] Curtins, H., Favre, M. 1989. Surface And Bulk States Determined By Photothermal Deflection Spectroscopy. *Amorphous Silicon and Related Materials vol A*, 329–363.
- [9] Street, R, A. 1991. *Hydrogenated Amorphous Silicon*. Cambridge: Cambridge University Press 417s.
- [10] Vaněček, M., Kočka, J., Poruba, A., Fejfar, A. 1995. Direct Measurement Of The Deep Defect Density In Thin Amorphous Silicon Films With The "Absolute" Constant Photocurrent Method. *J. Appl. Phys.*, 78 6203-6210.
- [11] Vaněček, M., Poruba, A., Remeš, Z., Beck, N., Nesládek, M. 1998. Optical Properties Of Microcrystalline Materials. *J. Non. Cryst. Solids*, 227–230 967–972.
- [12] Vaněček, M., Poruba, A., Remeš, Z., Rosa, J., Kamba, S., Vorlíček, V., Meier, J., Shah, A. 2000. Electron Spin Resonance And Optical Characterization Of Defects In Microcrystalline Silicon. *J. Non. Cryst. Solids*, 266–269 519–523.
- [13] Güneş, M., Cansever, H., Yılmaz, G., Smirnov, V., Finger, F., Brüggemann, R. 2012. Metastability Effects In Hydrogenated Microcrystalline Silicon Thin Films Investigated By The Dual Beam Photoconductivity Method. *J. Non. Cryst. Solids* 358 2074–2077.
- [14] Saleh, Z, M., Nogay, G., Ozkol, E., Yılmaz, G., Sagban, M., Gunes, M., Turan, R. 2014. Atmospheric Aging And Light-Induced Degradation Of Amorphous And Nanostructured Silicon Using Photoconductivity And Electron Spin Resonance. *Can. J. Phys.* 92 713–717.
- [15] Yılmaz, G., Cansever, H., Sagban, H, M., Güneş, M., Smirnov, V., Finger, F., Brüggemann, R. 2014. Reversible And Irreversible Effects After Oxygen Exposure In Thick (>1 Mm) Silicon Films Deposited By Vhf-Pecvd On Glass Substrates Investigated By Dual Beam Photoconductivity. *Can. J. Phys.* 92 778–782.
- [16] Güneş, M., Turan, E., Yılmaz, G. 2009. Investigation of Meta- and In-stability Effect in Thin Film Silicon Materials Using Intensity and Temperature Dependence of Photoconductivity. *J. Optoelectron. Adv. M. symposia*, vol. 1,202–205.
- [17] Yılmaz, G., Turan, E., Güneş, M., Smirnov, V., Finger, F., Brüggemann, R. 2010. Instability Effects In Hydrogenated Microcrystalline

- Silicon Thin Films. Physica Status Solidi (C) Current Topics in Solid State Physics 7 (3-4), 700-703.
- [18] Dylla, T., Finger, F., Carius, R. 2003. Adsorption and Oxidation Effects in Microcrystalline Silicon. MRS Proc. 762 A2.5
- [19] Cansever, H., Günes, M., Yılmaz, G., Sagban, H, M., Smirnov, V., Finger, F., Brüggemann, R. 2014. Investigation Of Metastability And İnstability Effects On The Minority Carrier Transport Properties Of Microcrystalline Silicon Thin Films By Using The Steady-State Photocarrier Grating Technique. Can. J. Phys. 92 763-767.
- [20] Yılmaz, G., Cansever, H., Sagban, H, M., Günes, M., Smirnov, V., Finger, F., Brüggemann, R. 2014. Reversible And İrreversible Effects After Oxygen Exposure İn Thick (≫1 Mm) Silicon Films Deposited By Vhf-Pecvd On Glass Substrates İnvestigated By Dual Beam Photoconductivity. Can. J. Phys. 92, 778-782.
- [21] CANSEVER, H. 2012. *Mikro Kristal Silisyum İnce Film Malzemelerde Yaşlandırma İşlemlerinin Malzemenin Optoelektronik Özelliklerine Etkisi* Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 142s, Muğla.
- [22] Turan, E., Yılmaz, G., Smirnov, V., Finger, F., Günes, M. 2012. Rapid Reversible Degradation Of Silicon Thin Films By A Treatment İn Water. Jpn. J. Appl. Phys. 51,070210-3p.
- [23] Astakhov, O., Carius, R., Petrusenko, Y., Borysenko, V., Barankov, D., Finger, F. 2012. The Relationship Between Hydrogen and Paramagnetic Defects in Thin Film Silicon Irradiated with 2 mev Electrons. J. Phys. Condens. Matter 24 305801 8p.
- [24] Persheyev, S, K., Smirnov, V., O'Neill, K, A., Reynolds, S., Rose, M, J. 2005. Atmospheric Adsorption Effects İn Hot-Wire Chemical-Vapor-Deposition Microcrystalline Silicon Films With Different Electrode Configurations. Semiconductors 39 343-346.
- [25] Souffi, N., Bauer, G, H., Brüggemann, R. 2006. Study Of Metastabilities İn Microcrystalline Silicon Films By Photoconductivity Techniques. Thin Solid Films 501 129-132.
- [26] Finger, F., Carius, R., Dylla, T., Klein, S., Okur, S., Günes, M. 2003. Stability of Microcrystalline Silicon for Thin Film Solar Cell Applications. IEE Proc. - Circuits, Devices Syst. 150 300-308.
- [27] Lim, T, H. 2014. New Findings and Interpretation on Atmospheric Adsorption Induced İnstability in Microcrystalline Silicon Films Int. J. Mater. Sci. Appl. 3 100-105.
- [28] Phinikarides, A., Kindyni, N., Makrides, G., Georghiou, G, E. 2014. Review Of Photovoltaic Degradation Rate Methodologies Renew. Sustain. Energy Rev. 40 143-152.
- [29] Finger, F., Carius, R., Dylla, T., Klein, S., Okur, S., Günes, M. 2005. İnstability Phenomena İn Microcrystalline Silicon Films J. Optoelectron. Adv. M. 7 83-90.
- [30] Müller, J., Finger, F., Carius, R., Wagner, H. 1999. Electron Spin Resonance İnvigation Of Electronic States İn Hydrogenated Microcrystalline Silicon. Phys. Rev. B 60 11666-11677.
- [31] Signh. K., Mrutyunjay. N., Dipak. S. K., Vamsi. K.K. 2021. Degradation Study of Carrier Selective Contact Silicon Solar Cells with Ageing: Role of Silicon Surface Morphology. Solid State Electronics 179 107987.
- [32] Han. C. 2020. Analysis of Moisture Induced Degradation of Thin-film Photovoltaic Module. Sol. Energy Mater. Sol. Cells. 210. 110488
- [33] Elkhamisy, K.M., Abdelhamid, H., Elagoos, S., El-Rabaie, E. 2021. The Effect of Temperature Variance with Different Surface Shape on Efficiency of Silicon Thin Film Solar Cell. Opt.Quant.Electron. Underreview.
- [34] Bube R.H. 1960. Photoconductivity of Solids. JOHN WILEY & SONS Inc., NewYork-London 492s.

Removal of Ammonia Gas Using Chabazite Type Natural Zeolite

Aytaç GÜNAL¹, Burcu ERDOĞAN²

¹Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, 26555, Eskişehir, Türkiye

²Eskişehir Teknik Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, 26555, Eskişehir, Türkiye

(Alınış / Received: 18.06.2021, Kabul / Accepted: 24.01.2022, Online Yayınlanma / Published Online: 20.04.2022)

Keywords

Adsorption,
Ammonia,
Chabazite

Abstract: In this study, chabazite (CHA) from Bala and that of cation (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} and Mg^{2+}) exchanged and hydrochloric acid activated forms were investigated to demonstrate their possible usability in the ammonia removal from the environment. Cation exchanged and acid activated forms were prepared using 1.0 M solutions of KNO_3 , NaNO_3 , $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ and 0.1 M and 1.0 M solutions of HCl at 90 °C for 5 h, respectively. The thermal and structural properties of all samples were characterized by TG-DTA, XRD and XRF methods. BET surface areas ($231\text{-}448\text{ m}^2\text{ g}^{-1}$), micropore surface areas ($216.2\text{-}421.3\text{ m}^2\text{ g}^{-1}$) and micropore volumes ($0.086\text{-}0.169\text{ cm}^3\text{ g}^{-1}$) of the chabazite samples were calculated by N_2 adsorption isotherms at 77 K. Ammonia adsorption isotherms were obtained at 25 °C by 3Flex-Micromeritics equipment volumetrically. Ammonia adsorption capacities of the chabazite samples ($5.699\text{-}8.931\text{ mmol g}^{-1}$) were compared in terms of the induced textural and structural changes as a result of cation exchange and acid activation processes, respectively.

Şabazit Tipi Doğal Zeolit Kullanılarak Amonyak Gazının Uzaklaştırılması

Anahtar Kelimeler

Adsorpsiyon,
Amonyak,
Şabazit

Özet: Bu çalışmada, Bala'dan elde edilen şabazit (CHA) ve katyon (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} ve Mg^{2+}) değiştirilmiş ve hidroklorik asitle aktifleştirilmiş formları, ortamdaki amonyak giderimindeki olası kullanılabilirliklerini göstermek amacıyla incelendi. Katyon değiştirilmiş ve asitle aktiflenmiş formlar sırasıyla, 1.0 M'lık KNO_3 , NaNO_3 , $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ve 0.1 M ve 1.0 M'lık HCl solüsyonları kullanılarak 90 °C'de 5 saat süreyle hazırlandı. Tüm numunelerin termal ve yapısal özellikleri TG-DTA, XRD ve XRF yöntemleri ile belirlendi. Şabazit numunelerinin BET yüzey alanları ($231\text{-}448\text{ m}^2\text{ g}^{-1}$), mikro gözenek yüzey alanları ($216.2\text{-}421.3\text{ m}^2\text{ g}^{-1}$) ve mikro gözenek hacimleri ($0.086\text{-}0.169\text{ cm}^3\text{ g}^{-1}$) 77 K'de elde edilen N_2 adsorpsiyon izotermi ile hesaplandı. Amonyak adsorpsiyon izotermi 3Flex-Micromeritics cihazı ile 25 °C'de volumetrik olarak elde edildi. Şabazit numunelerinin amonyak adsorpsiyon kapasiteleri ($5.699\text{-}8.931\text{ mmol g}^{-1}$), sırasıyla katyon değişimi ve asit aktivasyon işlemlerinin neden olduğu içeriksel ve yapısal değişiklikler açısından karşılaştırıldı.

1. Introduction

Ammonia (NH_3) is a colorless alkaline gas with an irritating odor. This gas is used in refrigeration, fertilizer production, metal industries, the petroleum, chemical and rubber industries, domestic cleaning agents and water purification [1]. Ammonia gas is irritating to the eyes, respiratory tract and mucous membranes. Clearly at high concentrations (1700 ppm) ammonia lead to serious coughing, and bronchial spasms and <30 min exposure may be fatal [1, 2]. In addition to human life, ammonia is also highly poisonous to fish [3]. The allowable exposure limit for NH_3 set by the United States Occupational

Safety and Health Administration (OSHA) is 25 ppm on average in an eight-hour workday [4]. For these reasons, controlling of this pollutant essentially is necessary. Apart from membrane technology, (500-2000 ppm NH_3 , [5]), biological processes, (16 ppm NH_3 , [6]), scrubbing processes (45 ppm NH_3 , [7]) and catalytic oxidation (500 ppm and 180 ppm NH_3 [8, 9], respectively) methods, ammonia can be removed from environment using low-cost natural zeolites

Zeolites are porous, crystalline and hydrated aluminosilicates. Their frameworks have channels and interconnected cavities occupied by the cations and the water molecules [10, 11]. Chabazite is the

*Corresponding author: burcuerdogan@eskisehir.edu.tr

commonly natural zeolite and its framework structure consists of parallel stacks of six-membered double rings [12]. The largest channels are limited to the 8-membered rings with approximate dimension $3.1 \times 4.4 \text{ \AA}$ (dehydrated) [13, 14]. For control and removal of the ammonia gas, many adsorbents such as 4A, 5A, 13X, faujasite, pentasil, ordered mesoporous carbon, activated carbon, MOFs, mordenite and clinoptilolite [15-28] are used. On the other hand, studies investigating the use of abundant, low-cost and naturally occurring chabazite to remove ammonia are still lacking. The aim of present study is to investigate the influence of the cation exchange and the acid activation methods on the ammonia adsorption properties of natural chabazite.

2. Material and Method

Chabazite (CHA) from Bala was sieved and the less than $63 \mu\text{m}$ fractions were used. Five grams of each chabazite were exchanged by refluxing with 100 mL of 1.0 M $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$, NaNO_3 and KNO_3 solutions at $90 \text{ }^\circ\text{C}$ for 5 h. Acid activated forms (01H-CHA and 1H-CHA) were obtained using a 0.1 and 1.0 M HCl solutions at the same temperature and during the time, respectively. After filtered and washed several times with hot de-ionized water, chabazite samples were dried in an oven at $110 \text{ }^\circ\text{C}$ for 20 h. The obtained samples were named as X-CHA, which the X indicate the type of exchanged cation. All chemicals supplied by Merck Company.

XRD patterns of chabazite samples were obtained using a D8 Advance Bruker equipment, with $\text{CuK}\alpha$ radiation at 40 kV and 30 mA, in the 2θ from 5° to 40° . The chemical analyses were carried out using Rigaku ZSX Primus equipment. DTA and TG analysis were done with a Setsys Evolution Setaram instrument in the temperature range of $30\text{-}1000 \text{ }^\circ\text{C}$, the heating ratio was $10 \text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$. N_2 adsorption measurements were conducted at 77 K using Autosorb 1. Specific surface area and micropore data of samples were determined using B.E.T. (P/P_0 : 0.05–0.35) and t-plot ($P/P_0 > 0.10$) methods respectively. Ammonia adsorption isotherms were obtained at 298 K using 3Flex-Micromeritics equipment. All the samples were degassed at $300 \text{ }^\circ\text{C}$ for 10 h before nitrogen and ammonia gas adsorption measurements.

3. Results

3.1. Elemental composition

The chemical analysis of the natural (CHA) shows that calcium and magnesium are main cations (Table 1). In addition, iron is also present as impurity. Expected increases in exchangeable cation amounts were observed compared to the raw sample (CHA) depending on the salt solution chosen. After the chabazite was activated with increasing acid molarity, the percentages of all cation components except SiO_2 ,

due to its insolubility, decreased gradually. This result showed that silica remained and its content increased with increasing acid concentrations whilst exchangeable cations and framework aluminum gradually eliminated from the structure and passed into solution. When the concentration of HCl solutions was increased from 0.1 to 1.0 M, the $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ ratio of CHA increased from 4.0 to 4.3 and 15.8 in the 01H-CHA and 1H-CHA samples, respectively, in accordance with the XRD data (Fig. 1). XRF results confirmed that there are significant changes in the chemical composition of chabazite depending on the acid concentration.

3.2. X-ray diffraction analysis

Figure 1 shows the powder XRD patterns of all the chabazite samples. Raw CHA contains chabazite predominantly with the characteristic peaks at $2\theta = 9.40^\circ$, 15.90° , 22.98° and 30.50° . The presence of small amounts of erionite (E) and clinoptilolite (C) was also observed [29]. As seen from Figure 1, chabazite is not resistant to acid treatment. For this reason, the main chabazite peaks disappeared in 1H-CHA sample due to the partial collapse of its structure (Figure 1-g).

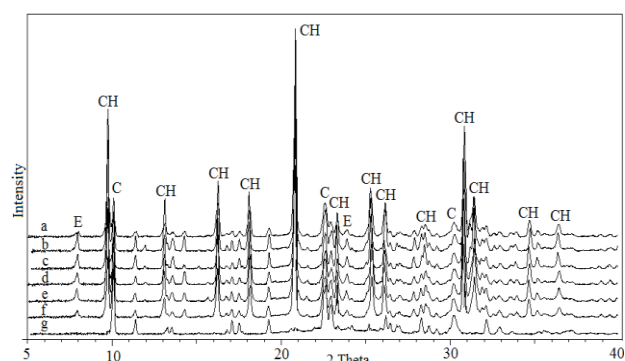


Figure 1. X-ray diffraction patterns of the CHA (a), Na-CHA (b), K-CHA (c), Ca-CHA (d) Mg-CHA (e), 01H-CHA (f) and 1H-CHA (g) (CH:chabazite, C: clinoptilolite, E:erionite).

3.3. Nitrogen adsorption

Nitrogen adsorption isotherms of the chabazites are presented in Figures 2 and 3. All the isotherms are of type-II [30]. B.E.T. surface areas and micropore data of the chabazites are given in Table 2. Although there is no significant difference in BET surface area values on the basis of cations, they show the $\text{Ca} > \text{Na} > \text{Natural} > \text{Mg} > \text{K}$ series. Among the cation exchanged forms, it was found the K-CHA has the lowest micropore data and specific surface area. This can be attributed to its amount and massive size (Table 1). A significant decrease in nitrogen adsorption data was observed in the sample activated with 1 M HCl solution. The specific surface area and micropore surface area decreased from 426 and $396.9 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$ for CHA to 274 and $249.3 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$ for 1H-CHA, respectively. This can be explained by the dealumination and the partial collapse of the chabazite structure, in accordance with the XRF results (Table 1) and the XRD data (Fig. 1-g).

Table 1. Chemical analyses of chabazite samples.

| Sample/ (%) | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | LOI |
|-------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|-------|-------------------|------------------|--------|
| CHA | 61.417 | 15.298 | 0.644 | 3.133 | 2.668 | 1.450 | 1.402 | 13.873 |
| Na-CHA | 62.771 | 15.590 | 0.792 | 2.381 | 0.957 | 4.693 | 1.040 | 11.688 |
| K-CHA | 61.998 | 15.385 | 0.796 | 2.258 | 0.751 | - | 9.165 | 9.487 |
| 01H-CHA | 64.848 | 14.948 | 0.751 | 2.633 | 2.053 | 0.544 | 1.369 | 12.836 |
| 1H-CHA | 84.215 | 5.333 | 0.262 | 0.693 | 0.817 | - | 0.419 | 8.174 |
| Ca-CHA | 61.578 | 15.214 | 0.796 | 2.213 | 5.104 | 0.440 | 1.321 | 13.221 |
| Mg-CHA | 62.058 | 15.425 | 0.798 | 4.456 | 1.566 | 0.773 | 1.435 | 13.397 |

Table 2. Nitrogen adsorption data of chabazite samples

| Sample | BET surface area (m ² g ⁻¹) | Micropore surface area (m ² g ⁻¹) | Micropore volume (cm ³ g ⁻¹) | Total pore volume (cm ³ g ⁻¹) |
|---------|--|--|---|--|
| CHA | 426 | 396.9 | 0.165 | 0.203 |
| Na-CHA | 443 | 421.3 | 0.169 | 0.185 |
| K-CHA | 231 | 216.2 | 0.086 | 0.199 |
| 01H-CHA | 415 | 360.5 | 0.140 | 0.206 |
| 1H-CHA | 274 | 249.3 | 0.106 | 0.149 |
| Ca-CHA | 448 | 270.6 | 0.161 | 0.205 |
| Mg-CHA | 403 | 280.4 | 0.158 | 0.179 |

Table 3. Mass losses (%) of the chabazite samples.

| Sample | 30-200 °C | 200-400 °C | 400-600 °C | 600-800 °C | 800-1000 °C | Total mass loss (%) |
|---------|-----------|------------|------------|------------|-------------|---------------------|
| CHA | 6.16 | 7.52 | 1.22 | 0.26 | 0.01 | 15.17 |
| Na-CHA | 7.47 | 6.80 | 0.98 | 0.25 | 0.03 | 15.53 |
| K-CHA | 5.04 | 5.41 | 0.89 | 0.25 | 0.03 | 11.62 |
| 01H-CHA | 5.51 | 6.93 | 1.40 | 0.39 | 0.43 | 14.46 |
| 1H-CHA | 6.93 | 3.04 | 1.96 | 0.86 | 0.22 | 13.01 |
| Ca-CHA | 5.91 | 6.91 | 1.35 | 0.40 | 0.02 | 14.59 |
| Mg-CHA | 5.10 | 8.52 | 1.60 | 0.40 | 0.05 | 15.67 |

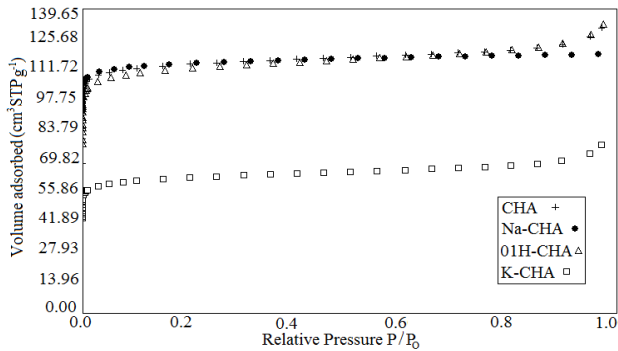


Figure 2. Nitrogen adsorption isotherms of CHA, Na-CHA, K-CHA and 01-HCHA.

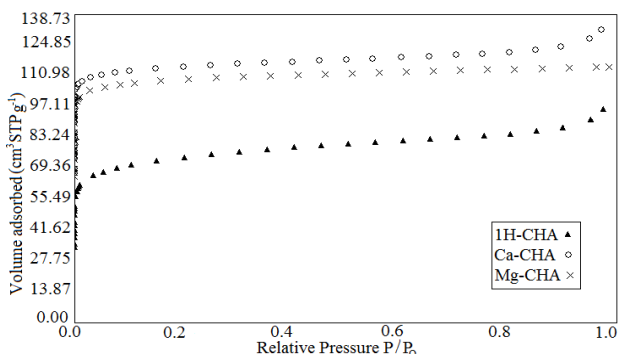


Figure 3. Nitrogen adsorption isotherms of Ca-CHA, Mg-CHA and 1H-CHA.

3.4. Thermal analysis (TG-DTA)

The TG/DTA curves for all chabazite samples are shown in Fig. 4. The DTA curves of chabazite samples showed the endothermic peaks between 30 and 400

°C due to the dehydration. In addition, these samples had the exothermic peaks at about 900 °C as a result of the destruction of the framework. The TG curves exhibit that water losses of the samples continue up to 800 °C.

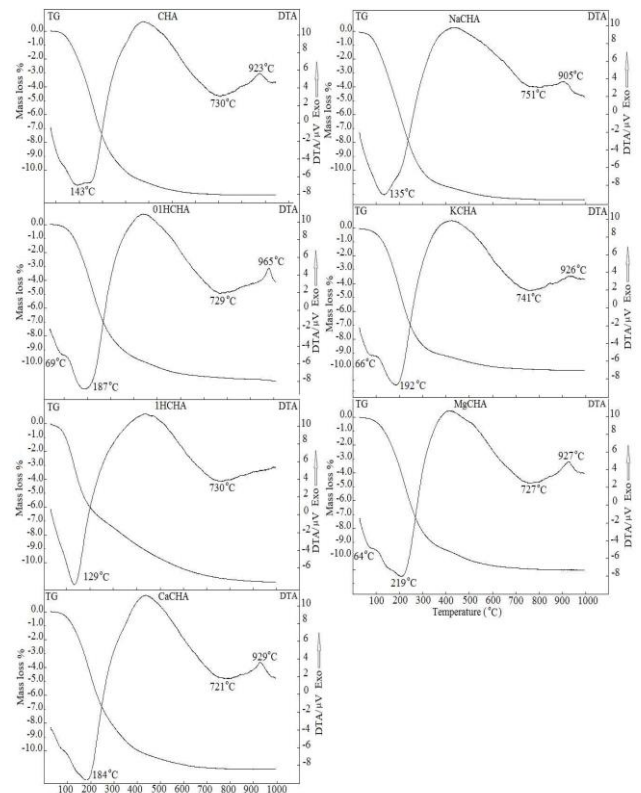


Figure 4. TG-DTA curves of the chabazite samples.

Mg-CHA samples was found to have higher mass loss value compared to other modified forms (Table 3). Similar thermal behavior caused by cation exchange in chabazite type zeolite has been observed in other studies [31,32].

3.5. Adsorption of NH₃

Ammonia adsorption isotherms for raw (CHA), cation exchanged and acid-treated chabazites were obtained volumetrically at 298 K. As seen from Figures 5 and 6, all the ammonia isotherms are classified as type I [30]. Among the chabazite samples, ammonia adsorption capacity of CHA was found to be highest (8.931 mmol g⁻¹). For the CHA sample, none of the cations are dominant. A partially blockage of the channels should be responsible for this phenomenon. The ammonia adsorption capacity of K-CHA was found to be lower than those of other cation exchanged forms. This can be explained by the large cation size of K⁺ and the partial pore blockage of the eight-ring windows of chabazite. On the other hand, 1H-CHA had the lowest NH₃ retention owing to the collapse of the zeolitic structure (Figure 1-g). Obviously, gas adsorption on zeolites depends on many parameters such as their framework structure, size and distribution of the exchangeable cations within their channels, and features of the adsorbate (its size, geometry and polarity etc.).

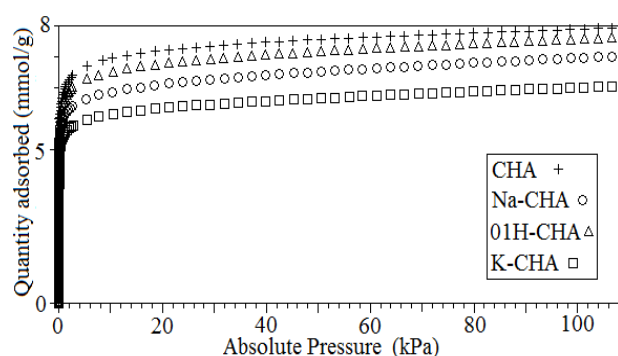


Figure 5. Ammonia adsorption isotherms of CHA, Na-CHA, K-CHA and 01-HCHA at 298 K.

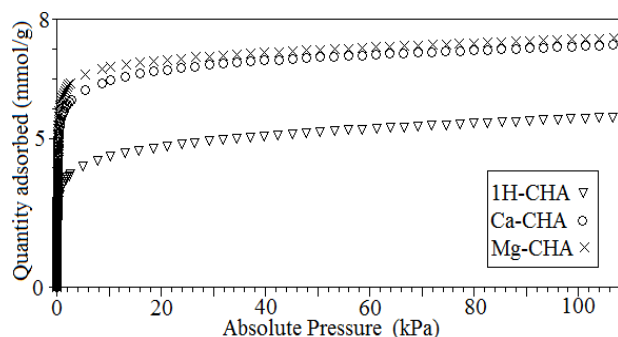


Figure 6. Ammonia adsorption isotherms of Ca-CHA, Mg-CHA and 1H-CHA at 298 K.

The high adsorption for ammonia can be attributed to the strong interaction of the permanent dipole moment (1.47 debye) of this molecule with the cations within the adsorbent pores.

Table 4. Ammonia adsorption on various materials.

| Sample | Temp (K) | Ads. capacity (mmol g ⁻¹) | Ref. |
|------------------------|----------|---------------------------------------|------|
| Cu-MOF-74 | 298 | 3.4 | [17] |
| Zs | 295 | 6.30 mg g ⁻¹ | [20] |
| alumina 1597 | 298 | 3.008 | [21] |
| silica gel 40 | 298 | 6.250 | [21] |
| clinoptilolite | 298 | 5.904 | [21] |
| 13X | 298 | 9.326 | [21] |
| mesoporous carbon | 298 | 6.39 | [22] |
| HKUST-1 (MOF) | 298 | 6.8 | [24] |
| natural clinoptilolite | 298 | 12.2 mg g ⁻¹ | [27] |
| 4A | 298 | 8.717 | [21] |
| CHA | 298 | 8.931 | |
| Na-CHA | 298 | 8.016 | |
| K-CHA | 298 | 7.039 | |
| 01H-CHA | 298 | 8.622 | |
| 1H-CHA | 298 | 5.699 | |
| Ca-CHA | 298 | 8.134 | |
| Mg-CHA | 298 | 8.373 | |

As seen from Table 4, retention of ammonia gas by sample CHA (8.931 mmol g⁻¹) was higher than that for clinoptilolite from Mud Hills (CA), USA (5.904 mmol g⁻¹, [21]), alumina 1597 (3.008 mmol g⁻¹, [21]), silica gel 40 (6.250 mmol g⁻¹, [21]), mesoporous carbon (6.39 mmol g⁻¹, [22]), Cu-MOF-74 (3.4 mmol g⁻¹, [17]) and HKUST-1 (MOF) (6.8 mmol g⁻¹, [24]) but lower than 13X zeolite (9.326 mmol g⁻¹ [21]) and 4A (8.717 mmol g⁻¹ [21]). This result can be explained by the differences in the structural and textural properties of these adsorbents such as origin and impurity content. Although synthetic zeolites such as 13 X and 4A show higher ammonia adsorption capacities than natural zeolites due to their homogeneous structure, they are more expensive than natural zeolites found in large reserves in nature. The abundance and the high specific surface area of chabazite-type natural zeolite provide low-cost and efficient solutions for gas adsorption and environmental applications. As a result, natural chabazite from Bala can be used for the removal of ammonia gas from the air in livestock facilities.

4. Discussion and Conclusion

Ammonia adsorption capacities of raw chabazite and that of cation exchanged and acid treated forms were compared in terms of structural and textural differences. TG/DTA analysis demonstrated that the thermal behavior of these zeolites is influenced by the dominant cation present in the structure. For cation exchanged forms, ammonia adsorption capacity decreased with the increase of the cation radii. On the other hand, experimental results indicate that the treatment of natural chabazite tuff with salt and acid solutions did not lead to an increase of NH₃ retention. Due to its abundance and low cost, natural CHA sample can be recommended as a potential adsorbent for ammonia removal from indoor environments such as poultry houses.

Acknowledgment

This research was supported by the Anadolu University Commission of Scientific Research Project under Project No1602F072.

Declaration of Ethical Code

In this study, we undertake that all the rules required to be followed within the scope of the "Higher Education Institutions Scientific Research and Publication Ethics Directive" are complied with, and that none of the actions stated under the heading "Actions Against Scientific Research and Publication Ethics" are not carried out.

References

- [1] Carson, P., Mumford, C. 2002. Hazardous chemicals handbook, Butterworth-Heinemann, Oxford, 276p.
- [2] Sax, N. I. 1984. Dangerous properties of industrial materials. Van Nostrand Reinhold, New York, 1251p.
- [3] Eddy, F. B. 1999. Water/Air Transitions in Biology. Science Publishers inc, U.S.A, 281p.
- [4] United States Department of Labour: Ammonia, http://www.osha.gov/dts/chemicalsampling/data/CH_218300.html (accessed December 2021).
- [5] Darestani, M., Haigh, V., Couperthwaite, S. J., Millar G. J., Nghiem, L. D. 2017. Hollow fibre membrane contactors for ammonia recovery: Current status and future developments. Journal of Environmental Chemical Engineering, 5, 1349-1359.
- [6] Maia, G. D. N., Day G. B., Gates V. R. S., Taraba, J. L. 2012. Ammonia biofiltration and nitrous oxide generation during the start-up of gas-phase compost biofilters. Atmospheric Environment, 46, 659-664.
- [7] Byeon, S. H., Lee B. K., Raj Mohan, B. 2012. Removal of ammonia and particulate matter using a modified turbulent wet scrubbing system, Separation and Purification Technology, 98, 221-229.
- [8] Li, J., Tang, X., Yi, H., Yu, Q., Gao, F., Zhang, R., Li, C., Chu, C. 2017. Effects of copper-precursors on the catalytic activity of Cu/graphene catalysts for the selective catalytic oxidation of ammonia, Applied Surface Science, 412, 37-44.
- [9] Sun, M., Wang, S., Li, Y., Xu H., Chen, Y. 2017. Promotion of catalytic performance by adding W into Pt/ZrO₂ catalyst for selective catalytic oxidation of ammonia, Applied Surface Science, 402, 323-329.
- [10] Breck, D. W. 1984. Zeolite molecular sieves, Wiley, New York, 4p.
- [11] Gottardi, G., Galli, E. 1985. Natural zeolites, Springer, Berlin, 4p.
- [12] Armbruster, T., Gunter, M. E. Reviews in Mineralogy and Geochemistry. pp. 1-68. Bish, D. L., Ming, D. W. eds. 2001. Natural Zeolites: Occurrences, Properties, Applications, Mineralogical Society of America, Washington, 81p.
- [13] Zhang, J., Singh, R., Webley, P. A. 2008. Alkali and alkaline-earth cation exchanged chabazite zeolites for adsorption based CO₂ capture. Microporous and Mesoporous Materials, 111, 478-487.
- [14] Smith, J. V. 1962. Crystal structures with a chabazite framework. I. dehydrated Ca-chabazite. Acta Crystallographica, 15, 835-845.
- [15] Saha, D., Deng, S. 2010. Ammonia adsorption and its effects on framework stability of MOF-5 and MOF-177. Journal of Colloid and Interface Science, 348, 615-620.
- [16] Moghadam, P. Z., Fairen-Jimenez, D., Snurr, R. Q. 2016. Efficient identification of hydrophobic MOFs: application in the capture of toxic industrial chemicals. Journal of Material Chemistry A, 4, 529-536.
- [17] Katz, M. J., Howarth, A. J., Moghadam, P. Z., DeCoste, J. B., Snurr, R. Q., Hupp, J. T., Farha, O. K. 2016. High volumetric uptake of ammonia using Cu-MOF-74/Cu-CPO-27. Dalton Transactions, 45, 4150-4153.
- [18] Kallo, D., Papp, J., Vallyon, J. 1982. Adsorption and catalytic properties of sedimentary clinoptilolite and mordenite from the Tokaj Hills, Hungary. Zeolites, 2, 13-16.
- [19] Caputo, D., De Gennaro, B., Liguori, B., Pansini, M., Colella, C. 2001. Adsorption properties of clinoptilolite-rich tuff from Thrace, NE Greece. Studies in Surface Science and Catalysis, 140, 121-129.
- [20] Asilian, H., Mortazavi, S. B., Kazemian, H., Phaghihzadeh, S., Shahtaheri, S., Salem, M. 2004. Removal of ammonia from air, using three Iranian zeolites. Iranian Journal of Public Health, 33, 45-51.
- [21] Helminen, J., Helenius, J., Paatero, E. 2001. Adsorption equilibria of ammonia gas on inorganic and organic sorbents at 298.15 K. Journal of Chemical Engineering Data, 46, 391-399.
- [22] Saha, D., Deng, S. 2010. Adsorption equilibrium and kinetics of CO₂, CH₄, N₂O and NH₃ on ordered mesoporous carbon. Journal of Colloid and Interface Science, 345, 402-409.
- [23] Hayhurst, D. T. 1980. Gas adsorption by some natural zeolites. Chemical Engineering Communications, 4, 729-735.

- [24] Petit, C., Mendoz, B., Bandosz, T. J. 2010. Reactive Adsorption of Ammonia on Cu-Based MOF/Graphene Composites. *Langmuir*, 26, 15302-15309.
- [25] Vikrant, K., Kumar, V., Kim, K. H., Kukkar, D. 2017. Metal-organic frameworks (MOFs): potential and challenges for capture and abatement of ammonia. *Journal of Materials Chemistry A*, 5, 22877-22896.
- [26] McHugh, L. N., Terracina, A., Wheatley, P. S., Buscarino, G., Smith, M. W., Morris, R. E. 2019. Metal-Organic Framework-Activated Carbon Composite Materials for the Removal of Ammonia from Contaminated Airstreams. *Angewandte Chemie International Edition*, 58, 11747-11751.
- [27] Ciahotny, K., Melenova, L., Jirglova, H., Pachtova, O., Kocirik, M., Eic, M. 2006. Removal of ammonia from waste air streams with clinoptilolite tuff in its natural and treated forms. *Adsorption*, 12, 219-226.
- [28] Huang, C. C., Li, H. S., Chen, C. H. 2008. Effect of surface acidic oxides of activated carbon on adsorption of ammonia. *Journal of Hazardous Materials*, 159, 523-527.
- [29] Moore, D. M., Reynolds, Jr. R. C. 1997. *X-ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals*. second ed., Oxford University Press, New York, 255p.
- [30] Lowell, S. Shields, J. E. Thomas, M. A. Thommes, M. 2006. *Characterization of porous solids and powders: surface area, pore size and density*. Springer, Netherlands, 12p.
- [31] Barrer, R. M., Langley, D. A. 1958. Reactions and stability of chabazite-like phases. Part I. Ion-exchanged forms of natural chabazite. *Journal of the Chemical Society*, 380, 4-11.
- [32] Sakizci, M., Erdoğan Alver, B. 2017. Effect of salt modification on thermal behavior, immersion heats and methane adsorption properties of chabazite tuff. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 129, 441-449.

Ödemiş Kuzey Bölgesinin İmar ve Bölge Planlama Alanı İncelenmesi

İbrahim ACAR*¹, Züheyr KAMACI², Serdar KAPUCU³

¹Ödemiş Belediyesi, Jeofizik Mühendisi, 35750, İzmir, Türkiye

²Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 32260, Isparta, Türkiye

³Jrg Zemin Yerbilimleri Mühendislik Hizmetleri, Jeoloji ve Jeofizik Mühendisi, 35860, İzmir, Türkiye

(Alınış / Received: 30.06.2021, Kabul / Accepted: 15.12.2021, Online Yayınlanma / Published Online: 20.04.2022)

Anahtar Kelimeler

Jeofizik,
Jeoloji,
Plan,
Yerleşime Uygunluk

Özet: İzmir İli, Ödemiş İlçesinin kuzeyinde yer alan Dereuzunyer ve Derebebekler Mahallelerinin, zemin sondaj, sismik kırılma, çok kanallı yüzey dalgası analizi (MASW - Multichannel Analysis of Surface Waves), elektrik özdirenç tomografi (ERT) ve mikrotremor yöntemlerinin uygulanması ve bu yöntemlerin uygulanması sonucunda elde edilen veriler ışığında jeoloji ve jeofizik mühendisliği disiplinleri ile birlikte değerlendirilerek günümüz şart ve koşulları ile güncel yönetmeliklerde göz önünde bulundurulduğunda uygulamalı jeofizik yöntemler, genel jeofizik, genel jeoloji ve saha jeolojisi dallarından edinilen teorik ve uygulamalı bilgiler ışığında yerleşime uygunluk alanının belirlenmesi, deprem, heyelan vs. gibi doğal afetlere karşı daha emniyetli ve güvenilir yapılaşma alanlarının tespiti, her türlü alt yapı projelerinin ekonomik olarak gerçekleştirilebilmesi ve yaşam kalitesi yüksek yaşanılabilir mekânların oluşturulması amaçlanmıştır.

Investigation of The Zoning and Regional Planning Area of the North Odemis Region

Keywords

Geophysics,
Geology,
Plan,
Residential feasibility.

Abstract: Dereuzunyer and Derebebek Neighborhoods located in the north of Ödemiş District of İzmir Province; ground drilling, seismic refraction, multi-channel surface wave analysis (MASW - Multi-Channel Analysis of Surface Waves), electrical resistivity tomography (ERT) application.) and microtremor methods and their application. In the light of the data obtained, it is evaluated together with the geology and geophysical engineering disciplines, and today's conditions and conditions and current regulations, applied geophysical methods, general geophysics, general geology and field geology branches, theoretical and applied knowledge, settlement, earthquake, landslide etc. It is aimed to determine safer and more reliable housing areas against natural disasters such as natural disasters, to realize all kinds of infrastructure projects economically and to create quality habitable spaces.

1. Giriş

Bu çalışmanın amacı; İzmir İli, Ödemiş İlçesinin kuzeyinde yer alan Dereuzunyer ve Derebebekler Mahallelerinin, zemin sondaj, sismik kırılma, çok kanallı yüzey dalgası analizi (MASW - Multichannel Analysis of Surface Waves), elektrik özdirenç tomografi (ERT) ve mikrotremor yöntemlerinin uygulanması ve bu yöntemlerin uygulanması sonucunda elde edilen veriler ışığında jeoloji ve jeofizik mühendisliği disiplinleri ile birlikte değerlendirilerek günümüz şart ve koşulları ile

güncel yönetmeliklerde göz önünde bulundurulduğunda uygulamalı jeofizik yöntemler, genel jeofizik, genel jeoloji ve saha jeolojisi dallarından edinilen teorik ve uygulamalı bilgiler ışığında yerleşime uygunluk alanının belirlenmesi, deprem, heyelan vs. gibi doğal afetlere karşı daha emniyetli ve güvenilir yapılaşma alanlarının tespiti, her türlü alt yapı projelerinin ekonomik olarak gerçekleştirilebilmesi ve yaşam kalitesi yüksek yaşanılabilir mekânların oluşturulması amaçlanmıştır.

*İlgili yazar: ibrahimacarjz@gmail.com



Şekil 1. İnceleme alanı yer bulduru haritası

1.1. Yapısal jeoloji

Batı Anadolu neotektonizması açılmalı tektonik rejimle temsil edilir Şengör 1979, 1980 [6]. Bölgesel olarak K-G yönlü açılmalı tektonik rejim Anadolu genelinde izlenen neotektonizmanın bir sonucudur. Türkiye’de neotektonizmanın Orta-Üst Miyosen’de Doğu Anadolu’da Arap-Afrika levhaları ile Avrasya levhaları arasında gerçekleşen kıta-kıta çarpışması sonucu başlamış olduğu bilinir ve neotektonizma bu çarpışma sonucu ortaya çıkan Anadolu levhasının Kuzey ve Doğu Anadolu transform fayları boyunca batıya doğru kaçması şeklinde cereyan eden tektonik olaylar dizisini içerir.

2. Materyal ve Metot

Etüt alanını oluşturan arazi içerisinde, 14 ayrı noktada, 8 adet 9,00’ar metre, 1 adet 10,50 metre ve 5 adet 13,50’şer metre derinlikli zemin sondajı çalışmaları yapılmış, Jeofizik çalışmalar 6 adet Sismik Kırılma, 6 adet Masw, 6 Adet Mikrotremör ve 2 noktada ERT tomografi ölçüsü alınması şeklinde yürütülmüştür.

2.1. Arazi, laboratuvar, çalışma yöntemleri

İnceleme alanında zemin sınıflandırılması, jeolojik yapının çıkartılması, derinlik, cins ve jeoteknik özelliklerinin tespiti amacı ile sahada 8 adet 9,00 metre 1 adet 10,50 metre ve 5 adet 13,50 metre olacak şekilde toplam 14 adet temel sondajı çalışmaları yapılmış, kaya ortamda çalışıldığından Spt ve karot numuneleri alınamamıştır. Sondajlar sonucunda elde edilen karot numuneleri üzerinde nokta yükleme deneyleri yaptırılmıştır.

Çalışma alanında Jeofizik yöntemlerden 6 Serim Sismik kırılma (Vp-Derinlik değerleri ve tabaka sayısını elde etmek için), 6 Serim Masw (Vs-Derinlik değerleri, tabaka sayısı ve zemin büyütmesini elde etmek için), 6 noktada Mikrotremör çalışması (Zemin Hakim titreşim periyodunu belirlemek için) ve 2 Serim Özdirenç Tomografi (ERT) (Gerçek Özdirenç-Derinlik değerlerini bulmak için) ölçümü çalışmaları yapılmıştır.

Temel sondajlarından alınan zemin örnekler üzerinde, gerekli laboratuvar deneyleri Tralles Zemin Araştırma Laboratuvarında yapılmıştır.

Tablo 1. Laboratuvar Deney Sonuçları

| Sondaj No | Numune No | Derinlik | İs(kgf/cm ²) |
|-----------|-----------|-------------|--------------------------|
| Sondaj-1 | Karot-1 | 0.00-1.50 | 13.9 |
| Sondaj-3 | Karot-2 | 1.50-3.00 | 14.7 |
| Sondaj-4 | Karot-3 | 3.00-4.50 | 14.2 |
| Sondaj-6 | Karot-4 | 4.50-6.00 | 12.8 |
| Sondaj-8 | Karot-5 | 6.00-7.50 | 13.6 |
| Sondaj-9 | Karot-6 | 7.50-9.00 | 14.1 |
| Sondaj-11 | Karot-7 | 9.00-10.50 | 13.1 |
| Sondaj-12 | Karot-8 | 10.50-12.00 | 14.8 |
| Sondaj-14 | Karot-9 | 12.00-13.50 | 15.9 |

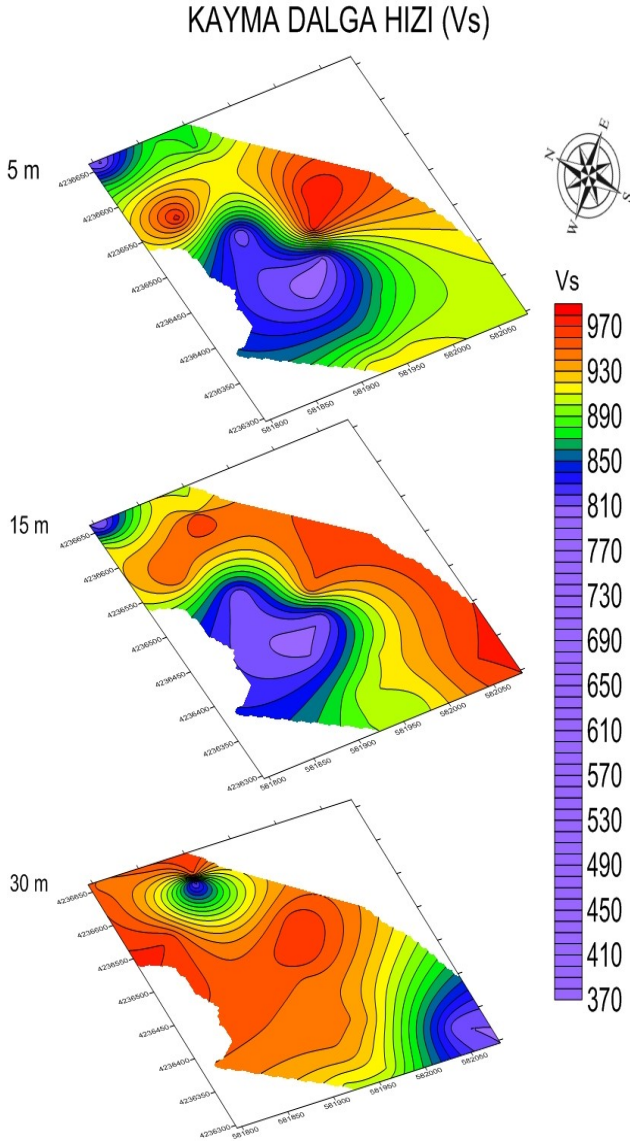
3. Bulgular

3.1 Sismik profillerin değerlendirilmesi

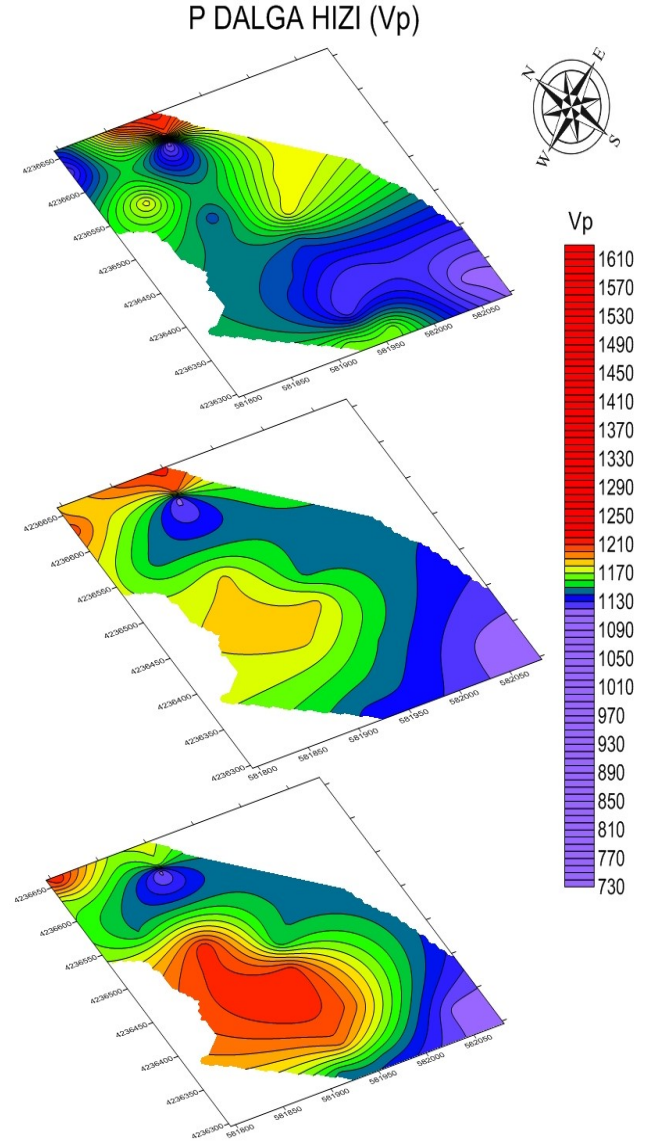
Sismik ölçüler yer içinde yayılan boyuna (Vp) ve enine (Vs) sismik dalga türlerinin her ikisinin ölçülmesi şeklinde yapılmıştır. Boyuna ve enine sismik dalgalar tek taraflı ölçülmüştür. Vp sismik dalga hızı yeraltı yapısal konumları daha derinlerden tespit etmek, Vs sismik dalga hızı ise yeraltı yanal süreksizlikler ile mekanik özellikleri daha iyi tanımak amacıyla ölçülmüştür. Serimler üzerinde her bir dalga türü için (P ve S) ayrı jeofonlar kullanılarak ölçümler alınmıştır. Vp sismik dalga hızı yeraltı yapısal konumları daha derinlerden tespit etmek, Vs sismik dalga hızı ise yeraltı yanal süreksizlikler ile mekanik özellikleri daha iyi tanımak amacıyla ölçülmüştür. Sismik hızlardan elde edilen zemin dinamik parametreleri hesaplanmıştır [3,4].

3.2 MASW yöntemin uygulanması ve değerlendirilmesi

Yüzey dalgalarının çok-kanallı analiz (MASW)yöntemi için yapılan bu arazi çalışmasında, kırılma yönteminde kullanılan standart kayıtçılar ve jeofonlar kullanılmıştır. Alıcı olarak; 24 adet 4.5 Hz P (düşey-bileşenli) jeofonu, kaynak olarak 10 kg 'lık bir balyoz ve demir plakanın kullanıldığı bu çalışmada, her bir atış istasyonunda sinyal/gürültü oranını arttırmak için ardarda 3 vuruş gerçekleştirilmiştir. Jeofon Aralığı tüm serimler için 2.00 m, jeofon yayılım uzunluğu(ilk jeofondan son jeofona uzaklık), 46 m'dir. Kayıtlarda, kayıt uzunluğu 2 sn, örnekleme aralığı 1 ms seçilmiştir. SEG2 formatında SARA - Doremi marka 24 kanallı sismik sinyal işleyici kullanılarak kaydedilen sismik kesitlerin yorumlanmasında, ters-çözüm işleminde doğrusal olmayan en küçük kareler algoritmasına dayanan, bir boyutlu yüzey dalga çok-kanallı analiz yazılımı kullanılmıştır Amaç her bir tabaka için Vs hızını hesaplamak ve 30 metre derinlik için ortalama kayma dalgası hızını vermektir. Ortalama VS30 hızları 653 - 707 - 652 - 626 - 654 - 665 m/sn bulunmuştur.



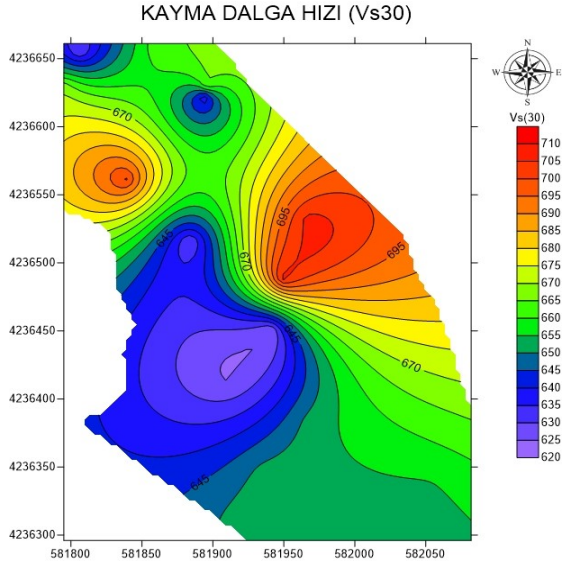
Şekil 2. İnceleme kayma dalga hızı kat haritası



Şekil 3. İnceleme p dalga dalga hızı kat haritası

Tablo 2. Sismik Çalışmalar ve Değerlendirmeler Sonucunda Elde Edilen Parametreler

| PROFİL NO | Tabak a No | ZEMİN ELASTİK VE DİNAMİK PARAMETRELERİ | | | | | | | | |
|-----------|------------|--|------------------------|--------------|-------|-----------------------------------|--------------------|---------------|------------------------------------|---|
| | | P DALGA SI HIZI (m/sn) | S DALGA SI HIZI (m/sn) | Kalınlık (m) | Vp/Vs | Bulk Modülü (kg/cm ²) | Vs30(MAS W) (m/sn) | POISSON ORANI | KAYMA MODÜLÜ (kg/cm ²) | ELASTİSİTE MODÜLÜ (kg/cm ²) |
| 1.PROFİL | 1 | 686 | 414 | 2.28 | 1.66 | 3840.43 | 652.90 | 0.214 | 2719.21 | 2719.21 |
| | 2 | 1122 | 619 | 4.13 | 1.81 | 13420.33 | | 0.281 | 6874.50 | 6874.50 |
| | 3 | 1497 | 814 | - | 1.84 | 26177.14 | | 0.29 | 12776.62 | 12776.62 |
| 2.PROFİL | 1 | 671 | 423 | 2.23 | 1.59 | 3339.64 | 706.60 | 0.17 | 2823.08 | 2823.08 |
| | 2 | 1148 | 671 | 5.98 | 1.71 | 12948.49 | | 0.241 | 8124.42 | 8124.42 |
| | 3 | 1528 | 878 | - | 1.74 | 25330.73 | | 0.254 | 14941.07 | 14941.07 |
| 3.PROFİL | 1 | 846 | 502 | 2.51 | 1.69 | 6348.29 | 652.70 | 0.228 | 4213.20 | 4213.20 |
| | 2 | 1074 | 633 | 4.06 | 1.70 | 10989.06 | | 0.234 | 7110.83 | 7110.83 |
| | 3 | 1392 | 804 | - | 1.73 | 20370.11 | | 0.25 | 12240.06 | 12240.06 |
| 4.PROFİL | 1 | 867 | 523 | 2.96 | 1.66 | 6509.67 | 625.90 | 0.214 | 4601.19 | 4601.19 |
| | 2 | 1058 | 572 | 4.81 | 1.85 | 12077.56 | | 0.293 | 5784.62 | 5784.62 |
| | 3 | 1435 | 779 | - | 1.84 | 23851.77 | | 0.291 | 11578.43 | 11578.43 |
| 5.PROFİL | 1 | 608 | 382 | 2.4 | 1.59 | 2695.38 | 654.20 | 0.174 | 2246.28 | 2246.28 |
| | 2 | 1025 | 561 | 4.78 | 1.83 | 11068.02 | | 0.286 | 5520.37 | 5520.37 |
| | 3 | 1368 | 810 | - | 1.69 | 18789.47 | | 0.23 | 12369.53 | 12369.53 |
| 6.PROFİL | 1 | 709 | 456 | 3.74 | 1.55 | 3606.12 | 664.90 | 0.147 | 3326.24 | 3326.24 |
| | 2 | 1220 | 658 | 5.81 | 1.85 | 16692.63 | | 0.295 | 7932.38 | 7932.38 |
| | 3 | 1603 | 919 | - | 1.74 | 28315.24 | | 0.255 | 16566.32 | 16566.32 |

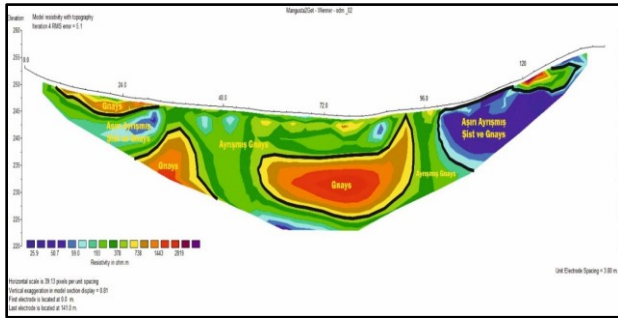


Şekil 4. İnceleme kayma dalga hızı haritası

3.3 Tomografi çalışmaları (ERT)

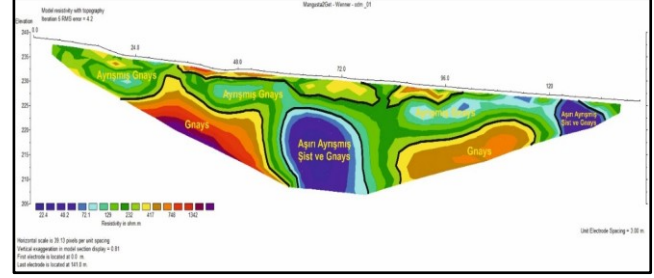
Çalışma sahasında, özdirenç çalışması olarak 2 adet elektrik tomografi ölçüsü alınmıştır. Ölçü yerleri önceden belirlenen lokasyonlarda ve kayma olasılığı olan yerlerde uygulanmıştır. Profil yönleri arazi şartları ve yapılaşmanın izin verdiği şekilde kuzey - güney doğrultulu ve yaklaşık 25 m derinliği çözecek şekilde yapılmıştır. Elektrik tomografi ölçüleri 144 metre uzunluğundaki serim üzerinde, 3 m. aralıklarla 48 adet elektrot kazıkları çakılarak alınmıştır. Ölçü sistemi, Wenner-Schlumberger olacak şekilde, her seferinde farklı akım elektrotlarından akım verilip, farklı potlardan potansiyeller ölçülmüştür. Bu sistem ile, giderek daha derin seviyelerde, aynı zamanda yanal yönde de ölçüler alınarak, yer altının iki boyutlu görüntülenebilmesi hedeflenmiştir.

ERT-1 profili inceleme sahasının hemen hemen ortalarında yaklaşık K-G doğrultusunda alınmıştır. Yüzeyde yer yer 3.50 - 4,00 metre kalınlıklı blok gnayslardan sonra 10.00- 11.00 metrelere kadar gnays biriminin ayrışma seviyeleri ve sonrasında daha derinlere doğru 1500-2000 ohm değerli seviye ayırtlanmıştır. Ayrıca yer yer düşük özdirenç değerlerine sahip (80-100 ohm) parçalanmış ve ufalanmış şist ve gnays olarak tanımlayabileceğimiz iri çakıl ve bloklardan oluşan seviyeler belirlenmiştir.



Şekil 5. İnceleme alanındaki 1 no'lu özdirenç tomografiden görünüm

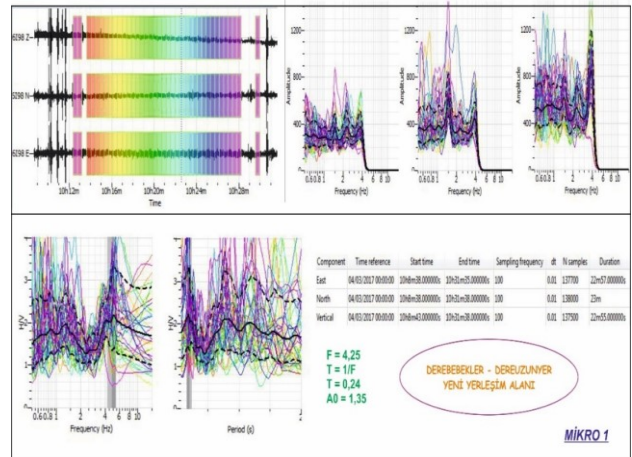
ERT-2 profili inceleme sahasının güney doğusunda yaklaşık B-D doğrultusunda alınmıştır. Yüzeyde yer yer 2.00 - 3,00 metre kalınlıklı çoğunlukla yanal yayılım gösteren gnayslar ve ayrışma seviyelerinden sonra 1100-1400 ohm değerli yüksek öz dirence sahip seviye ayırtlanmıştır. Ayrıca yer yer düşük özdirenç değerlerine sahip (40-60 ohm) parçalanmış ve ufalanmış aşırı ayrışmış şist ve gnays olarak tanımlayabileceğimiz iri çakıl ve bloklardan oluşan seviyeler belirlenmiştir.



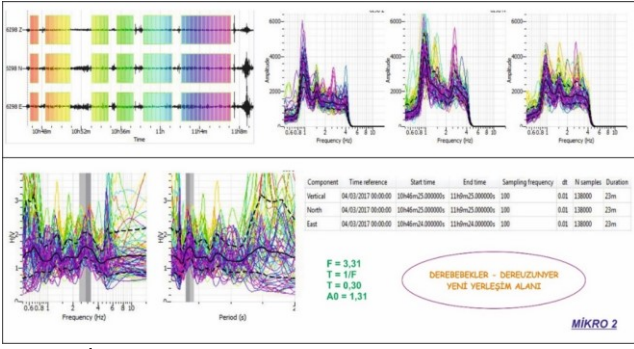
Şekil 6. İnceleme alanındaki 2 no'lu özdirenç tomografiden görünüm

3.4 Mikrotremör ölçümü

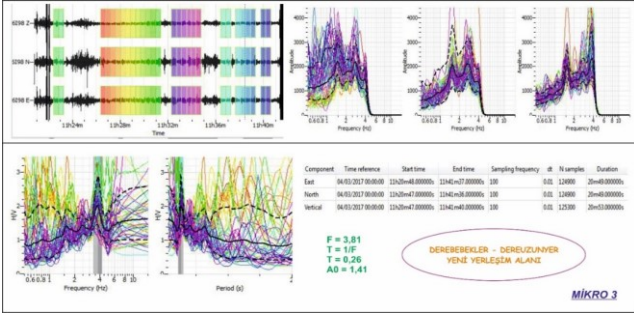
Mikrotremör ölçümleri geoteknik deprem mühendisliğinde birçok farklı parametrenin belirlenmesine yönelik olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle, mikrotremör ölçümlerinin değerlendirilmesinde kullanılacak yöntemlerde, bulunması amaçlanan parametrelerle, dolayısı ile tercih edilen ölçüm tekniğine göre çeşitlilik göstermektedir. Bu değerlendirme yöntemlerinin her biri farklı yaklaşımlar ve kabulleri içermekle beraber, spektral analiz uygulamaları her yöntemin ilk aşamasını oluşturmaktadır. Bu raporun amacı, sahada mikrotremör ölçümü yapılarak olası bir deprem sırasında zeminin ivme büyütmesi ve zemin hakim titreşim periyodunun belirlenmesidir[5]. Bu yöntem son yıllarda mühendislik çalışmalarında sıkça kullanılmaktadır. Mikrotremör kayıtları, Güralp CMG 5TD dijital ivme ölçer aletiyle alınmıştır. Çalışma alanında 6 ayrı noktada mikrotremör kayıtları alınmıştır.



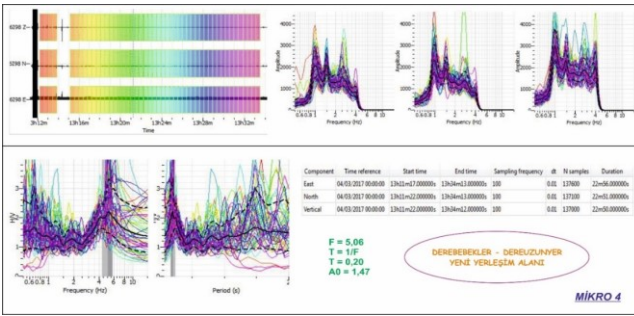
Şekil 7. İnceleme alanında alınan Mikro - 1 Ham Veri.



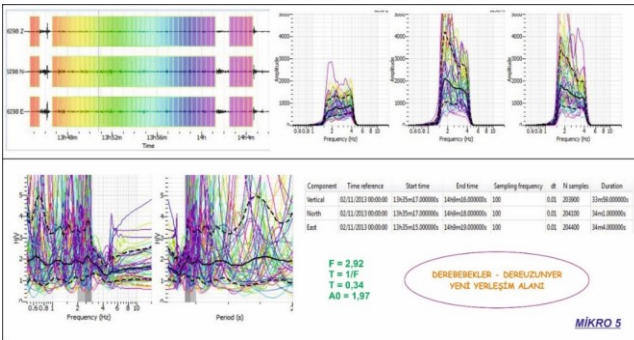
Şekil 8. İnceleme alanında alınan Mikro - 2 Ham Veri.



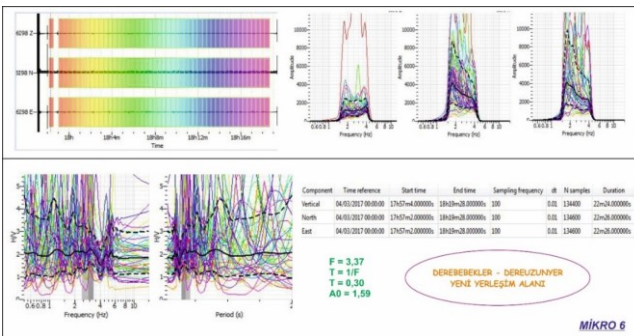
Şekil 9. İnceleme alanında alınan Mikro - 3 Ham Veri.



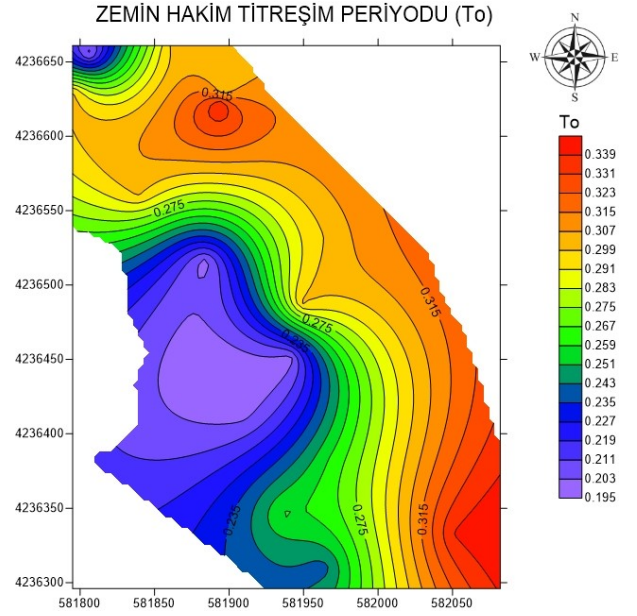
Şekil 10. İnceleme alanında alınan Mikro - 4 Ham Veri.



Şekil 11. İnceleme alanında alınan Mikro - 5 Ham Veri.



Şekil 12. İnceleme alanında alınan Mikro - 6 Ham Veri.



Şekil 13. Zemin hakim titreşim periyodu haritası

3.5 Taşıma gücü analizi

Taşıma gücü hesaplamalarında aşağıda sunulan öneriler öngörülmektedir. Taşıma gücü terimi ile temeli göçmeden taşıyabileceği maksimum taban basıncı kast olunacaktır. Birimi kg/cm^2 veya ton/m^2 olarak ifade edilir. Yapılan sondajlarla birlikte gerçekleştirilen arazi ve laboratuvar deneyleri ile temel altı zeminlerin emniyetli taşıma gücü (zemin emniyet gerilmesi) değeri çeşitli yöntemlere göre hesaplanabilmektedir.

Çalışma alanındaki birimlerin taşıma kapasitesini tespit etmek amacıyla sondaj kuyusundan veya gözlem çukurundan alınan numuneler üzerinde laboratuvarda yapılan deneylerden elde edilen veriler kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır. Yapılan kaya mekaniği laboratuvarı deney sonuçlarına göre aşağıdaki hesaplamalar yapılmaktadır.

SK-1 → K-1 (0,00-1,50m.) ;
Nokta yükleme deneyi sonucunda; mukavemet indisi Mukavemet İndisi ağırlıklı (I_s) ort = $13,90 \text{ kg}/\text{cm}^2$ değerleri elde edilmiş olarak bulunmuştur. Bu değerden tek eksenli basınç dayanımını bulmak için, metamorfik serilerin çatlaklı yapıda olması nedeniyle KS katsayısı hesaplanmalıdır.

$$K_s = 3 + C_s / B. [2] \quad (1)$$

$$10 V_1 + 300 * \& / C_S \quad (2)$$

C_s : arazide (ana kayada) iki çatlak arası mesafe m. = cm = 0,06 m

$\&$: çatlak kalınlığı m = 1 mm = 0,001 m

B = temel genişliği m. = 0,50 m

$K_s = 0,12$ bulunur.

$q_u = C * I_{s\text{ort}}$ 'den, C = 12 - 24 arasında bir değer seçilerek;

$q_u = 12 * 13,90 = 166,8 \text{ kg/cm}^2$ olarak bulunur.
 $q_a = \text{Taşıma Gücü}$ = tek eksenli basınç dayanımı
 Azaltma faktörü = 0.12
 $q_a = k_s * q_u = 0,12 * 166,8'$ den
 $q_a = 20,02 \text{ kg/cm}^2$ olarak bulunmuştur.
 Ayrıca

$$q_a = \frac{N_{ort} \times 12}{10} \quad (3)$$

bağıntısı kullanılarak tüm nokta yükleme değerleri için hesaplamalar yapılmış ve tablo şeklinde sunulmuştur.

Tablo 3. Taşıma Gücü Değerleri

| Kuyu No | Derinlik (m) | Is (kg /cm ²) | qa(kg /cm ²) |
|---------|--------------|---------------------------|--------------------------|
| 1 | 0.00-1.50 | 13.9 | 16.68 |
| 3 | 1.50-3.00 | 14.7 | 17.64 |
| 4 | 3.00-4.50 | 14.2 | 17.04 |
| 6 | 4.50-6.00 | 12.8 | 15.36 |
| 8 | 6.00-7.50 | 13.6 | 16.32 |
| 9 | 7.50-9.00 | 14.1 | 16.92 |
| 11 | 9.00-10.50 | 13.1 | 15.72 |
| 12 | 10.50-12.00 | 14.8 | 17.76 |
| 14 | 12.00-13.50 | 15.9 | 19.08 |

Min. – Max: 15,36 < q_a (kg /cm²) < 19,08

Bu taşıma gücü değerleri yaklaşık bilgi amaçlı hesaplanmış olup, Zemin ve temel etüt raporu aşamasında bina temel tipi ve temel boyutları dikkate alınarak, elde edilen taşıma gücü değerleri uygun güvenlik katsayısına bölünerek zemin emniyet gerilmesi değeri elde edilebilir.

4. Tartışma ve Sonuç

Çalışma alanında, 14 ayrı noktada derinlikleri 9,00 metre, 10,50 metre ve 13,50 metre olan toplam 150 metre temel sondaj çalışması yapılmıştır. Yapılan sondajlar sonucunda şist ve paragnays birimi gözlenmiştir. Zeminde farklı seviyelerde karot numuneleri alınmış incelenmiş, alınan numuneler üzerinde laboratuvar deneyleri yaptırılmıştır. Bu birim bol kırık ve çatlaklı çoğu zamanda ufalanmış ve parçalanmış olarak belirlenmiştir. Yapılan gözlemler sonucunda kaya biriminin çok ayışmış, tamamen ayışmış (W4-W5), zayıf kaya ve çok zayıf kaya olarak sınıflamak mümkündür.

Sahada açılan derinliği en fazla 13,50 metre olan temel sondajları sırasında yeraltı suyu rastlanılmamıştır (Ağustos – 2016). Çevrede yer alan su sondaj kuyuları verilerine göre statik su seviyesi 90.00- 100.00 metre civarındadır.

Sahada 6 profilde yapılan Jeofizik Sismik Kırılma çalışmaları neticesinde sahada 3 sismik katman ayırtlanmıştır. 1. Tabaka kalınlığı 2,23 m. ile 3,74 m., 2. Tabaka kalınlığı 4,06 m. ile 5,98 m. arasında, V_p hızları 1. Tabaka için 608 m/s ile 867 m/s, 2. Tabaka için 1025 m/s ile 1220 m/s, 3. Tabaka için 1368 m/s

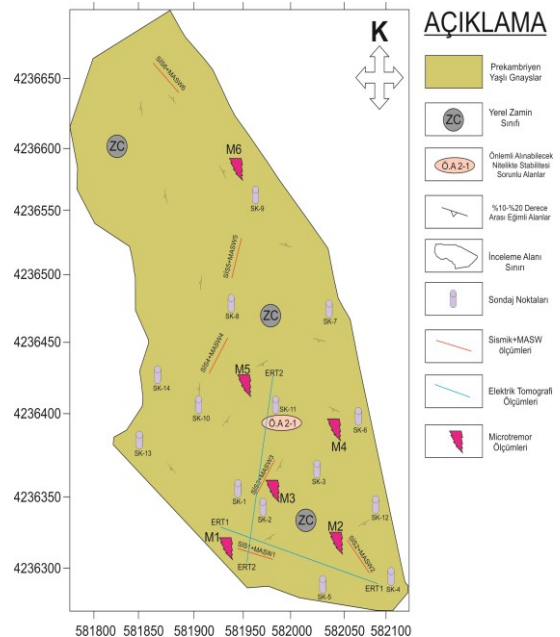
ile 1603 m/s aralığında, V_s hızları ise 1. Tabaka için 382 m/s ile 523 m/s, 2. Tabaka için 561 m/s ile 671 m/s, 3. Tabaka için 779 m/s ile 919 m/s aralığında bulunmuştur. Bu değerler dikkate alındığında, inceleme sahası yerel zemin sınıfı ZC kapsamındadır.

İnceleme alanında yapılan MASW çalışmalarından elde edilen V_{s30} hızları 626 m/s ile 707 m/s arasında değişmekte olup V_{s30} hızları kullanılarak hesaplanan zemin büyütmesi ortalaması A_{kort} = 1,39 ve Mikrotremör yöntemi kullanılarak bulunan zemin hakim titreşim periyodu ortalaması T_{0ort} = 0,27 olarak bulunmuştur. İnceleme alanında yapılan ERT sonuçlarına göre çoğunlukla yüksek özdirenç değerli (750 – 2900 ohm.m) şist ve gnays birimleri belirlenmiş olup yer yer düşük öz direnç değerlerine sahip (25 – 130 ohm.m) aşırı ayırılmış şist ve gnays birimleri ayırtlanmıştır.

Sahada elde edilen taşıma gücü değeri 15,36 < q_a (kg / cm²) < 19,08 arasında hesaplanmıştır.

Arazide yapılan sıvılaşma riski değerlendirildiğinde sahada gözlenen birimlerin şist ve paragnays olmasından dolayı sıvılaşma açısından uygun litolojiye girmediği görülmektedir.

Çalışma alanında yapılan jeolojik – jeoteknik ve jeofizik çalışmalar neticesinde çalışma alanının önem alınabilecek nitelikte stabilite sorunlu alanlar ÖA-2.1 kaya ortamlar olarak değerlendirilmiştir. Zemin sondajı, sismik kırılma, çok kanallı yüzey dalgası analizi (MASW – Multichannel Analysis of Surface Waves), elektrik özdirenç tomografi (ERT) ve mikrotremör yöntemlerinin uygulanması ve bu yöntemlerin uygulanması sonucunda elde edilen veriler ışığında jeoloji ve jeofizik mühendisliği disiplinleri ile birlikte ödemiş kuzey bölgesinin havzaya göre yüksek değerler elde edilmiştir.



Şekil 14. Yerleşime uygunluk haritası

Teşekkür

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan değerli Danışman Hocam Prof. Dr. Züheyr KAMACI'ya teşekkürlerimi sunarım. Tezimde verilerini kullandığım jeoloji mühendisi Sedat VURAL'a, jeofizik mühendisi Serdar KAPUCU'ya ve Ödemiş Belediyesi'ne teşekkürlerimi sunarım.

Etik Beyanı

Bu çalışmada, "Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi" kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin "Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler" başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederiz.

Kaynakça

- [1] Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığından, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018".
- [2] Ulusay, R., 2010. Uygulamalı Jeoteknik Bilgiler, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, No: 38, Ankara.
- [3] Ercan, A. 2001. Yer Araştırma Yöntemleri; Bilgiler Kurallar, TMMOB Jeofizik Müh. Odası Yayını, 339 s.
- [4] Keçeli, A. (1990). Sismik Yöntemlerle Müsaade Edilebilir Dinamik Zemin Taşıma Kapasitesi ve Oturmasının Saptanması. Jeofizik, 4(2), 83-92.
- [5] S. Midorikawa, «Prediction of seismal Map in Kanto Plain due to Hypothetical Earthquake,» Journal of Structural Dynamics, cilt 33, pp. 43-48, 1987.
- [6] Şengör, A.M.C. ve Yılmaz, Y., 1983; Türkiye'de Tetis'in evrimi: Levha tektoniği açısından bir yaklaşım. Türkiye Jeoloji Kurumu, Yerbilimleri Özel Dizisi, No: 1, 75.

Eko-Psikolojiyi Etkileyen Değişkenlerin Belirlenmesi

Ahmet Erkan METİN¹, Atila GÜL²

¹Uşak Üniversitesi, Banaz MYO, Ormanlık Bölümü, 64500, Uşak, Türkiye

² Süleyman Demirel Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, 32200, Isparta, Türkiye

(Alınış / Received: 05.07.2021, Kabul / Accepted: 26.11.2021, Online Yayınlanma / Published Online: 20.04.2022)

Anahtar Kelimeler

Ekoloji,
Psikoloji,
Ekopsikoloji,
Çevre,
Yapısal eşitlik modeli,
Uşak

Özet: Eko-psikoloji kavramı, genel olarak insan psikolojisi ile doğal süreçleri temsil eden ekolojiyi birleştiren bir olgudur. Eko-psikoloji ile ilgili yapılan birçok çalışmada eko-psikoloji üzerinde etkili olan değişkenlerin ayrı ayrı ele alındığı görülmektedir. Bu çalışmada Eko-psikolojiyi etkileyen değişkenler yazın taramaları sonucu bir araya getirilerek ilişki düzeyleri incelenmiştir. Çalışmanın ana materyalini Uşak ili oluşturmaktadır. Çalışmada Tesadüfi Örneklem Yöntemine göre uygulanması gereken anket sayısı doğrultusunda 2020-2021 yıllarında uygulanan anket verileri kullanılmıştır. Yapısal Eşitlik Modelinin kullanıldığı çalışmada elde edilen bulgular Eko-psikoloji üzerinde Çevresel/Mekansal Faktörlerin (0,86), Ekolojik Faktörlerin (0,74), Psikolojik Faktörlerin (0,73), Yaşam Memnuniyetinin (0,51) ve Sosyal Faktörlerin (0,38) pozitif yönde etkili olduğu belirlenmiştir. Eko-psikolojiyi etkileyen faktörlerin gözlenebilen en önemli değişkenlerin; Çevresel faktörlerde "iş yerimde doğayı anımsatan (doğal) renkler kullanırım" (0,87), Ekolojik faktörlerde "iklim değişikliğine karşı duyarlıyım" (0,82), Psikolojik faktörlerde "doğayı anımsatan sesler (doğal) benim için önemlidir" (0,89), Yaşam memnuniyeti faktörlerinde "oturduğum semtten memnunum" (0,74), Sosyal faktörlerde ise "sosyal biri olduğumu düşünüyorum" (0,98) değişkeni olduğu tespit edilmiştir. Sonuçta Eko-psikoloji Ölçüm Modeli oluşturulmuş ve eko-psikolojiyi etkileyen faktörlerin ve faktör değişkenlerinin önem düzeyine göre belirlenmesi sağlanmıştır.

Identifying Variables Affecting Eco-Psychology

Keywords

Ecology,
Psychology,
Ecopsychology,
Environment,
Structural equation
model,
Uşak

Abstract: Eco-psychology is a phenomenon that combines human psychology with ecology representing natural processes. In many studies on eco-psychology, it is seen that the variables that affect eco-psychology are handled separately. In this study, the variables affecting eco-psychology were brought together as a result of literature reviews and their relationship levels were examined. The main material of the study is the province of Uşak. In the study, survey data applied in the years 2020-2021 were used in line with the number of surveys that should be applied according to the Random Sampling Method. According to the findings obtained in the study, in which the Structural Equation Model was used, on Eco-psychology it was determined that Environmental/spatial Factors (0.86), Ecological Factors (0.74), Psychological Factors (0.73), Life Satisfaction (0.51), Social Factors (0.38) was found to be positively effective. When the most important observable variables of the factors affecting eco-psychology are examined; In environmental factors "I use (natural) colors reminiscent of nature at my workplace" (0.87), In ecological factors "I am sensitive to climate change" (0.82), In psychological factors "sounds that remind nature (natural) are important to me" (0.89), "I am satisfied with the neighborhood I live in" (0.74) in life satisfaction factors, and "I think I am a social person" (0.98) in social factors. As a result, the Eco-psychology Measurement Model was created and the factors affecting eco-psychology and factor variables were determined according to the level of importance.

*İlgili yazar: erkan.metin@usak.edu.tr

1. Giriş

Son yıllarda fiziksel çevremizde yaşanan yapısal bozulmalar sonucu meydana gelen çevresel krizler tüm dünyada siyasi ve sosyal duyarlılığı tetiklemekte ve çevre politikalarını tartışma konusu haline getirmektedir. İnsanın doğayla bütüncül bir yaşam sürdürdüğü dünyada doğaya zarar vermesi ile birlikte aslında kendisine zarar verdiğini fark etmesinin uzun sürmediği görülmektedir. İnsan doğal yaşamın bir parçası olmasına rağmen kendi egosu doğrultusunda, benmerkezci düşünce yapısı ile doğayı tüketmekte ve çevresel sorunların ortaya çıkmasına sebep olmaktadır [1, 2, 3]. Ortaya çıkan çevresel sorunların çevre ve doğa koruma kavramının her dönem güncelliğini yitirmeyen bir kavram olarak kalmasına, çevreye ve doğaya karşı politik ve sosyal alanda sürekli yeni tedbirlerle yaklaşılmasına sebep olduğu bilinmektedir [4]. Özellikle endüstri devrimiyle birlikte yoğun sanayileşme sürecinin başlaması ve bu sürecin tetiklediği kentleşme ve demografik sorunlar hızla doğanın tahrip olması ve doğal yaşamın sekteye uğraması sonucunu doğurmakta, doğadaki dengenin insan aleyhine bozulmasıyla birlikte çevre felaketleriyle karşı karşıya gelindiği görülmektedir [5]. Bu felaketler sadece doğayı değil insanların psikolojik durumlarını da etkilemektedir. Çünkü insanların sağlıklı bir beden ve psikolojik yapıya sahip olabilmek için sosyal ilişki kurmaya ihtiyaçları olduğu kadar, doğaya yakın, doğa ile iç içe yaşam tarzlarına da ihtiyaç duydukları bilinmektedir [6]. Bireyin fiziksel ve psikolojik olarak sağlıklı bir yapıya sahip olması ve doğanın korunabilmesi bağlamında Eko-psikoloji kavramı büyük önem taşımaktadır. Yapılan çalışmada Eko-psikoloji kavramı, amaç ve felsefesi başlıklar halinde açıklanarak yapılan yazın taramaları sonucu ekopsikolojiyi etkileyen gizil faktörler ve bu faktörlerin gözlenebilen değişkenleri bir araya getirilerek etki düzeyleri belirlenmiş ve Eko-psikoloji Ölçüm Modeli geliştirilmiştir.

1.1. Eko-psikoloji (EP) Kavramı

Son yıllarda yapılan çalışmalar sosyal olayların ekolojik yaklaşımlarla açıklanmaya çalışıldığını göstermektedir. Ekolojik yaklaşımların asıl amacının doğa ile insan arasındaki yozlaşmış ilişkiyi yeniden tesis ederek, tek taraflı tahripkar yıkımın önüne geçilmesi şeklinde tanımlandığı görülmektedir [7]. Ekolojik yaklaşımlardan biri olan Eko-psikoloji (EP) kavramının 1992 yılında Theodor Roszak tarafından "The Voice of the Earth" adlı kitabında ortaya konulduğu bilinmektedir. Roszak'ın Eko-psikoloji kavramında ekoloji ile psikoloji kavramlarını birlikte ele alarak, doğadan kendisini soyutlayan insanın ruhsal olarak mutsuz olduğunu ileri sürdüğü görülmektedir [7]. Eko-psikoloji zihinsel sağlık için bireyin iç dünyası ile dış dünya arasındaki etkileşimi düşünmede eleştirel bir bakış önermektedir [8].

Harding (2006)'e göre küresel sorun, insanların yaşam ve maddenin etkileşimli ve birbirine bağlı küresel ekosistemden, Gaia'dan kopması olmaktadır. Khan (1992) küresel ekosistem sorununun çözümüne yönelik olarak, bireyleri doğayla özdeşleşmiş ortak kimlikleriyle yeniden birleştirmeyi önermektedir. Eko-psikoloji uzmanları, insan merkezli kötü davranışların (sağlık, eğitim, şefkat veya fırsat eksikliği nedeniyle) aşırı derecede ciddi bir soruna yol açtığını belirtmektedirler [6]. Eko-psikoloji, çok disiplinli bir alan, sosyal bir hareket ve ekoloji ile psikoloji alanlarını birleştirmeye çalışan akademik bir disiplin olarak karşımıza çıkmaktadır [9]. Ekopsikoloji nin "buradaki ruh" ile "oradaki doğa" arasındaki "asırlık zihin ve doğa arasındaki ayrımı" özenle yıktığı vurgulamaktadır [10].

1.2. Eko-psikolojinin amaç ve felsefesi

Hillman (1995)'a göre Eko-psikoloji nin amacı, insanları psikolojik olarak doğa ile yeniden birleştirmek, zihin ve çevre arasındaki etkileşimi anlamak ve sürdürülebilir davranış ile zihinsel sağlığın doğayla bağımlılığını onurlandırmak olmaktadır. Gomes (2014) radikal politikaların birey ve toplum arasındaki etkileşime odaklanması gerektiğini ve bu nedenle Eko-psikoloji nin temel amacının, temel psikolojik boyutları ele alarak kültür çapında ekolojik olarak zararlı davranış modellerini değiştirmek olduğu belirtmektedir [6].

Eko-psikoloji, özellikle modernite ile birlikte artan yaşam mücadelesinin sebep olduğu olumsuzluklara yoğunlaşmakta ve insanın maruz kaldığı zihinsel ve ruhsal yıpranmaya çözüm olarak doğayı göstermektedir. Ekoloji ile ilgili diğer tüm yaklaşımlar ile birlikte Eko-psikolojinin ortak amacı doğa-insan ilişkisinde "doğanın korunması" fikrinde birleşmektedir [11].

Eko-psikoloji teriminin yaratıcısı Theodore Roszak, 1992'de yayımlanan "The Voice of the Earth" (Dünyanın Sesi) adlı kitabında Eko-psikoloji 'nin felsefesini sekiz kuralla tanımlar. Bu kurallar:

- 1-"Zihnin temelinde ekolojik bilinçdışı yatmaktadır; yani her insan doğuştan doğaya dair bir bilince sahip olmaktadır".
- 2-"Ekolojik bilinçdışının içeriğinde, kozmik evrimin, tarihin ilk zamanlarına kadar uzanan kaydı bulunmaktadır".
- 3-"Eko-psikoloji 'nin amacı, insanın ekolojik bilinçdışında bulunan ve doğuştan sahip olduğu, doğa ve insanın karşılıklı ilişkisine dair bilgiyi uyandırmaktır".
- 4-"İnsan gelişiminin hayati aşaması çocukluk dönemi olmaktadır. Eko-psikoloji çocuğun henüz unutmadığı çevresel bilinci yetişkinlerde de uyandırmayı amaçlamaktadır.Çocukta bu bilincin gelişmesi içinse doğayla ilgili hikâyeler, masallar, ninniler çok önemli yer tutmaktadır".

5- "Ekolojik bilincin gelişmesiyle insan, doğaya ve diğer insanlara karşı ahlaki bir sorumluluk duygusuna sahip olmaktadır. Eko-psikoloji bu sorumluluk duygusunun sosyal ilişkilerde ve politik kararlarda söz sahibi olmasını amaçlamaktadır".

6- "Eko-psikolojinin en önemli terapilerinden birisi, doğayı bir yabancı gibi gören ve ona hükmetmeye çalışan, politik gücün de kaynağı olan "eril" karakter özelliklerini yeniden ele almak ve düzeltmek olmaktadır".

7- "Eko-psikoloji sanayi kültürünün yıkıcılığını sorgularken, hayatımızı kolaylaştıran teknolojiye karşı gelmemektedir. Bu anlamda Eko-psikoloji anti-endüstriyel değil, post-endüstriyel yapıya sahip olmaktadır".

8- "Dünyanın ve kişinin iyiliği arasında "sinerjik" bir etkileşim olduğundan dünyanın ihtiyaçları insanın da ihtiyaçları, insanın hakları, dünyanın da hakları olmaktadır" [12].

Roszak'ın ortaya koyduğu kuralların temelinde insanın huzurunun ve mutluluğunun sağlanması düşüncesi bulunmaktadır. Bunun için insandaki erdem ve ahlak gelişiminin sağlanması fikrini ortaya sunmaktadır. Yöntem olarak da başlangıçta kendisiyle tabii bir bütünlük oluşturduğu doğayla yeniden bir ve beraber olmak düşüncesini ileri sürmektedir [11].

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Çalışmanın ana materyalini Uşak il ve ilçelerinde yapılan 2020-2021 yıllarını kapsayan anketlerden elde edilen veriler oluşturmaktadır. Çalışma kapsamında yazılım materyali olarak SPSS ve LISREL programları kullanılmıştır.

2.2. Metot

Bu çalışmada T.C. Süleyman Demirel Üniversitesi Rektörlüğü Fen ve Mühendislik Bilimleri Etik Kurul Başkanlığı Tarafından 02,03,2020 tarihli, 47/2 sayılı kararı, 87432956/050,99/ sayı no ile Etik kurul Onayı alınmıştır.

2.2.1. Eko-psikolojiyi Etkileyen Faktörler ve Alt Faktörlerin Belirlenmesi

Konu ile ilgili çalışmalar incelendiğinde Eko-psikoloji yi etkileyen faktörlerin ayrı ayrı olarak ele alındığı ve bu faktörlerin tamamının bir arada değerlendirilerek bağımsız değişkenlerinin ve etki düzeylerinin ortaya konulduğu bir Eko-psikoloji ölçüm modelinin oluşturulmadığı görülmüştür. Yapılan literatür taramaları sonucu Eko-psikoloji kavramının psikolojik ve ekolojik faktörler ile birlikte bu faktörler üzerinde etkisi olan demografik faktörler, ekonomik faktörler, sosyal faktörler, çevresel faktörler, kişilik özellikleri ve yaşam memnuniyeti seviyesi olmak üzere birden fazla faktöre bağlı olduğu

gözlenmektedir. Gözlenen bu faktörler bağlamında bireylerin genel refah seviyelerinin, yaşanılan mekanların fiziksel yapısının ve manzarasının, mekanlar içerisindeki eşyaların renk-doku ve düzeninin, toprakla ve hayvanlarla uğraş durumlarının, doğayla birlikte yaşam ve doğaya ilgi boyutlarının, sosyal ilişkilerin, kültürel yapının, küresel güncel olaylar ile ilgilenme durumlarının, hayata bakış açılarının, doğaya ve diğer insanlara karşı gösterdikleri ahlaki sorumlulukların, ekolojik faktörler dışındaki huzur ve mutluluk kaynaklarının, yaşantılarından genel olarak mutlu olma durumlarının Eko-psikoloji üzerinde etkili olduğu sonucuna varılmaktadır [13, 23, 25, 28,29, 34]. Yapılan literatür incelemeleri sonucu Eko-psikolojiyi etkileyen 8 temel faktörün olduğu ve her bir faktörün Eko-psikoloji kavramına pozitif katkı yapabileceği var sayılmıştır [35,38,40, 41, 42, 44, 45, 46].

Kuramsal yapı

Araştırmada karmaşık ilişki yapılarının bir model yardımıyla açıklanmasında, gizil değişkenleri analiz etmede ve bir veya daha fazla değişken arasındaki ilişkinin boyutunu incelemede [51], gizli değişkenlerin, karmaşık yol diyagramlarının, eksik veri tahmini veya çoklu başarısızlık süreçlerinin dahil edilmesi gibi olanaklar sunan [52], tamamen teoriye dayalı olan ve gizil değişkenler seti arasında bir nedensellik yapısının var olduğunu kabul eden [53], genellikle birkaç değişkenin ve onlar arasındaki karşılıklı ilişkinin ölçülmesine olanak tanıyarak, bir veya daha fazla değişken arasındaki ilişkinin boyutunu ortaya koyabilen [54], Yapısal Eşitlik Modellemesi kullanılmıştır. Yöntemin temel özelliği, tamamen teoriye dayalı olması ve gizil değişkenler seti arasında bir nedensellik yapısının var olduğunu kabul etmesi şeklinde tanımlanmaktadır [53]. Temel olarak yapısal eşitlik analizinin amacı, önceden belirlenen ilişki örüntülerinin veri tarafından doğrulanıp doğrulanmadığını ortaya koymaktır [55].

Modelin varsayımları

Yapısal eşitlik modelinin varsayımlarını şu şekilde sıralamak mümkündür:

- 1-Gözlenen değişkenlerin çok değişkenli normal dağılıma sahip olduğu,
- 2-Gizil değişkenlerin çok değişkenli normal dağılıma sahip olduğu,
- 3-Gözlenen değişkenler ve gizil değişkenler arasında doğrusal ilişkilerin olduğu,
- 4- Aykırı değerlerin var olduğu,
- 5- Hata terimlerinin korelasyonsuz olduğu,
- 6- Çoklu doğrusal bağlantı sorununun olmadığı,
- 7-Yeterli örneklem büyüklüğünün olduğu varsayılmaktadır [49].

Araştırmalar sonucunda Eko-psikolojiyi etkileyen faktörler diğer bir söylemle Eko-psikoloji üzerinde etkili olan değişkenler Tablo 1. 'de verilmiştir.

Tablo 1. Eko-psikoloji üzerinde etkili olan değişkenler

| | |
|-------------------------|------------------------|
| 1. Demografik Faktörler | 5. Ekolojik faktörler |
| 2. Ekonomik faktörler | 6. Yaşam memnuniyeti |
| 3. Psikolojik faktörler | 7. Sosyal faktörler |
| 4. Çevresel faktörler | 8. Kişilik özellikleri |

Literatür araştırmaları sonucu ortaya konulan Psikolojik faktörler, Çevresel faktörler, Ekolojik faktörler, Yaşam memnuniyeti ve Sosyal faktörler üzerinde etkili olan gözlenebilen bağımsız değişkenler başlıklar halinde verilmiştir.

Psikolojik faktörleri etkileyen gözlenebilen bağımsız değişkenler

Özellikle içinde bulunduğumuz pandemi sürecinde insanların sağlıklı beden ve ruh haline sahip olma amacı ile doğaya ve doğala yakın yaşam biçimlerini tercih ettikleri bilinmektedir. Eko-psikolojinin amaçları arasında da insanları doğa ile psikolojik olarak birleştirerek zihin ve çevre arasındaki etkileşimi sağlamak, zihinsel sağlıkla doğanın birbirine bağlılığını açığa çıkarmak yer almaktadır [6]. Eko-psikoloji - ekoloji - psikoloji - doğa ve davranış üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde eko-psikoloji üzerinde etkili olduğu düşünülen psikolojik faktörlerin gözlenebilen değişkenleri Tablo 2.'de verilmiştir [14, 17,19, 37, 38, 43, 47, 49].

Tablo 2.Eko-psikolojiyi etkileyen psikolojik değişkenler

| |
|--|
| Doğayı anımsatan ışıklar (doğal) benim için önemlidir |
| Doğayı anımsatan sesler (doğal) benim için önemlidir |
| Doğayı anımsatan renkler (doğal) benim için önemlidir |
| Doğayı anımsatan tasarımlar (doğal) benim için önemlidir |
| Doğa ile iç içe olmak bende pozitif duygular oluşturuyor |
| Algılamada duyu organlarımın tamamını kullanırım |
| Duygusal olduğumu düşünüyorum |
| Ekip çalışması benim için önemlidir |
| Bireysel çalışmayı tercih ederim |
| Çevreme karşı vicdanen kendimi sorumlu hissederim |
| Verimli (üretken) bir kişiliğimin olduğunu düşünüyorum |
| Sömürücü (bencil) bir kişiliğimin olduğunu düşünüyorum |
| İstifçi bir kişiliğimin olduğunu düşünüyorum |
| Teacrübeye açık bir kişiliğimin olduğumu düşünüyorum |

Çevresel/Mekansal faktörleri etkileyen gözlenebilen bağımsız değişkenler

İnsan psikolojisi üzerinde çevresel faktörlerin etkilerinin ortaya konulduğu çalışmalar incelendiğinde, doğa manzaralarının, estetik değeri yüksek mekanların, doğa ile iç içe olan mekanların yaşam kalitesini arttırdığı, huzur ve sakinlik duygusu hissettirdiği görülmektedir [15,18, 21, 22, 24, 26, 27, 30,]. Çevrede bulunan ekolojik yapıların insanların algıları, duyguları, sağlık ve başarı durumları üzerinde etkili olduğu bilinmektedir [31, 32, 33, 36,

39, 45, 48, 50]. İncelenen araştırmalar doğrultusunda eko-psikolojiyi etkilediği düşünülen çevresel/mekansal faktörlere ilişkin oluşturulan bağımsız gözlenebilen değişkenler Tablo 3.'de verilmiştir.

Tablo 3.Eko-psikolojiyi etkileyen çevresel değişkenler

| |
|--|
| Ofisimde canlı bitki bulundururum |
| Evimde canlı bitki bulundururum |
| İmkânlarım ölçüsünde evimde evcil hayvan beslerim |
| Evimde doğayı anımsatan (doğal) renkler kullanırım |
| İş yerimde doğayı anımsatan (doğal) renkler kullanırım |
| Evimin doğa manzaralı olmasını tercih ederim |
| İşyerimin doğa manzaralı olmasını tercih ederim |
| Eşyalarımın doğal malzemelerden olmasına özen gösteririm |
| Yaşadığım yerde istediğim zaman yeşil alanlara kolaylıkla ulaşabiliyorum |
| Yaşadığım yerde hava kirliliğinin sağlığını etkilediğini düşünüyorum |
| Yaşadığım yerde su kirliliğinin sağlığını etkilediğini düşünüyorum |
| Yaşadığım yerde toprak kirliliğinin sağlığını etkilediğini düşünüyorum |

Ekolojik faktörleri etkileyen gözlenebilen bağımsız değişkenler

Ekoloji ve psikoloji kavramlarını bir arada ele alan çalışmalar incelendiğinde bahsi geçen çalışmaların insanların zihinsel ve psikolojik yıpranmalarına çözüm olarak doğa ile teması önerdikleri görülmektedir. Eko-psikolojinin felsefesini tanımlayan Roszak insanın bilinçdışında bulunan ve doğuştan sahip olduğu doğa-insan ilişkisini uyandırmanın Eko-psikolojinin amaçlarından biri olduğunu belirtmektedir. Bu bağlamda yapılan yazın taramaları sonucu Eko-psikoloji üzerinde etkili olduğu düşünülen ekolojik faktörlerin gözlenebilen değişkenleri Tablo 4.' de verilmiştir [7, 10, 11, 12, 28,40, 46, 56].

Tablo 4.Eko-psikolojiyi etkileyen ekolojik faktörler

| |
|---|
| İklim değişikliği konusunda duyarlıyım |
| Toprak benim için önemlidir |
| Atmosferdeki sera gazı yoğunluğuna bağlı sıcaklık artışları (Küresel ısınma) konusunda yeterince bilgiliyim |
| Ekolojik denge konusunda yeterince bilgiliyim |
| Çevremdeki insanları ekolojik dengenin korunmasına karşı uyarırım |
| Toprağın içerisinde yaşayan canlılara karşı kendimi sorumlu hissederim |
| Toprağın üzerinde yaşayan canlılara karşı kendimi sorumlu hissederim |
| Tarımsal üretim için kullanılan kimyasal gübrelere karşıyım |
| Hükümetlerin yenilenebilir enerji kaynaklarını daha çok desteklemeleri gerektiğine inanıyorum |
| Ağaçlandırma çalışmalarını destekliyorum |
| Yeşil alanların ekosistemdeki önemi hakkında yeterince bilgiliyim |

Yaşam memnuniyetini etkileyen gözlenebilen bağımsız değişkenler

Roszak'ın ortaya koyduğu Eko-psikoloji ye ilişkin kuralların temelinde insanın huzurunun ve mutluluğunun sağlanması düşüncesi bulunmaktadır [11]. Zihinsel sağlığın iyiliği üzerine doğanın, en az sosyal, kültürel ve yapısal faktörler kadar önemli olduğu belirtilirken, yalnızca zihinsel bir hastalık tanısı veya psikolojik rahatsızlık öyküsü olanlara değil, insanlar için daha genel anlamda refahın korunmasında ve iyileştirilmesinde doğanın rolüne odaklanmak gerektiği ifade edilmektedir. Doğa ile ilgili uğraşlar, beslenme türü gibi aktiviteler yaşam memnuniyetini etkileyen faktörler arasında yer almaktadır. Yaşam memnuniyeti-psikoloji-ekoloji-mutluluk ilişkisi doğrultusunda yapılan araştırmalar sonucu ekopsikoloji üzerinde etkili olduğu düşünülen yaşam memnuniyetini ölçmek amacı ile belirlenen gözlenebilen bağımsız değişkenler Tablo 5.'de verilmiştir [16, 19, 20, 25, 29, 35, 41, 43, 49].

Tablo 5. Eko-psikolojiyi etkileyen yaşam memnuniyeti değişkenleri

| Ailemle olan ilişkilerimden memnunum |
|--|
| Komşularıma güvenirim |
| Arkadaşlarıma güvenirim |
| Devletime güvenirim |
| İnsanların geneli güvenilirdir |
| Ülkemin gündemiyle ilgilenirim |
| Hayatımı bir bütün olarak incelediğimde, isteklerimi karşıladığımı düşünüyorum |
| Oturduğum konuttan memnunum |
| Oturduğum semtten memnunum |
| Çevremdeki yeşil alan sayısından memnunum |

Sosyal faktörleri etkileyen gözlenebilen bağımsız değişkenler

Tablo 6. Eko-psikolojiyi etkileyen sosyal değişkenler

| |
|---|
| Sosyal biri olduğumu düşünüyorum |
| Sosyal etkinliklere sıklıkla katılıyorum |
| Doğayla ilgili STK* üyeliğimin olmasını isterim |
| Medyada çevre konularına karşı duyarlıyım |
| Boş zamanlarımı park, bahçe, doğa içi rekreasyon alanları vb. alanlarda geçirmeyi tercih ederim |
| Boş zamanlarımı avm, cafe vb. alanlarda geçirmeyi tercih ederim |
| Boş zamanlarımda toprakla vakit geçirmeyi tercih ederim |
| Boş zamanlarımda evcil hayvanlarla vakit geçirmeyi tercih ederim |
| Doğa ile ilgili uğraşlarım vardır (Kampçılık, Doğa yürüyüşleri, vs.) |
| Doğal beslenmeye dikkat ederim |

Sosyal bir varlık olarak insanın varoluşundan şimdiye kadar kendi türü başta olmak üzere doğada bulunan tüm canlılar ve cansız varlıklar ile yoğun bir iletişim ve etkileşim içerisinde olduğu bilinmektedir. Yapılan araştırmalar insanın doğaya dayalı faaliyetlerinin yararlı yönlerinden biri olarak sosyal teması göstermekte, bazı araştırmacılar bir akıl sağlığı müdahalesi olarak doğayla uğraşmayı

incelediklerinde, bu tür uğraşların genellikle sosyal etkileşim için fırsatlar sağladığını da ortaya koymaktadır [23, 29, 34, 38, 42, 43, 44]. Doğa ile olan sosyal etkileşimler, doğaya sosyal temas ve Eko-psikoloji arasındaki ilişkiler incelendiğinde yapılan yazın taramaları doğrultusunda Eko-psikoloji üzerinde etkili olduğu düşünülen sosyal faktörleri ölçmek için belirlenen gözlenebilen bağımsız değişkenler Tablo 6.'da verilmiştir.

2.2.2. Anket Çalışmaları

Anket sorularının oluşturulması ve uygulanması 04.03.2020-30.01.2021 tarihleri arasında yapılmıştır. Elde edilen verilerin frekans (f) ve yüzde (%) analizlerinde SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) 26.0" istatistik programı kullanılmıştır. Eko-psikoloji Ölçüm Modelinin oluşturulması için Yapısal Eşitlik Modelinin kullanıldığı çalışmada faktör analizleri için yazılım materyali olarak "Lisrel (Linear Structural Relations) 8.72" programı kullanılmıştır. Oluşturulan anket formunda katılımcıların demografik ve ekonomik özelliklerine yönelik sorular açık uçlu sorular olarak, psikolojik özellikler, çevresel özellikler, ekolojik özellikler, yaşam memnuniyeti, sosyal özellikler ve kişilik ölçeği ise likert ölçeği yöntemi ile, "kesinlikle katılmıyorum 1", "katılmıyorum 2", "kararsızım 3", "katılıyorum 4", "kesinlikle katılıyorum 5" puanlama sistemine göre düzenlenmiştir. Veri toplama formunda yer alan "Demografik Faktörler ve "Ekonomik Faktörler" anket katılımcılarının kimliklerini belirlemeye yönelik olduğundan, ayrıca likert özellik taşımadığından ve Yapısal Eşitlik Modellemesinde eşit aralıklı ölçekler kullanılması gerektiğinden çalışmamızda Yapısal Eşitlik Modeline dahil edilmemiştir. Veri toplama formunda yer alan "10 Maddeli Kişilik Ölçeği"nin ise geçerliliği daha önceki psikoloji kapsamlı çalışmalarda test edildiğinden Yapısal Eşitlik Modeline dahil edilmemiştir. Yapılan bu düzenleme ile 5 faktör ve 57 değişken analizlere dahil edilmiştir.

2.2.3. Örneklem

Çalışma bölgesi olan Uşak ili Merkez, Banaz, Eşme, Ulubey, Sivaslı, Karahallı olmak üzere 6 ilçeden oluşmaktadır. TÜİK verilerine göre 2020 yılı Uşak ili nüfusu 369.433 olmaktadır [57].

Çalışmada evren içerisindeki bireylerin birbirinden bağımsız olarak örneklem içinde yer alma [58,59]. İmkânlarının olması nedeniyle tesadüfi örneklem stratejisi uygulanmıştır. Tesadüfi örneklem yöntemine göre uygulanması gereken anket sayısı %95 güvenilirlik sınırı ve %5 hata payı oranında çalışılacak şekilde aşağıdaki formülle hesaplanmış ve 484 olarak belirlenmiştir [60].

$$n = \frac{N \cdot S^2 \cdot t^2}{(N-1) \cdot d^2 + S^2 \cdot t^2} \quad (1)$$

n= Örnek hacmi
 N= Örnekleme çerçevesine ait toplam birim sayısı
 X= Ortalama (Geometrik)
 S= Standart sapma
 d = X * 0.10
 t = Güven sınırı

Adı geçen örneklem stratejisi aracılığıyla 195 katılımcı ile yapılan pilot çalışma sonucu anket formunda gerekli düzenlemeler yapılarak nihai hali oluşturulan form online ve yüz yüze görüşmeler sonucu hatalı-eksik-geçersiz formlarla karşılaşılabile durumuna karşı 585 yerel halka uygulanmış ve frekans analizi sonucu 555 geçerli anket elde edilmiştir.

3. Bulgular

3.1. Anket Verilerinin Analizi

Çalışmanın yürütüldüğü Uşak ilinde Eko-psikolojiyi etkileyen faktörlerin belirlenmesi amacı ile 555 katılımcıyla anket çalışması yapılmıştır. Katılımcıların demografik ve ekonomik özelliklerini yansıtan frekans (f) ve yüzde (%) analizleri yapılmıştır. Katılımcılara ilişkin demografik özellikler Tablo 7.'de ekonomik özellikler Tablo 8.'de verilmektedir.

Tablo 7. Katılımcıların Demografik Özelliklerine İlişkin Yüzde (%) ve Frekans (f) Analizi

| Değişkenler | Gruplar | f | % |
|---------------|-----------------------------|-----|------|
| Cinsiyet | Erkek | 276 | 49,7 |
| | Kadın | 279 | 50,3 |
| Medeni Durum | Evli | 230 | 41,4 |
| | Bekar | 325 | 58,5 |
| Yaş | 18 Yaş ve Altı | 25 | 4,5 |
| | 19-29 Yaş | 264 | 47,5 |
| | 30-39 Yaş | 126 | 22,7 |
| | 40-49 Yaş | 96 | 17,3 |
| | 50 Yaş ve Üstü | 44 | 7,9 |
| Eğitim | Okur-Yazar | 27 | 4,8 |
| | İlköğretim | 48 | 8,7 |
| | Lise | 109 | 19,6 |
| | Ön lisans | 166 | 29,9 |
| | Lisans | 120 | 21,6 |
| Konut Tipi | Yüksek Lisans | 45 | 8,2 |
| | Doktora | 40 | 7,2 |
| | Bahçeli çok katlı apartman | 191 | 34,4 |
| | Bahçesiz çok katlı apartman | 185 | 33,3 |
| | Bahçeli müstakil ev | 114 | 20,5 |
| Yerleşim Yeri | Bahçesiz müstakil ev | 65 | 11,7 |
| | İl | 278 | 50,1 |
| | İlçe | 189 | 34,1 |
| | Köy | 88 | 15,9 |

Katılımcılara yapılan veri toplama formlarında yer alan "Demografik Özellikler Belirlenmesi" bölümü değerlendirildiğinde katılımcıların %49,7'sini erkek, %50,3'ünü kadın bireylerden oluşurken medeni durumlarına bakıldığında, %41,4'ünü evli, %58,5'ini

bekar bireylerden oluştuğu görülmektedir. Katılımcıların yaş sınıflarına bakıldığında % 4,5'inin 18 yaş ve altı, % 47,5'inin 19-29 yaş, %22,7'sinin 30-39 yaş, %17,3'ünün 40-49 yaş, %7,9'unun 50 yaş ve üstü yaş gruplarında olduğu görülmüştür. Katılımcıların eğitim durumlarının ise %4,8'inin okur-yazar, %8,7'sinin ilköğretim, %19,6'sının lise, %29,9'unun ön lisans, %21,6'sının lisans, %8,2'sinin yüksek lisans ve %7,2'sinin doktora programından mezun oldukları şeklinde belirlenmiştir. Katılımcıların ikamet ettikleri yerlere bakıldığında, %50,1'inin ilde, %34,1'ini ilçede ve %15,9'unun da köyde ikamet ettikleri, %34,4'ünü bahçeli çok katlı apartmanda,, %33,3'ünü bahçesiz çok katlı apartmanda, %20,5'inin bahçeli müstakil evde ve %11,7'sinin de bahçesiz müstakil evde yaşadıkları belirlenmiştir.

Tablo 8. Katılımcıların Ekonomik Özelliklerine İlişkin Yüzde Analizi

| Değişkenler | Gruplar | (%) | |
|--|--|----------|------|
| Aylık Net Gelir | ≤ 2324 | 36,8 | |
| | 2325-3224 TL | 7,0 | |
| | 3225-4224 TL | 5,9 | |
| | 4225-5224 TL | 3,0 | |
| | 5225-6224 TL | 33,5 | |
| | ≥6225 TL | 13,7 | |
| Hane Halkı Aylık Net Gelir | ≤ 2324 | 18,9 | |
| | 2325-3224 TL | 15,9 | |
| | 3225-4224 TL | 8,8 | |
| | 4225-5224 TL | 8,6 | |
| | 5225-6224 TL | 21,8 | |
| | ≥6225 TL | 25,9 | |
| Gelir Seviyenizin Yeterli Olduğu Düşüncesi | Evet | 38,0 | |
| | Hayır | 62,0 | |
| | Gelirin En Fazla Hangi Alanda Harcandığı | Kira | 18,7 |
| | | Ulaşım | 13,5 |
| | | Beslenme | 27,7 |
| | Eğitim | 10,0 | |
| | Kıyafet | 26,0 | |
| | Tatil-Gezi | 4,0 | |
| | Diğer | - | |
| | Ev Sahibi Olma Durumu | Evet | 37,4 |
| Hayır | | 62,6 | |
| Araç Sahibi Olma Durumu | Evet | 42,9 | |
| | Hayır | 57,1 | |
| Sosyal Güvence | Bağkur | 14,0 | |
| | Emekli Sandığı | 9,6 | |
| | SSK | 35,8 | |
| | Özel Sağlık | 6,7 | |
| | Sigortası | - | |
| | Diğer | - | |
| Gelecek İçin Yatırım Yapma Durumu | Yok | 33,7 | |
| | Evet | 32,1 | |
| Yapma Durumu | Hayır | 67,9 | |

Veri toplama formunda yer alan "Ekonomik Özelliklerin Belirlenmesi" bölümü değerlendirildiğinde; aylık gelir düzeylerinin katılımcıların %36,8'inin 2324 tl ve daha az, katılımcıların %7'sinin 2325 tl - 3224 tl arasında, %5,9'unun 3225 tl - 4224 tl arasında , %3'ünün 4225 tl - 5225 tl arasında, %33,5'ini 5225 tl - 6224 tl arasında ve %18,9'unun ise 6225 tl ve üzerinde aylık gelire sahip olduğu, hane halkı net gelir düzeylerinde

ise katılımcıların %18,9'unun 2324 tl ve daha az, katılımcıların %15,9'unun 2325 tl - 3224 tl arasında, %8,8'inin 3225 tl - 4224 tl arasında, %8,6'sının 4225 tl - 5225 tl arasında, %21,8'inin 5225 tl - 6224 tl arasında ve %25,9'unun ise 6225 tl ve üzerinde aylık gelire sahip olduğu belirlenmiştir. Katılımcıların %38 i gelir düzeylerini yeterli bulduklarını belirtirken, % 62'si gelir düzeylerini yeterli bulmadıklarını belirtmişlerdir. Katılımcıların harcama dağılımlarının ise %27,7 beslenme, %26 kıyafet, %18 kira, %13,5 ulaşım, %10 eğitim ve %4 tatil- gezi olduğu gözlemlenmiştir. Katılımcıların %37,4'ü eve sahip olduklarını, % 62,6'sı eve sahip olmadıklarını, %42,9'u araç sahibi olduğunu, % 57,1'i araca sahip olmadığını belirtmiştir. Katılımcıların %33,7'sinin sosyal güvencesinin olmadığı %14'ünün Bağkur, %9,6'sının Emekli Sandığı, %35,8'inin Sosyal Sigortalar Kurumu, %6,7'sinin Özel Sağlık Sigortası sosyal güvence türüne sahip olduğu belirlenmiştir. Gelecek için yatırım yapabilme durumlarına bakıldığında katılımcıların %32,1'inin yatırım yaptığını katılımcıların %67,9'unun yatırım yapmadığı belirlenmiştir.

3.2. Eko-psikoloji ölçüm modelinin oluşturulması

Eko-psikoloji ölçüm modeli oluşturulmadan önce ölçeklerin yapı geçerliliğini ve içsel tutarlılığını belirleyebilmek amacıyla güvenilirlik analizlerinde en yaygın kullanılan yöntem olan Cronbach's Alpha katsayısı hesaplanmıştır. Cronbach alpha likert tipli ölçeklerde sıklıkla kullanılmaktadır. Cronbach alpha değerleri; $0 < \alpha < 0.40$ ise ölçek güvenilir değil, $0.40 \leq \alpha < 0.60$ ölçek düşük güvenilir, $0.60 \leq \alpha < 0.80$ oldukça güvenilir, $0.80 \leq \alpha < 1.00$ yüksek derecede güvenilir olarak değerlendirilmektedir [58, 60, 61]. Güvenirlilik sonuçları Tablo 9.'da verilmektedir.

Tablo 9. Model ve ölçeklere ilişkin güvenilirlik sonuçları

| Eko-psikolojinin Boyutları | Madde Sayısı | Cronbach's Alpha | Sonuç |
|----------------------------|--------------|------------------|-----------------------|
| Psikolojik Faktörler | 12 | 0,83 | Yüksek Güvenilirlikte |
| Çevresel Faktörler | 8 | 0,80 | Yüksek Güvenilirlikte |
| Ekolojik Faktörler | 9 | 0,81 | Yüksek Güvenilirlikte |
| Sosyal Faktörler | 7 | 0,71 | Oldukça Güvenilir |
| Yaşam Memnuniyeti | 7 | 0,74 | Oldukça Güvenilir |

Eko-psikolojinin boyutlarının güvenilirlik değerlerini gösteren Çizelge 9.'a bakıldığında psikolojik faktör boyutunun $\alpha=0,83$; ekolojik faktör boyutunun $\alpha=0,81$; çevresel faktör boyutunun $\alpha=0,80$ olması ilgili veri setlerinin yüksek derecede güvenilir olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte Sosyal faktör boyutunun $\alpha=0,71$ ve yaşam memnuniyeti boyutunun $\alpha=0,74$ olması ilgili veri setlerinin oldukça güvenilir olduğunu göstermektedir.

3.2.1. Eko-psikolojiyi etkileyen değişkenlere yönelik Açıklayıcı Faktör Analizine (AFA) İlişkin Bulgular ve Tartışma

Faktör analizinde öncelikli olarak her bir önermenin faktör analizine uygunluğunu test etmek için anti-image korelasyon matrisi kontrol edilmiş, hangi sorunun hangi faktör yükü ile ilgili olduğunun net bir şekilde ortaya konabilmesi için birleşik değişkenler, eksi yük alan değişkenler ve 0,30 değerinden düşük faktör yüküne sahip değişkenler sırayla analizden çıkarılmıştır [62]. Her değişken çıkarıldığında faktör analizi yenilenmiş anti-image korelasyon matrisi kontrol edilmiş 0,30 değerinden düşük bir değer ile karşılaşılmayana kadar bu işleme devam edilmiştir. Bu bağlamda Döndürülmüş Yüklemler Matrisi (rotated component matrix) tekrar incelenerek, analizden çıkarılacak önerme kalmayınca kadar işleme devam edilmiştir. Bu işlem sonucunda toplamda 14 değişken faktör analizi aracılığı ile çıkartılarak 43 değişken ile açıklayıcı faktör analizi test edilmiştir. Daha sonra varsayımsal yapıların (gizil değişken) gözlenen değişkenlerce nasıl tanımlandığını ve gözlenen değişkenlerin güvenilirlik ve geçerliliklerini gösteren ölçüm modeli tanımlanmıştır [63]. Eko-psikolojinin psikolojik, çevresel, ekolojik, sosyal ve yaşam memnuniyeti boyutlarına yönelik faktör yükü, faktör açıklayıcılığı ve faktör güvenilirliğine ilişkin analiz sonuçları Tablo 10.'da verilmektedir.

Ford, ve Tait, (1986); Hogarthy vd. (2005); Maccallum vd., (1999)' e göre Faktör yükleri faktörlerin kararlılığını belirtmektedir. Stevens (2002)' a göre, bir faktör yükünün minimum 0.30 olması gerekmektedir" [64]. Tablo 10.'da dönüştürülmüş yüklemler matrisi/faktör yükleri incelendiğinde tüm faktör yükü değerlerinin 0,30'dan büyük olduğu görülmektedir.

Tablo 10.'da Psikolojik özelliklere ilişkin dönüştürülmüş yüklemler matrisi/faktör yükleri incelendiğinde hiçbir değer 0,30'dan düşük olmadığı görülmektedir. Faktör değişkenlerinin psikolojik göstergeleri yansıttığı belirlendiğinden faktör "Psikolojik Faktörler" olarak isimlendirilmiştir. Doğaya yakın olmanın insan psikoloji üzerinde ki olumlu etkilerinden dolayı bazı ekolojik değişkenlerin (EK10, EK2), psikolojik değişkenler faktör yapısına karıştığı düşünülmektedir.

Tablo 10.'da ikinci boyutu oluşturan önermeler incelendiğinde ağırlıklı olarak çevresel faktörleri yansıttığı görülmüştür. Bu sebeple değişken "Çevresel Faktörler" olarak isimlendirilmiştir. Çevresel faktörlerin sadece doğal ve yapay çevre ile sınırlı kalmayıp sosyal çevreyi de kapsamından dolayı bazı yaşam memnuniyeti değişkenlerinin (YM1, YM6), çevresel Faktörler değişkenlerine dahil olduğu görülmektedir.

Tablo 10. Eko-psikoloji nin psikolojik, çevresel, ekolojik, sosyal ve yaşam memnuniyeti boyutlarına yönelik faktör analizi Döndürülmüş Yükleme Matrisi ve Ortak Varyans (Çıkartma Yöntemi: Temel Bileşenler Analizi. Döndürme Yöntemi: Varimax

| Faktör İsmi | İfadeler | Faktör Yüğü | Faktörün Açıklayıcılığı (%) | Faktörün Güvenirliğı (0.70≤α) |
|---|----------|-------------|-----------------------------|-------------------------------|
| Psikolojik | P3 | ,723 | 11,047 | 0,83 |
| | P5 | ,682 | | |
| | P4 | ,659 | | |
| | P2 | ,627 | | |
| | P1 | ,593 | | |
| | P6 | ,574 | | |
| | P10 | ,534 | | |
| | P14 | ,531 | | |
| | P7 | ,420 | | |
| | EK10 | ,392 | | |
| | P11 | ,386 | | |
| EK2 | ,366 | | | |
| Çevresel | C1 | ,695 | 10,075 | 0,80 |
| | C2 | ,606 | | |
| | C6 | ,601 | | |
| | YM1 | ,544 | | |
| | C7 | ,533 | | |
| | C5 | ,521 | | |
| | C4 | ,498 | | |
| | YM6 | ,483 | | |
| Ekolojik | EK6 | ,740 | 8,939 | 0,81 |
| | EK7 | ,649 | | |
| | C8 | ,608 | | |
| | EK4 | ,584 | | |
| | EK5 | ,543 | | |
| | EK1 | ,514 | | |
| | S3 | ,507 | | |
| EK3 | ,478 | | | |
| Sosyal | S1 | ,796 | 8,134 | 0,71 |
| | S2 | ,766 | | |
| | EK11 | ,517 | | |
| | S9 | ,510 | | |
| | S8 | ,497 | | |
| | S4 | ,347 | | |
| Yaşam memnuniyeti | C3 | ,312 | 7,675 | 0,74 |
| | YM4 | ,691 | | |
| | YM8 | ,618 | | |
| | YM7 | ,612 | | |
| | YM3 | ,587 | | |
| | YM9 | ,585 | | |
| YM10 | ,583 | | | |
| YM2 | ,539 | | | |
| Toplam: | | | 45,871 | |
| KMO: 0,817; Bartlett's Test of Sphericity: Approx. Chi-Square: 3754,639; Sig.: ,000 | | | | |

Tablo 10.'da üçüncü boyutu oluşturan önermelerin ağırlıklı olarak Ekolojik tercihleri yansıttığı görüldüğünden bu değişken "Ekolojik Faktörler" olarak isimlendirilmiştir. Doğa kavramının çevre kavramı ile olan yakın ilişkisinden ve sosyal özellikler üzerinde doğanın etkisinden dolayı bazı çevresel (C1,C8) ve sosyal değişkenlerin (S3) Ekolojik Faktörler boyutuna dahil olduğu görülmektedir.

Tablo 11.Eko-psikolojiyi Etkileyen Faktörleri Temsil Eden Değişkenlerin Dağılımı

| Değişkenler | Değişkenler |
|-------------|---|
| P3 | Doğayı anımsatan renkler (doğal) benim için önemlidir |
| P5 | Doğa ile iç içe olmak bende pozitif duygular oluşturuyor |
| P4 | Doğayı anımsatan tasarımlar (doğal) benim için önemlidir |
| P2 | Doğayı anımsatan sesler (doğal) benim için önemlidir |
| P1 | Doğayı anımsatan ışıklar (doğal) benim için önemlidir |
| P6 | Algılamada duyu organlarımın tamamını kullanırım |
| P10 | Çevreme karşı vicdanen kendimi sorumlu hissedirim |
| P14 | Tecrübeye açık bir kişiliğimin olduğumu düşünüyorum |
| P7 | Duyusal olduğumu düşünüyorum |
| EK1 | Ağaçlandırma çalışmalarını destekliyorum |
| P11 | Verimli (üretken) bir kişiliğimin olduğunu düşünüyorum |
| EK2 | Toprak benim için önemlidir |
| C1 | Ofisimde canlı bitki bulundururum |
| C2 | Evimde canlı bitki bulundururum |
| C6 | Evimin doğa manzaralı olmasını tercih ederim |
| YM1 | Ailemle olan ilişkilerimden memnunum |
| C7 | İşyerimin doğa manzaralı olmasını tercih ederim |
| C5 | İş yerimde doğayı anımsatan (doğal) renkler kullanırım |
| C4 | Evimde doğayı anımsatan (doğal) renkler kullanırım |
| YM6 | Ülkemin gündemiyle ilgilenirim |
| C1 | Toprağın içerisinde yaşayan canlılara karşı kendimi sorumlu hissedirim |
| EK6 | Toprağın üzerinde yaşayan canlılara karşı kendimi sorumlu hissedirim |
| EK7 | Eşyalarımın doğal malzemelerden olmasına özen gösteririm |
| C8 | Ekolojik denge konusunda yeterince bilgiliyim |
| EK4 | Çevremdeki insanları ekolojik dengenin korunmasına karşı uyarırım |
| EK5 | İklim değişikliği konusunda duyarlıyım |
| EK1 | Doğayla ilgili STK üyeliğimin olmasını isterim |
| S3 | Atmosferdeki sera gazı yoğunluğuna bağlı sıcaklık artışları (Küresel ısınma) konusunda yeterince bilgiliyim |
| EK3 | Hükümetlerin yenilenebilir enerji kaynaklarını daha çok desteklemeleri gerektiğine inanıyorum |
| S1 | Sosyal biri olduğumu düşünüyorum |
| S2 | Sosyal etkinliklere sıklıkla katılırım |
| EK1 | Yeşil alanların ekosistemdeki önemi hakkında yeterince bilgiliyim |
| S9 | Doğa ile ilgili uğraşlarım vardır (Kampçılık, Doğa yürüyüşleri, vs.) |
| S8 | Boş zamanlarımda evcil hayvanlarla vakit geçirmeyi tercih ederim |
| S4 | Medyada çevre konularına karşı duyarlıyım |
| C3 | İmkânlarım ölçüsünde evimde evcil hayvan beslerim |

| | | |
|-------------------|-----|--|
| YAŞAM MEMNUNİYETİ | YM4 | Devletime güvenirim |
| | YM8 | Oturduğum konuttan memnunum |
| | YM7 | Hayatımı bir bütün olarak incelediğimde, isteklerimi karşıladığımı düşünüyorum |
| | YM3 | Arkadaşlarıma güvenirim |
| | YM9 | Oturduğum semtten memnunum |
| | YM1 | Çevremdeki yeşil alan sayısından memnunum |
| | 0 | |
| | YM2 | Komşularıma güvenirim |

Tablo 10.'da 4. boyutun Sosyal tercihleri yansıttığı görüldüğünden bu değişken "Sosyal Faktörler" olarak isimlendirilmiştir. Sosyal yapıda bireylerin doğaya karşı davranışlarının Ekoloji, doğa bilimi, çevre hakkında bilgi düzeyleri ile ilişkili olabileceğinden dolayı Ekolojik değişkenlerden bazıları (EK11) ile, bireylerin diğer canlı varlıklarla ilişkisini içeren bazı çevresel (C3) tercihlerin Sosyal Faktörler boyutuna dahil olduğu düşünülmektedir.

Tablo 10.'da 5. boyutundaki önermelerin ağırlıklı olarak yaşam memnuniyet düzeyini yansıttığı görüldüğünden bu faktör "Yaşam Memnuniyeti" olarak isimlendirilmiştir.

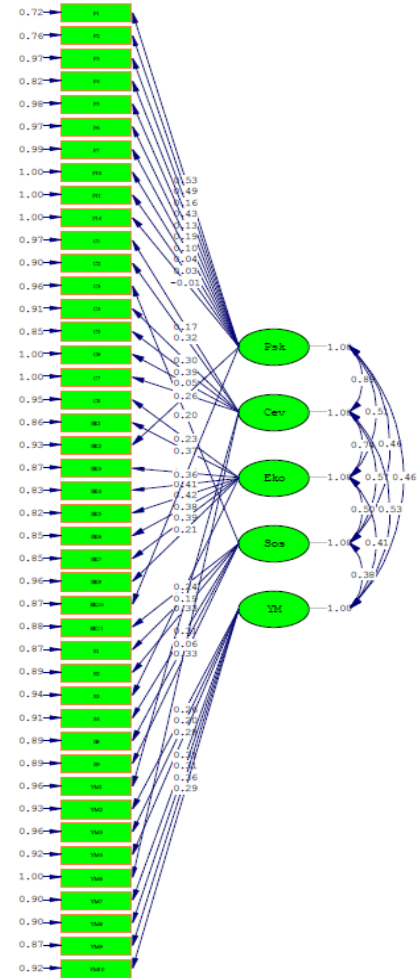
3.2.2. Eko-psikolojiyi etkileyen değişkenlere yönelik Doğrulayıcı Faktör Analizine (DFA) İlişkin Bulgular ve Tartışma

Doğrulayıcı faktör analizi (DFA) (Confirmatory Factor Analysis: CFA), önceden oluşturulan bir model aracılığıyla gözlenen değişkenlerden yola çıkarak gizil değişken oluşturmaya yönelik bir işlemdir. Genellikle ölçek geliştirme ve geçerlilik analizlerinde kullanılmakta veya önceden belirlenmiş bir yapının doğrulanmasını amaçlamaktadır [64]. Tablo 11.'de Eko-psikolojiyi etkileyen faktörleri gösteren değişkenlerin açıklayıcı faktör analizine göre dağılımları yansıtılmaktadır. Bu dağılımdan yola çıkılarak oluşturulan modelin doğruluğunu tespit etmek için Doğrulayıcı Faktör Analizi (DFA) yapılmıştır.

Eko-psikolojiyi etkileyen faktörler olan psikolojik faktörler, çevresel faktörler, ekolojik faktörler, sosyal faktörler ve yaşam memnuniyeti faktörleri ile Ekopsikoloji arasında yeterli ilişki olup olmadığının test edilmesi doğrulayıcı faktör analiziyle ortaya konulan model sonucu sağlanmıştır. Doğrulayıcı faktör analizi ile ilgili bulgulara ulaşabilmek amacıyla Lisrel veri analizi programı kullanılmış ve çalışmanın amacı doğrultusunda modelin birinci düzey ve ikinci düzey gösterimleri elde edilmiştir. Buna göre modelin psikolojik, çevresel, ekolojik, sosyal ve yaşam memnuniyeti boyutlarına ilişkin değişkenlerin dağılımı gösteren model Şekil 1.'de verilmektedir.

Şekil de DFA analiz sonuçlarına göre Eko-psikoloji nin etkileyen faktörler arasındaki ilişkinin dağılımı gösterilmektedir. Analiz sonuçları incelendiğinde ölçüm modelinin istatistiksel olarak kabul edildiği görülmektedir ($\chi^2/sd = 1040/850 = 1,22 < 5,00$, Schumacker ve Richard, 2004). Birinci düzey

doğrulayıcı faktör analizi sonuçlarına göre psikolojik faktörler, çevresel faktörler, ekolojik faktörler, sosyal faktörler ve yaşam memnuniyeti faktörlerinin Ekopsikolojinin alt faktörleri olarak kabul edilebilir olduğu görülmektedir.



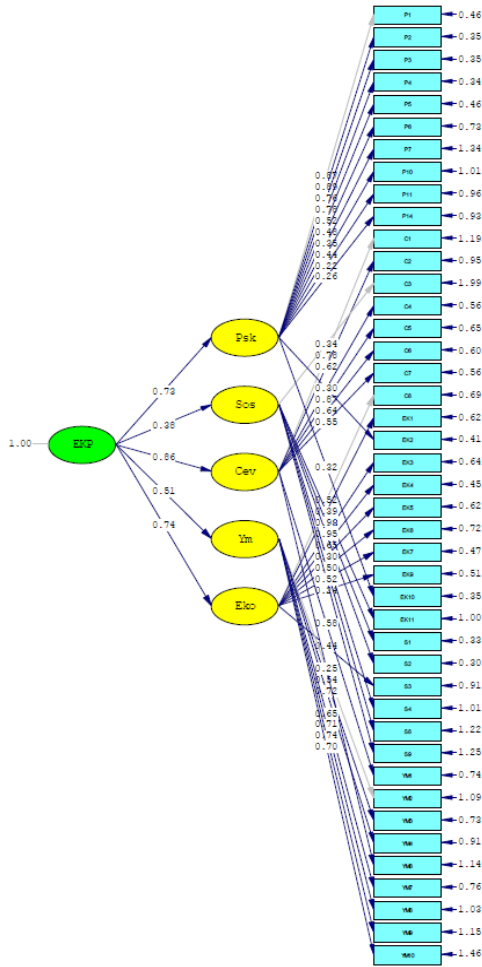
Şekil 1. Modelin birinci düzey gösterimi

Ölçüm modelinde bulunan beş faktörün, bu faktörleri oluşturan değişkenleri ile ilişkisini ortaya koymak amacıyla modelin ikinci düzey gösterimine ilişkin ikinci düzey doğrulayıcı faktör analizi yapılması gerekmektedir [51]. Modelin ikinci düzey gösterimine ilişkin yapılan doğrulayıcı faktör analizi sonucu Şekil 2.'de verilmektedir.

İkinci düzey doğrulayıcı faktör analizi sonuçları ekopsikolojiyi etkileyen en önemli boyutların sırasıyla "Çevresel boyut (C=0,86), Ekolojik Boyut (Ek=0,74), Psikolojik boyut (P=0,73), Yaşam memnuniyeti boyutu (Ym=0,51) ve Sosyal boyut (S=0,38) olduğu görülmektedir.

Model incelendiğinde beş boyutlu bir dağılımın ortaya çıktığı görülmektedir. Ancak modelin standartlaştırılmış yükler, t-değeri, R² ve ölçek uyum değerlerinin incelenmesi gerekmektedir. Tablo 12.'de gözlenen değişken ile bağlı olduğu gizil değişken arasındaki ilişki standartlaştırılmış yükler aracılığı ile incelenebilmektedir.

Doğrulayıcı faktör analizinde, yapının uygunluğu için model uygunluk ölçütlerinden Yaklaşık Hataların Ortalama Karekökü (Root Mean Square Error of Approximation) (RMSEA), Standartlaştırılmış Hata Kareleri Ortalamasının Karekökü (Standardized Root Mean Square Residual) (SRMR), Uyum İyiliği İndeksi(Goodness of Fit Index)(GFI), Düzeltilmiş Uyum İyiliği İndeksi(Adjusted Goodness of Fit Index)(AGFI), Karşılaştırılmalı Uyum İndeksi (Comparative Fit Index)(CFI), Normlaştırılmış Uyum İndeksi (Normed Fit Index) (NFI) değerleri dikkate alınmıştır. İncelenen modelin uyum ölçekleri değerlendirildiğinde, modelin bütünsel olarak anlamlı olduğu görülmektedir [51]. Tablo 13.'de Ölçüm modeli uyum ölçütü verilmektedir.



Şekil 2. Boyutlarına göre Eko-psikoloji ölçüm modeli ve standart değerleri.

Tablo 12. Ölçüm modeli sonuçları

| Faktör | Değişken | Standartlaştırılmış yükler | T -değeri | R ² | |
|----------------------|-------------------|----------------------------|-----------|----------------|------|
| Psikolojik Faktörler | P3 | 0.76 | 19.91 | 0.62 | |
| | P5 | 0.52 | 14.58 | 0.37 | |
| | P4 | 0.78 | 20.21 | 0.64 | |
| | P2 | 0.89 | 21.30 | 0.82 | |
| | P1 | 0.87 | 13.84 | 0.62 | |
| | P6 | 0.48 | 11.51 | 0.24 | |
| | P10 | 0.44 | 9.32 | 0.16 | |
| | P14 | 0.26 | 5.86 | 0.67 | |
| | P7 | 0.35 | 6.51 | 0.70 | |
| | EK10 | 0.32 | 11.23 | 0.23 | |
| Çevresel Faktörler | P11 | 0.22 | 4.92 | 0.47 | |
| | EK2 | 0.30 | 9.88 | 0.18 | |
| | C1 | 0.78 | 15.23 | 0.34 | |
| | C2 | 0.62 | 10.25 | 0.29 | |
| | C6 | 0.64 | 11.61 | 0.41 | |
| | YM1 | 0.58 | 10.53 | 0.31 | |
| | C7 | 0.55 | 11.00 | 0.35 | |
| | C5 | 0.87 | 12.72 | 0.56 | |
| | C4 | 0.84 | 12.87 | 0.54 | |
| | YM6 | 0.25 | 4.82 | 0.51 | |
| Ekolojik Faktörler | EK6 | 0.70 | 10.73 | 0.41 | |
| | EK7 | 0.54 | 10.58 | 0.39 | |
| | C8 | 0.52 | 15.54 | 0.28 | |
| | EK4 | 0.65 | 11.28 | 0.48 | |
| | EK5 | 0.82 | 11.50 | 0.52 | |
| | EK1 | 0.58 | 10.26 | 0.35 | |
| | S3 | 0.44 | 8.09 | 0.18 | |
| | EK3 | 0.66 | 10.71 | 0.40 | |
| | EK9 | 0.24 | 6.53 | 0.11 | |
| | S1 | 0.98 | 5.19 | 0.82 | |
| Sosyal Faktörler | S2 | 0.95 | 5.19 | 0.75 | |
| | EK11 | 0.39 | 4.49 | 0.13 | |
| | S9 | 0.52 | 4.67 | 0.18 | |
| | S8 | 0.50 | 4.65 | 0.17 | |
| | S4 | 0.30 | 4.11 | 0.76 | |
| | C3 | 0.34 | 16.51 | 0.54 | |
| | Yaşam Memnuniyeti | YM4 | 0.72 | 8.42 | 0.32 |
| | | YM8 | 0.71 | 8.24 | 0.33 |
| | | YM7 | 0.65 | 8.37 | 0.35 |
| | | YM3 | 0.54 | 7.94 | 0.28 |
| YM9 | | 0.74 | 8.18 | 0.36 | |
| YM10 | | 0.70 | 7.70 | 0.25 | |
| YM2 | | 0.53 | 15.34 | 0.20 | |

Tablo 13. Ölçüm modeli uyum ölçekleri

| Uyum Ölçüsü | İyi Uyum | Kabul Edilebilir | Değeri | Uyum |
|---------------------|----------------------------|-----------------------------|--------|------------------|
| $\chi^2 / (sd=850)$ | $0 \leq \chi^2 \leq 2sd$ | $2sd \leq \chi^2 \leq 3sd$ | 1,22 | İyi Uyum |
| RMSEA | $0 \leq RMSEA \leq 0,05$ | $0,05 \leq RMSEA \leq 0,08$ | 0,02 | İyi Uyum |
| SRMR | $0 \leq SRMR \leq 0,05$ | $0,05 \leq SRMR \leq 0,10$ | 0,05 | İyi Uyum |
| NFI | $0,95 \leq NFI \leq 1,00$ | $0,90 \leq NFI \leq 0,95$ | 0,98 | İyi Uyum |
| NNFI | $0,97 \leq NNFI \leq 1,00$ | $0,95 \leq NNFI \leq 0,97$ | 0,96 | Kabul Edilebilir |
| CFI | $0,97 \leq CFI \leq 1,00$ | $0,95 \leq CFI \leq 0,97$ | 0,96 | Kabul Edilebilir |
| GFI | $0,95 \leq GFI \leq 1,00$ | $0,90 \leq GFI \leq 0,95$ | 0,92 | Kabul Edilebilir |
| AGFI | $0,90 \leq AGFI \leq 1,00$ | $0,85 \leq AGFI \leq 0,90$ | 0,91 | İyi Uyum |

4. Tartışma ve Sonuç

Ölçüm modeli çıktılarında standardize edilmiş faktör yük değerleri incelendiğinde "Psikolojik Faktörler" boyutunun en çok P2 gözlenen değişkeni tarafından açıklandığı (0,89), P2 gözlenen değişkeninin Eko-psikoloji ile psikolojik özellikler arasındaki ilişkiyi en yüksek oranda açıkladığı görülmektedir. Diğer bir ifade ile "Doğayı anımsatan sesler (doğal) benim için önemlidir" değişkeni psikolojik faktör boyutunun en önemli değişkeni olmaktadır. Lenders vd., (1991); Strenberg (2009) çalışmalarında doğadaki seslerin rahatlatıcı etkisi ortaya konularak, doğadaki seslerin kayıt altına alınması suretiyle uyku sorunu çeken ve kulağında çınlama sorunu olan hastaların tedavi edilmesinde kullanıldığını belirtilmiştir. Aynı çalışmalarda yağmur sesi, deniz dalgalarının sesi ve akan bir derenin sesi gibi aynı ton ve yoğunlukta tekrar eden seslerin de rahatlatıcı etkileri ortaya konulmuştur [65]. Açık havada, doğal ya da doğala benzer ortamlarda bulunmanın, su sesini, kuş sesini dinlemenin sağlığı geliştirdiği, stres ve endişeyi azalttığı yapılan çalışmaların sonuçları arasında bulunmaktadır. [66, 67, 68, 69, 70]. Ayrıca suyun teskin edici sesinin terapi sağlayan özelliği olduğu bilinmektedir [68, 69, 70]. Ağaç kozalaklarının hava sıcaklığının artmasına bağlı olarak çatırdama seslerinin, rüzgarın etkisiyle yaprak hışırdama seslerinin ve arı sesinin de duyma duyusunu uyatarak bireyde hoş uyarılar gerçekleştirdiği bilinmektedir [71]. Yapılan bu çalışmalar araştırma sonucumuzu destekleyen nitelikler taşımaktadır.

Ölçüm modeli çıktılarında standardize edilmiş faktör yük değerleri incelendiğinde "Çevresel Faktörler" boyutunun en çok (C5) gözlenen değişkeni tarafından açıklandığı(0,87), işyerinde doğayı anımsatan renkler kullanma eğiliminde olan bireylerin bu tercihlerinin Eko-psikoloji üzerinde etkili olan çevresel faktörleri açıklamaya yüksek katkı sağladığı, bu tercih ile Eko-psikoloji arasında güçlü bir ilişki bulunduğu görülmektedir. Diğer bir ifade ile "İş yerimde doğayı anımsatan (doğal) renkler kullanırım" değişkeni çevresel faktörler boyutunun en önemli değişkeni olmaktadır. Kaplan (1993)'ın iş yerlerinin doğal ortamlara yakınlığının göz ardı edildiğini belirterek, işyerlerinde doğaya açılan bir pencere veya iş yerlerinde bitkilere temasın dahi çalışanların refahına katkı sağladığını belirttiği "İş Yeri Bağlamında Doğanın Rolü" konulu çalışması, Dravigne vd. (2008)'de bitki ve pencereleri olan ofislerde çalışanların, işleri ve yaptıkları işler hakkında kendilerini daha iyi hissettiklerini ortaya koyan "Canlı bitki ve yeşil alanlı pencere görünümünün çalışanların iş tatmini algıları üzerindeki etkisi" konulu çalışması ve Khan vd. (2005)'in uygun iç mekan bitkileri ile düzenlenmiş sınıfların akademik performansını arttırdığı sonucuna varılan "İç mekan bitki düzenlemesinin kapalı akademik çevreye etkileri" çalışmaları araştırma sonucunu desteklemektedir.

Ölçüm modeli çıktılarında standardize edilmiş faktör yük değerleri incelendiğinde "Ekolojik Faktörler" boyutunun en çok (EK5) gözlenen değişkeni tarafından açıklandığı (0,82), iklim değişikliği konusunda duyarlı olma değişkeninin Eko-psikoloji üzerinde etkili olan ekolojik özellikler faktörünü yüksek oranda açıkladığı görülmektedir. Diğer bir ifade ile "İklim değişikliği konusunda duyarlıyım" değişkeni Ekolojik Faktörler boyutunun en önemli değişkeni olmaktadır. İnsanlar üzerinde iklim değişikliğinin fiziksel sağlık sorunlarına neden olabileceği gibi depresyon, anti sosyal davranış ve intihar eğilimi gibi rahatsızlıklara da yol açabileceği düşünülmektedir [72]. İklim değişikliğine bağlı olarak psikolojik rahatsızlıklar depresyon, anksiyete, uyku zorluğu, anti -sosyallik, stres bozukluğu, alkol veya uyuşturucu madde bağımlılığı olmak üzere bireyin ruhsal haline göre değişiklik göstererek ortaya çıkabilmektedir [73,74]. Berry vd. (2010)'ne göre iklim değişikliğinin doğrudan olmayan psikolojik sonuçları ise iklimsel değişiklikler nedeni ile yaşanan mekandan uzaklaşmanın bir sonucu olarak sosyal ve fiziksel altyapının zarar görmesi, fiziksel sağlık etkileri, su ve gıda kıtlığı şeklinde görülebilmektedir [74]. İklim değişikliklerinin neden olabileceği tüm bu olumsuzluklar göz önüne alındığında, insanlığın doğanın etki -tepki prensibine karşı ekolojik/ekolojilere uyumlu bir yaşam biçimini sürdürmek zorunda kaldığı ortaya çıkmaktadır [75]. Yapılan araştırmalar insan sağlığı ve varlığının sürdürülebilirliği için son derece önemli olan iklim değişikliğinin 21. yüzyılın en çok üzerinde durulan, tartışılan konusu olduğunu göstermektedir. Konu ile ilgili yapılan çalışmalar değerlendirildiğinde, insanların iklim değişikliği ile ilgili duyarlı olma tercihleri ile Eko-psikoloji yi etkileyen ekolojik faktörler değişkeni arasındaki güçlü ilişkinin desteklenir nitelikte olduğu görülmektedir.

Ölçüm modeli çıktılarında standardize edilmiş faktör yük değerleri incelendiğinde "Sosyal faktörler" boyutunun en çok (S1) gözlenen değişkeni tarafından açıklandığı (0,98), sosyal boyut içerisinde en önemli faktörün "Sosyal biri olduğumu düşünüyorum" faktörü olduğu, sosyal olan bireylerin sahip oldukları bu yapının Eko-psikoloji ile sosyal faktörler arasındaki ilişkiyi açıklama bağlamında yüksek katkı sağladığı görülmektedir. Diğer bir ifadeyle "Sosyal biri olduğumu düşünüyorum" değişkeni Sosyal özellikler boyutunun en önemli değişkeni olmaktadır. Akıl sağlığı müdahalesi olarak doğayla uğraşmayı inceleyen Clatworthy, Hinds ve Camic gibi bazı araştırmacıların doğaya dayalı uğraşların genellikle sosyal etkileşim için fırsatlar sağladığını ve bu nedenle zihinsel sağlık sorunları yaşayan insanlar için aidiyet ve sosyal katılımı artırma konusunda kilit bir rol oynadığını ortaya koyduğu "Ruh Sağlığının İyileştirilmesi ve Doğa: Sosyal ve Kişisel Dinamikler Ne Kadar Önemlidir?" konulu çalışması [44], Grenway (2009)'in Eko-psikoloji yi sosyal bir hareket olarak tanımladığı "Eko-psikoloji VI Tanımlamak"

konulu araştırması ve Oishi vd. (2007)'de yaptıkları "Optimum refah seviyesi: İnsanlar çok mutlu olabilir mi?" konulu çalışmalarında insanlarla yakın ilişki kuran bireylerin gönüllü faaliyetlere katılım açısından en başarılı insanlar olduğunu ve bu insanların en yüksek düzeyde mutluluğa sahip olduğunu ortaya koyan çalışmaları araştırma sonucunu desteklemektedir.

Ölçüm modeli çıktılarında standardize edilmiş faktör yük değerleri incelendiğinde "Yaşam Memnuniyeti" boyutunun en çok (YM9) gözlenen değişkeni tarafından açıklandığı (0,74), oturduğu semtten memnun olan bireylerin bu durumlarının Eko-psikoloji üzerinde etkili olan yaşam memnuniyeti faktörünü açıklama bağlamında yüksek katkı sağladığı görülmektedir. Diğer bir ifade ile "Oturduğum semtten memnunum" değişkeni Yaşam Memnuniyeti boyutunun en önemli değişkeni olmaktadır. Galindo ve Rodriquez (2000)'in fiziksel ortamların zevk ve uyarılma boyutunda duygusal açıdan önemli bir rol oynadığını ortaya koyan "Çevresel Estetik Ve Psikolojik Refah: Kentsel Manzaralar İçin Tercih Yargulamaları ile Diğer İlgili Etkileyen Tepkiler Arasındaki İlişkiler" başlıklı çalışması, yaşam memnuniyeti değişkenlerinden olan bireylerin yaşadıkları çevreden memnun olma durumları ile Eko-psikoloji arasında güçlü bir ilişki olduğunu destekler niteliktedir.

Eko-psikoloji kavramı, genel olarak insan psikolojisi ile doğal süreçleri temsil eden ekolojiyi birleştiren bir olgudur. Eko-psikoloji kavramı kendini doğadan soyutlayan bireyin içsel (düşünsel, duygusal ve zihinsel) olarak mutsuz olduğunu savunmaktadır. Bu bağlamda bireyin yaradılışından gelen doğayla birlikte, doğaya saygı içerisinde yaşama iç güdüsünün uyandırılması Eko-psikoloji kavramının amacını oluşturmaktadır. Bu amaç gerçekleştirildiği takdirde insanların psikolojik olarak iyi olma durumlarının sağlanmasının yanı sıra doğanın sürdürülebilirliğinin de güvence altına alınmış olacağı düşünülmektedir. Bu bağlamda Eko-psikolojiyi etkileyebilecek faktörlerin ve değişkenlerinin belirlenmesi ve etki düzeylerinin ortaya konulması doğanın ve insan sağlığının korunmasına ve sürdürülebilirliğine önemli katkı sağlayacağı öngörülmektedir.

Yapılan çalışma sonucunda "**Eko-psikoloji Ölçüm Modeli**" oluşturulmuştur. İlk olarak oluşturulan bu model ile eko-psikolojinin belirlenen boyutlarıyla ölçülebilmesi amaçlanmış olup konu ile ilgili yapılacak araştırmalara önemli bir referans niteliği taşımaktadır.

Model oluşturma sürecinde kullanılan modelde bağımlı dışsal gizil değişken Eko-psikoloji olarak belirlenmiştir. Boyutlarına göre Eko-psikoloji Ölçüm Modeli'nde gözlenen değişkenler Psikolojik faktörler (Psk=0.73), Çevresel faktörler (Çev= 0.86), Ekolojik

faktörler (Ek=0.74), Yaşam Memnuniyeti (Ym=0,51) ve Sosyal faktörlerden (S=0,38) oluşmaktadır.

Oluşturulan ölçüm modelinde her bir gözlenen değişken ile ilişkili olduğu gizil değişken arasındaki korelasyonu gösteren diğer bir deyişle gözlenen değişken ile bağlı olduğu gizil değişken arasındaki ilişkinin incelenbildiği standartlaştırılmış yükler değerlendirildiğinde;

- "İş yerimde doğayı anımsatan (doğal) renkler kullanırım (C5)" değişkeninin Çevresel Özellikler Faktörünü (0,87),
- "İklim değişikliği konusunda duyarlıyım (EK5)" değişkeninin Ekolojik Özellikler Faktörünü (0,82),
- "Doğayı anımsatan sesler (doğal) benim için önemlidir (P2)" değişkeninin Psikolojik Özellikler faktörünü (0,89),
- "Oturduğum semtten memnunum (YM9)" Yaşam Memnuniyeti faktörünü (0,74),
- "Sosyal biri olduğumu düşünüyorum (S1)" değişkeninin Sosyal Özellikler Faktörünü (0,98) açıkladığı görülmüştür.

Ortaya konulan güvenilirliği ve geçerliği test edilmiş olan "Eko-psikoloji Ölçüm Modeli" farklı kentlerde, farklı ülkelerde, farklı bölgelerde, Eko-psikoloji ile ilgili yapılacak olan çalışmalarda kullanılabilir. İnsanların doğa ile etkileşim halinde daha sağlıklı bir yaşam sürdürebilmeleri bakımından Eko-psikolojiyi etkileyen faktörler ve etki düzeyleri göz önünde bulundurularak politikalar geliştirilebilir. Bu sayede insan sağlığına katkıda bulunmakla birlikte doğanın tahrip edilmesinin de önüne geçileceği düşünülmektedir.

Eko-psikoloji kavramı ve ilkelerinin temel alınması ile hazırlanan tasarım ve projelere eğitim öğretim kurumları, merkezi-yerel yönetimler ve destekleyici kuruluşlar tarafından öncelik, teşvik veya ödül verilmesi dahilinde tasarım ve projelerde Eko-psikoloji k yaklaşımlar ön plana çıkarılabilecektir.

Kendini geliştiren, çevresini değiştirerek ve geliştirerek diğer bireylere emsal olan bireyler farkındalığı en yüksek düzeyde olan bireyler olarak tanımlanmaktadır [76]. Bu bağlamda, Eko-psikoloji kavramının öneminin ve ilkelerinin yaygınlaştırılması için farklı disiplinlerle Eko-psikoloji arasındaki ilişki göz önünde bulundurularak, eğitim-öğretim kurumlarında farklı alanlarda Eko-psikoloji ye yönelik öğretim tasarımları, ders planları hazırlanabilir ve bu sayede Eko-psikoloji k farkındalık ve bilinçlenme süreçleri gerçekleştirilebilecektir. Bu aşama Eko-psikoloji nin insan psikolojisi üzerindeki etkileri ön plana çıkartılarak talep etme veya "istekte bulunma" ile başlayan farkındalık ve bilinçlenme sürecinin gerçekleştirilmesi mümkün hale gelebilecektir.

Etik Beyanı

Bu çalışmada, "Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi" kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin "Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler" başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederiz.

Bu çalışmada T.C. Süleyman Demirel Üniversitesi Rektörlüğü Fen ve Mühendislik Bilimleri Etik Kurul Başkanlığı Tarafından 02.03.2020 tarihli, 47/2 sayılı kararı, 87432956/050,99/ sayı no ile Etik kurul Onayı alınmıştır.

Kaynakça

- [1] Gül, A , Türker H.B., 2014. Farkındalık ve bilinçlenme süreçleri kapsamında, doğa koruma-etik ilişkisi. SDÜ II. Uluslararası Davraz Kongresi (29-31 Mayıs 2014) Küresel Sorunlar ve Çözüm Arayışları. Bildiriler Kitabı. s.1745-1778. Isparta. ISBN: 978-9944-452- 82-3.
- [2] Gül, A., Uzun, Ö. F., Keleş, E., 2017. Doğa ve Peyzaj Farkındalığında Söylem ve Eylem Boyutu. Uluslararası Katılımlı 6. Peyzaj Mimarlığı Kongresi (Söylem Eylem) Bildiri Kitabı, II Cilt. 8-11 Aralık 2016. S.439-465, Antalya. ISBN: 978-605-01-1040-1
- [3] Metin, A. E. ve Gül, A. 2020a. Türkiye'de Çevre Etiğinin Yasal Ve Kamusal Çerçevesi. Siirt Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 8 (16), s. 252-268.
- [4] Metin, A.E., Gül, A., 2020b. Doğa Korumada Nudge Teorisinin Uygulanabilirliği. II. Uluslararası 29 Ekim Bilimsel Araştırmalar Sempozyumu 29-31 Ekim 2020/Ankara s.144-156. ISBN-978-625-7279-12-3
- [5] Gül, F., 2013. İnsan-Doğa İlişkisi Bağlamında Çevre Sorunları Ve Felsefe. Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, Sayı 14. Sayfa: 17-21.
- [6] Weaver, S., 2015. Nature-Based Therapeutic Service: The power of Love in Helping and Healing. Journal of Sustainability Education Vol. 9. ISSN: 2151-7452.
- [7] Dindaroğlu, T., Zengin, M., Akay, A E., 2013. Küresel İklim Değişikliği İle Mücadelede Orman Kaynaklarının Planlanmasına Bazı Ekolojik, Eko-psikoloji k Ve Ekosyolojik Yaklaşımlar. Ormancılıkta Sektörel Planlamanın 50, Yılı Uluslararası Sempozyumu Bildiriler Kitabı. 26- 28 Kasım Antalya s466-478
- [8] Brown, R.L., 1995. Ecopsychology and the environmental lrevolution: An environmental forward.(http://www.psichenatura.it/fileadmi n/img/L_E_Brown_Ecopsychology_and_the_Environmenta l_Revolution.pdf)
- [9] Greenway, R., 2009. Defining EP, Part 2. Gatherings: Journal of the International Community for Ecopsychology, http://www.Ecopsychology.org/gatherings/ecology-psychology-defining-ep/
- [10] Woodbury, Z., Chalquist, C., 2012. Quantum Ecopsychology: Collapsing the Wave of Future Possibilities. Ecopsychology, Dec.18, 2012
- [11] Ayaz, H., 2014. Çevreci Eleştiri Üzerine Genel Bir Değerlendirme. Uluslararası Türkçe Edebiyat Kültür Eğitim Dergisi Sayı: 3/1. Sayfa: 278-292.
- [12] Yürcü, G., 2016. Rekreasyon Faaliyetlerine Katılan Bireylerin Kişilik Özelliklerinin Eko-psikoloji Algılarına Etkisi. Journal of Recreation and Tourism Research. 3 (2), 23-35
- [13] Cohen, S., Evans, G. W., Stokols, D., Krantz, D. S., 1986. Behavior, health, and environmental stress. New York. 1986. (E-book)
- [14] Gürkaynak, İ., 1988. Çevresel Psikoloji: Doğası, Tarihçesi, Yöntemleri. Ankara Üniversitesi Eğitim Bilimleri Fakültesi Dergisi 21 (1), 1-9.
- [15] Kaplan, R. and Kaplan, S., 1989. The Experience of Nature: A Psychological Perspective. Cambridge University Press, New York.
- [16] Coleman, J. S., 1990. Foundations of social theory. Cambridge: Harvard University
- [17] Erkök, F., 1992. 'Giriş Mekânlarının Değerlendirilmesi. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [18] Kaplan, R., 1993. The Role Of Nature In The Context Of The Workplace. Landscape And Urban Planning. 26, 193-201. Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam.
- [19] Myers, D. G., Diener, E., 1995. Who is Happy? Psychological Science, Vol. 6, No. 1 (Jan., 1995). 10-19.
- [20] Veenhoven, R. 1996. Developments in satisfaction research. Social Indicators Research, 37(1).
- [21] Fjeld, T., Veiersted, B., Sandvik, L., Riise, G., Levy, F., 1998. The effect of indoor foliage plants on health and discomfort symptoms among office workers. Indoor and Built Environment, 7, 204-209.
- [22] Galindo, P., Rodriquez, C.A.S., 2000. Environmental Aesthetics And Psychological Wellbeing: Relationships Between Preference Judgements For Urban

- Landscapes And Other Relevant Affective Responses. *Psychology in Spain*, 2000, Vol. 4. No 1, 13-27
- [23] Clayton, S., Opatow, S., 2003. Identity and the natural environment: The psychological significance of nature. Cambridge: The MIT Press. London, England
- [24] Khan, A.R., Younis, A., Riaz, A., Abbas, M.M., 2005. Effects of interior plantscaping on indoor academic environment. *Journal of Agricultural Research*, 43, 235-242.
- [25] Maller, C., Townsend, M., Pryor, A., Brown, P., Leger, L., 2006. "Healthy nature healthy people: 'Contact with nature' as an upstream health promotion intervention for populations". *Health Promotion International*. Vol. 21, No.1. 45-54.
- [26] Bilgi, A., 2007. İnsan-Mekan-Işık Etkileşimi ve Işığın Mekandaki Psikolojik Etkilerinin Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, YÜTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [27] Dravigne, A., Waliczek, T. M., Lineberger, R. D., Zajicek, J. M., 2008. The effect of live plants and window views of greenspaces on employee perceptions of job satisfaction. *Hort Science*, 43, 183-187.
- [28] Greenway, R., 2009. Defining EP, Part 2. Gatherings: *Journal of the International Community for Ecopsychology*. Erişim Tarihi: 08.08.2019 (<http://www.Ecopsychology.org/gatherings/ecology-psychology-defining-ep/>)
- [29] Şeker, M., 2009. Mutluluk Ekonomisi. İstanbul Üniversitesi Sosyoloji Konferansları Dergisi, Sayı: 39, pp: 115-134.
- [30] İnceoğlu, M., 2010. 'Tutum, Algı ve İletişim. Beykent Üniversitesi Yayınları, 5. Baskı, Yayın No:69. ISBN No:978-975-6319-08-6. İstanbul
- [31] Kavak, M., 2010. 'Evrensel Tasarım Yaklaşımı Bağlamında Kamusal Mekânlar: Harbiye Kongre Vadisi Örneği. Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kentsel Sistemler Ve Ulaştırma Yönetimi Yüksek Lisans Tezi.
- [32] Yazıcıoğlu H.Z., 2010, Kentsel Mekân Olarak Caddelerin Mekânsal Karakterinin Yürünebilirlik Bağlamında İrdelenmesi Bağdat Caddesi Örneği. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [33] Bringslimark, T., Hartig, T., & Patil, G., 2011. Adaptation To Window lessness: Do Office Workers Compensate For A Lack Of Visual Access To Outdoors? *Environment And Behavior*, 43(4) 469-487.
- [34] Gonzalez, M. T., Hartig, T., Patil, G. G., Martinsen, E. W., Kirkevold, M., 2011. A Prospective Study Of Group Cohesiveness In Therapeutic Horticulture For Clinical Depression. *International Journal of Mental Health Nursing*, 20, 119-129
- [35] Leung, A., Kier, C., Fung, T., Fung, L., & Sproule, R., 2011. Searching for happiness: The importance of social capital. *Journal of Happiness Studies*, 12(3), 443-462.
- [36] Raanaas, R.K., Evensen, K.H., Rich, D., Sjøtrom, G., Patil, G., 2011. Benefits Of Indoor Plants On Attention Capacity In An Office Setting. *Journal of Environmental Psychology* 31.
- [37] Feyzioğlu, E., 2011. Ekoloji, İnsan Ve Din. Yüksek Lisans Tezi. Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Felsefe Ve Din Bilimleri Ana Bilim Dalı Din Psikolojisi Bilim Dalı. S.5.
- [38] Parkinson, S., Lowe, C., Vecsey, T., 2011. The Therapeutic Benefits Of Horticulture In A Mental Health Service. *British Journal of Occupational Therapy*, 74, 525-534.
- [39] Özen, A., 2012. Mimari Sanal Gerçeklik Ortamlarında Algı Psikolojisi. Bilgi Teknolojileri Kongresi IV, Akademik Bilişim, Denizli. (Erişim tarihi: 11.09.2020) <http://ab.org.tr/ab06/bildiri/81.doc.4/6/201>
- [40] Merritt, D.L., 2012. The dairy farmer's guide to the universe: Jung, Hermes, and ecopsychology. Volume I: Jung and ecopsychology. Carmel, CA: Fisher King Press.
- [41] Adams, M., 2014. Approaching nature, 'sustainability' and ecological crises from a critical social psychological perspective. *Social & Personality Psychology Compass*, 8, 251-262.
- [42] Kahraman, D.M., 2014. İnsan İhtiyaçları ve Mekansal Elverişlilik Kavramları Perspektifinde Yaşanılabilirlik Olgusu ve Mekansal Kalite. *Planlama Dergisi, TMMOB Şehir Plancıları Odası Yayını: 2014;24(2)*
- [43] Hablemitoğlu, Ş., 2016. Ekolojik Egosu Gelişmeyen İnsan Doğayı Yok Ediyor. (Erişim Tarihi 06.09.2019). <https://gaiadergi.com/egonun-ekolojik-olanini-severiz/>
- [44] Adams, M., Morgan, J., 2017. Mental Health Recovery and Nature: How Social and Personal Dynamics Are Important. *Ecopsychology* Vol. 10 No. 1 p.44-52.
- [45] Demirarslan, D., Demirarslan O.K., 2017. Çevre Koruma Bilinci Bağlamında İç Mekânın Tasarımında Disiplinler Arası Bir Yaklaşım: İç Mimarlık ve Çevre Mühendisliği İlişkisi. *Artvin Doğal Afetler Uygulama ve Araştırma Merkezi Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*. C.3 S.2. Sy. 112-128.

- [46] Hilary, P., Dolley, T., Rust, M.J., 2017. 'Background to the UK Ecopsychology Movement, Ecopsychology network, Conferences and Gatherings, Academia, Ecotherapy, More recent developments - ecopsychology in wider contexts. (Erişim Tarihi:08.09.2018). <https://www.ecopsychology.org.uk/history>.
- [47] Solak G.S., 2017. Mekân-Kimlik Etkileşimi: Kavramsal Ve Kuramsal Bir Bakış. MANAS Sosyal Araştırmalar Dergisi, Cilt.6, Sayı,1.
- [48] Duman, Ş., 2018. Mekan Kavramı Ve Mekan Organizasyonu. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Bölümü, Yüksek Lisans Programı, Trabzon.
- [49] Keleş, Ş., Keskin, A., Ertek, N., 2018. Kırsal Alanda Sosyal Sermayenin Yaşam Memnuniyeti Üzerine Etkisi. KSÜ Tarım ve Doğa Dergisi 21 (özel sayı).
- [50] Akınoğlu, F., 2009. 'Geleneksel Yerleşmelerin Sürdürülebilirliği Ve Ekolojik Tasarım: Konya-Sille Örneği. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı Doktora Tezi
- [51] Çelik, E.H., Yılmaz, V., 2016. Lisrel 9,1 ile Yapısal Eşitlik Modellemesi, Temel Kavramlar, Uygulamalar, Programlama. Anı Yayıncılık, 261s, 3. Baskı, ISBN: 978-6005-5213-48-0, Ankara
- [52] Newsom, J.T., 2015. Survival Analysis Models, Longitudinal Structural Equation Modeling: A Comprehensive Introduction, New York: Routledge, 322-342.
- [53] Yılmaz, V., 2004. Lisrel ile Yapısal Eşitlik Modelleri Tüketici Şikayetlerine Uygulanması. Sosyal Bilimler Dergisi, 2004/1.
- [54] Hoe, L.S., 2008. Issues And Procedures In Adopting Structural Equation Modeling Technique. Journal Of Applied Quantitative Methods. Vol 3, No 1.
- [55] Bayram, N., 2010. Introduction to Structural Equation Model and Amos Applications, Ezgi Print house, Bursa.
- [56] Dindaroğlu, T., 2014. İnsan ve Doğa İlişkinde Paraekolojik Bakış. II. Ulusal Akdeniz Orman Ve Çevre Sempozyumu "Akdeniz ormanlarının geleceği: Sürdürülebilir toplum ve çevre" 22-24 Ekim 2014-Isparta.
- [57] Anonim, 2020a. Uşak Nüfusu. (Erişim tarihi:11.08.2020).<https://www.nufusu.com/il/usak-nufusu>.
- [58] Ural, A. ve Kılıç, G., 2006. Bilimsel araştırma süreci ve spss ile veri analizi (2. baskı). Ankara: Detay Yayıncılık
- [59] Ören, Ş.T., 2018. Spor Turizmi Aracılığı İle Sürdürülebilir Destinasyon Geliştirme: Hava Sporları Açısından Uşak İli Potansiyeli. Akdeniz Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü. Turizm İşletmeciliği Ana Bilim Dalı Doktora Tezi s.158.
- [60] Keleş, Ş., (2014). Kırsal Alanda Sosyal Sermayenin Oluşumu üzerine Bir Araştırma. Erzurum İli Örneği. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Ekonomisi Ana Bilim Dalı Doktora Tezi.
- [61] Yıldız, D., Uzunsakal, E., 2018. Alan Araştırmalarında Güvenilirlik Testlerinin Karşılaştırılması Ve Tarımsal Veriler Üzerine Bir Uygulama. Uygulamalı Sosyal Bilimler Dergisi, 2018, (1): 14-28
- [62] Altunışık, R., Çoşkun, R., Bayraktaroğlu, S. ve Yıldırım, E., 2007. Sosyal Bilimlerde Araştırma Yöntemleri SPSS Uygulamalı.
- [63] Jöreskog, K.G. & Sörbom, D., 2002 The Student Edition of LISREL 8.53 for Windows, Lincolnwood, IL:Scientific Software International, Inc
- [64] Karaman, H., Atar, B., Çobanoğlu, A.D., 2017. Açıklayıcı Faktör Analizinde Kullanılan Faktör Çıkartma Yöntemlerinin Karşılaştırılması". GEFAD / GUJGEF 37(3): 1173 - 1193.
- [65] Akgün, M.A., Akgün, M. 2017. Terapötik Ortamda Gürültü Kontrolü Psikiyatride Güncel Yaklaşımlar-Current Approaches in Psychiatry 2017;9(4):431-440.
- [66] Ulrich, S.R., 1992. How Design Impacts Wellness The Healthcare Forum journal 35(5):20-5.
- [67] Ulrich, S.R., 1999. Effects of gardens on health outcomes: Theory and research healing gardens 27-85.
- [68] Ergenoğlu A.S., Aytuğ, A., 2007. Sağlık kurumlarında değişen paradigmlar ve iyileştiren hastane kavramının mimari tasarım açısından irdelenmesi. Megaron Yıldız Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi E-Dergisi,2:44-63.
- [69] Sakıcı, Ç, Var, M., 2013. Ruh ve sinir hastalıkları hastane bahçelerinin tedavi edici etkilerinin ortaya konulması için deneysel kaliteler ve peyzaj bileşenlerinin belirlenmesi. Istanbul University Journal of the Faculty of Forestry, 63(2):21-32.
- [70] Sakıcı, Ç, Var, M., 2014. Ruh ve sinir hastalıkları hastane bahçelerinin (açık alan terapi üniteleri)düzenlenmesi kriterleri.Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 14:101-112.
- [71] Söderback I., Söderström M., Schalander, E., 2004 Horticultural therapy: the 'healing

- garden' and gardening in rehabilitation measures at danderyd hospital rehabilitation clinic. Sweden. *Pediatr Rehabil*, 7:245-260.
- [72] Clayton, S. W. W, Manning, C., Krygsman, K., & Speiser, M., 2017. *Mental Health and Our Changing Climate: Impacts, Implications, and Guidance*. American Psychological Association, and ecoAmerica, Washington, D.C.
- [73] Silove, D., & Steel, Z. 2006. Understanding community psychosocial needs after disasters: Implications for mental health services. *J Postgrad Med*, 52(2), 121-125
- [74] Weisler, R.H., Barbee, J.G.T., Townsend, M.H., 2006. Mental health and recovery in the Gulf Coast after Hurricanes Katrina and Rita. *JAMA*, 296(5), 585-588
- [75] Doğan Y., 2008. *İnsanlığın Ekolojik Krizi: Küresel İklim Değişikliği Örneği*. İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Kamu Yönetimi Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi. Ss.117

Gümüş Nanopartiküllerin Yeşil Sentezi ve Bazı Gıda Patojenleri Üzerindeki Antimikrobiyal Etkileri

Abdulkerim HATİPOĞLU*¹

¹Mardin Artuklu Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, 47000, Mardin, Türkiye

(Alınış / Received: 13.07.2021, Kabul / Accepted: 22.12.2021, Online Yayınlanma / Published Online: 20.04.2022)

Anahtar Kelimeler

AgNP'ler,
FE-SEM,
TEM,
XRD,
Antimikrobiyal etki

Özet: Bu çalışmada, gümüş nanopartiküller (AgNP'ler) biyolojik yöntemle kolay, düşük maliyetli ve çevre dostu bir şekilde elde edilmiştir. Sentezi yapılan AgNP'lerin karakterizasyonu UV-visible Spektrofotometre (UV-Vis.), Alan Emisyon Taramalı Elektron Mikroskobu (FE-SEM), Transmisyon Elektron Mikroskobu (TEM), Enerji Dağılımlı X-Işını Spektroskopisi (EDX), X- Işını Kırınımı Difraktrometresi (XRD), Fourier Dönüşümü Kızılötesi Spektroskopisi (FT-IR) ve Zeta boyut ve potansiyel cihazı kullanılarak yapılmıştır. AgNP'lerin 440-450 nm absorbansta maksimum pik vermiştir. TEM ve FE-SEM sonuçlarına göre nanopartiküllerin morfolojik yapılarının küresel ve ortalama 38 nm; XRD sonuçlarına göre nanopartiküllerin toz kristal yapılarının kübik ve 21.94 nm boyutunda; zeta boyutunun ise ortalama 158.2 nm, zeta potansiyelinin -23.4 mV olduğu görülmüştür. Sentezlenen AgNP'lerin *Staphylococcus aureus* ATCC 29213, *Bacillus subtilis* ATCC 11774 *Escherichia coli* ATCC 25922, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853 ve *Candida albicans* üzerinde Minimum İnhibisyon Konsantrasyonları (MİK) (mg/mL) sırasıyla 1.25, 0.625, 2.50, 1.25 ve 0.312 olarak tespit edilmiştir. Söz konusu mikroorganizmaların AgNO₃ ve antibiyotik MİK değerleri (mg/mL) sırasıyla 2.65;2, 1.32;1, 0.66;2, 1.32;4, 0.66;2 olarak tespit edilmiştir.

Green Synthesis of Silver Nanoparticles and Their Antimicrobial Effects on Some Food Pathogens

Keywords

AgNP's,
FE-SEM,
TEM,
XRD,
Antimicrobial effect

Abstract: In this study, silver nanoparticles (AgNPs) were obtained by biological method in a simple, low-cost and environmentally friendly way. The characterization of the synthesized AgNPs was fulfilled using UV-visible Spectrophotometer, Field Emission Scanning Electron Microscope (FE-SEM), Transmission Electron Microscopy (TEM), Energy-Dispersive X-Ray Spectroscopy, X-Ray Diffraction Difractrometer (XRD), Fourier Transform Infrared Spectroscopy and Zeta sizer and potential devices. It was determined that AgNPs gave a maximum peak at 440-450 nm absorbance. According to the TEM and FE-SEM results, the morphological structures of the nanoparticles were spherical and their average size was 38 nm. According to the XRD pattern, it was observed that the powder crystal structures of the nanoparticles were cubic and 21.94 nm in size. The zeta size of the nanoparticles was 158.2 nm on average and zeta potential of nanoparticles was -23.4 mV. Minimum Inhibition Concentrations (MIC) (mg/mL) of the synthesized AgNPs on *Staphylococcus aureus* ATCC 29213, *Bacillus subtilis* ATCC 11774, *Escherichia coli* ATCC 25922, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853 and *Candida albicans* were determined as 1.25, 0.625, 2.5, 1.25 and 0.312, respectively. AgNO₃ and antibiotic MIC values (mg/mL) of the mentioned microorganisms were determined as 2.65;2, 1.32;1, 0.66;2, 1.32;4, 0.66;2, respectively.

1. Giriş

Nanoteknoloji kavramını ilk defa 1959'da Richard Feynman ortaya koymuştur [1]. Nanoteknoloji, 1-100 nm uzunluğundaki malzemelerin veya cihazların

sentezi, tasarımı ve manipülasyonu ile ilgilenmektedir [2]. Nanoteknoloji ürünü olan nanopartiküller, özellikle gıda ambalaj malzemelerinde çok yönlü yararlar sağlayabilmektedirler. Örneğin, gaz bariyeri oluşturabilmekte, mikroorganizmaların çoğalmasını

*İlgili yazar: abdulkerimhatipoglu@artuklu.edu.tr

baskılabilmekte, ambalajın sıcaklık ve nem direncini iyileştirebilmektedirler [3, 4]. Böylelikle gıda güvenliği ve raf ömrü artırılabilir.

Nanopartiküller birçok yöntemle sentezlenebilmektedirler [5-7]. Bu yöntemler arasında “yeşil sentez” olarak da ifade edilen, nanopartiküllerin biyosentezi için geliştirilen prosedürler, daha verimli ve geleneksel malzemelere göre daha ekonomiktirler. Ayrıca, yüksek basınç, sıcaklık ve enerji gerektirmemelerinin yanında, zehirli kimyasallar kullanılmadığından çevre dostudurlar [8-10].

Söz konusu nanopartiküller içerisinde güçlü antimikrobiyal etkileri nedeniyle AgNP'ler dikkat çekmektedir [11-13]. Yapılan bir çalışmada, AgNP'ler ve selüloz pedlerle kaplanan sığır etinde, mikroorganizma yükünün önemli derecede düştüğü bildirilmiştir [14]. Diğer bir çalışmada, AgNP'lerin çok katmanlı doğrusal düşük yoğunluklu polietilene eklenmesiyle *Aspergillus niger* yükünün %70'e düştüğü rapor edilmiştir [15]. Öte yandan AgNP'lerin *E. coli* O157: H7 ve *Listeria monocytogenes* üzerinde de inhibe edici etkisi olduğu bildirilmiştir [16].

Son yıllarda dut yaprağı, pelin otu (*Artemisia absinthium*), ashoka ağacı (*Saraca asoca*) yaprağı, karpuz (*Citrullus lanatus*) meyve kabuğu gibi bitki ve meyve özleri kullanılarak AgNP'lerin sentezlendiği birçok çalışma yapılmıştır [17-20]. Bitki ve meyve özü kullanmanın avantajı, moleküler agregasyon olmadan uzun süre depolanabilen kararlı nanoparçacıkların oluşmasıdır [21].

Çalışmamızda Alliaceae familyasına dahil olan *Allium ampeloprasum* (AA, pırasa) yaprağı kullanarak AgNP'leri sentezledik. Pırasa, yemeklerde ve geleneksel tıpta kullanılmaktadır. Bu nedenle, herhangi bir kapatma maddesi veya harici yüzey aktif madde ilavesi olmadan pırasa yaprağı özü kullanarak AgNP'lerin sentezini gerçekleştirdik. Bu çalışma ile sıvı halde altı aydan fazla stabil olan AgNP'lerin çevre dostu, basit ve ekonomik açıdan uygun olan yeşil sentezini ortaya koyduk.

2. Materyal ve Metod

AgNP'lerin sentezi için gerekli olan pırasa piyasadan satın alınmıştır. Gümüş nitrat (AgNO_3 , %99.98 saflık), vankomisin, flukonazol ve kolistin Sigma Aldrich'ten satın alınmıştır. AgNP'lerin antimikrobiyal aktiviteleri için çalışmada *Escherichia coli* ATCC 25922, *Staphylococcus aureus* ATCC 29213, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853, *Bacillus subtilis* ATCC 11774 ve *Candida albicans* kullanılmıştır.

2.1. Bitki özütünün elde edilmesi

AA'nın yeşil yaprakları distile su ile iyice yıkanmış ve oda koşullarında kurutulmuştur. 25 g kuru yaprak

alınarak 250 ml distile su ile karıştırılarak kaynatılmıştır. Ekstrakt oda sıcaklığına soğutulmuştur. Ardından 1 numaralı Whatman filtre kağıdı ile filtre edilmiş ve AgNP'lerin sentezi için +4 °C'de muhafaza edilmiştir.

2.2. Gümüş nanopartiküllerin sentezi

AgNO_3 katısından 1 mM AgNO_3 sulu çözelti hazırlanmış ve 1000 ml'lik erlen mayere 200 ml gümüş nitrat çözeltisi ile 200 mL bitki özütü konularak oda sıcaklığında reaksiyona bırakılmıştır. Reaksiyon oda koşullarında beşinci saatte renk değişimine başlamıştır. AgNP'lerin oluşumu öncelikle renk değişimine bağlı olarak farklı zaman aralıklarında UV-vis spektroskopisi ile dalga boyu taraması yapılarak tespit edilmiştir [22]. Reaksiyon sonucunda koyu renkli çözelti santrifüj işlemine (14 000 rpm, 25 dak) tabii tutulmuştur. Santrifüj sonunda elde edilen katı kısım birkaç kez saf su ile yıkanmış ve 80 °C'lik etüvde 2 gün kurumaya bırakılmıştır. Kurumuş olan materyal cam baget ile öğütüldükten sonra AgNP'lerin karakterizasyonu ve antimikrobiyal aktivitelerinin tespit edilmesi için muhafaza edilmiştir.

2.3. Gümüş nanopartiküllerin karakterizasyon teknikleri

Biyosentezi yapılan AgNP'lerin UV-vis. spektrumları, spektrofotometre (Agilent CARY 60 UV-visible spektrofotometre) üzerinde 300-800 nm dalga boyu aralığında belirlenmiştir. AgNP'lerin kristal yapısının morfolojisi, XRD ile (RIGAKU ULTIMA IV XRD) ile $3^\circ \leq 2\theta \leq 79^\circ$ aralığında analiz edilmiştir. Debye-Scherrer eşitliğinden ($D = K\lambda/\beta \cos\theta$) yararlanılarak AgNP'lerin kristal boyutu hesaplanmıştır [23]. Saf haldeki gümüş veya gümüş oksit nanoparçacıklarının oluşumunu doğrulamak için FE-SEM, Quanta FEG250, TEM (Quanta) ve EDX (Quanta FEG 250) kullanılmıştır. Bitki özütünde bulunan fonksiyonel grupları ve reaksiyon sonunda 4000-400 cm^{-1} aralığında indirgemede rol oynayan fonksiyonel grupları belirlemek için FT-IR (Perkin Elmer Spektrum 100 FT-IR) spektroskopisi analizi yapılmıştır. Ayrıca Zetasizer cihazı (Malvern Instruments Ltd.) ile yoğunluğa göre boyut analizi gerçekleştirilmiştir.

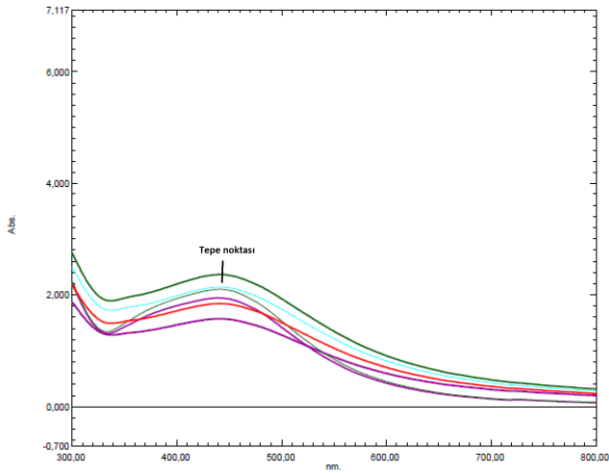
2.4. AgNP'lerin antimikrobiyal aktiviteleri

Sentezlenen AgNP'lerin *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853, *Escherichia coli* ATCC 25922, *Staphylococcus aureus* ATCC 29213, *Bacillus subtilis* ATCC 11774 ve *Candida albicans* üzerindeki MİK'leri 96' lı mikroparka kuyucukları kullanılarak dilüsyonla belirlendi. Kuyulara bakteri için Mueller Hinton Broth ve maya için RPMI (Hücre Kültüründe Kullanılan Büyüme Ortamı) eklendi. 2.5 mg/mL konsantrasyonlarda hazırlanan AgNP çözeltileri mikro plakalara eklendi ve dilüsyon yapıldı. Ardından her bir patojen için McFarland 0.5 bulanıklık standart ile hazırlanan mikroorganizma çözeltilerinden

mikroplakalara ilave edildi ve 37 °C de bir gece boyunca inkübasyona bırakıldı. Daha sonra mikrobiyal çoğalmanın olmadığı en düşük konsantrasyon değeri, MİK değeri olarak kabul edildi [24]. Ayrıca AgNP'lerin *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Bacillus subtilis* ve *Candida albicans* üzerindeki antimikrobiyal etkileri karşılaştırmak için vankomisin, kolistin ve flukonazol ticari antibiyotikleri ile 1 mM AgNO₃ çözeltisi kullanıldı.

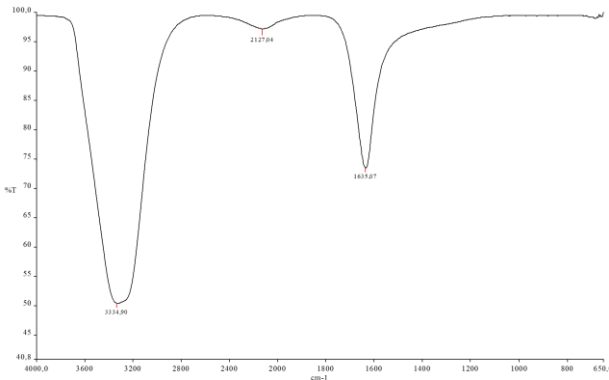
3. Bulgular

Gümüş nanopartiküllerin oluşumu, plazma yüzeyinde titreşimler meydana getirdiği için çözeltinin rengi sarıdan kahverengiye doğru değişmektedir [25]. Bu bağlamda AA Özütlü ve AgNO₃ çözeltisi bir kap içerisinde reaksiyona bırakıldıktan sonra 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50 ve 60. dakikadaki renk değişimi gözlenmiştir (Şekil 1). Renk değişimiyle beraber UV spektroskopisinde 300-800 nm [26] dalga boyu taramaları yapılmıştır.

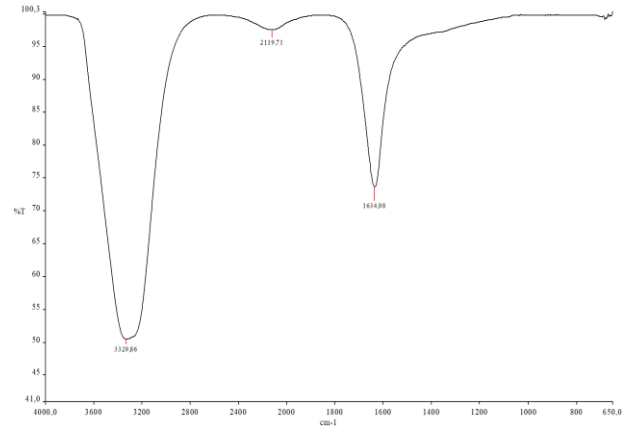


Şekil 1. AA-AgNP'lerin UV-vis. absorpsiyon spektrumları

İndirgemenen sorumlu olan fitokimyasallar/fonksiyonel gruplar FT-IR spektroskopisi ile tespit edilmiştir. İndirgemedede kullanılan AA özütlü ile reaksiyon sonundaki karışımın ayrı ayrı infrared spektroskopisi alınmıştır (Şekil 2 ve 3).

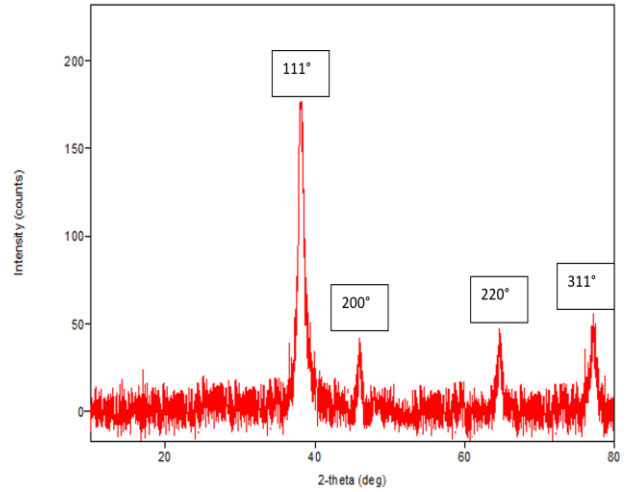


Şekil 2. AA yaprak özütlünün FT-IR spektrumu



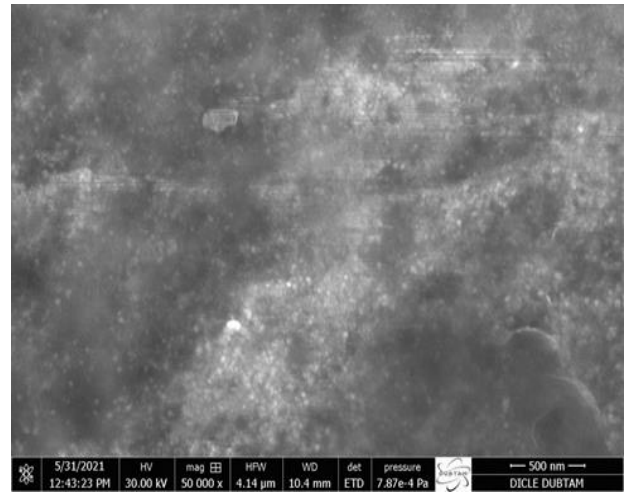
Şekil 3. Sentezlenmiş AA-AgNP'lerin FT-IR spektrumu

XRD analiz sonuçlarında 2θ'daki 111°, 200°, 220° ve 311°'ye denk gelen sırasıyla 38.24, 46.17, 64.12 ve 77.73 pikleri, gümüşün küresel kristal yapısını temsil eden keskin piklerdir (Şekil 4).

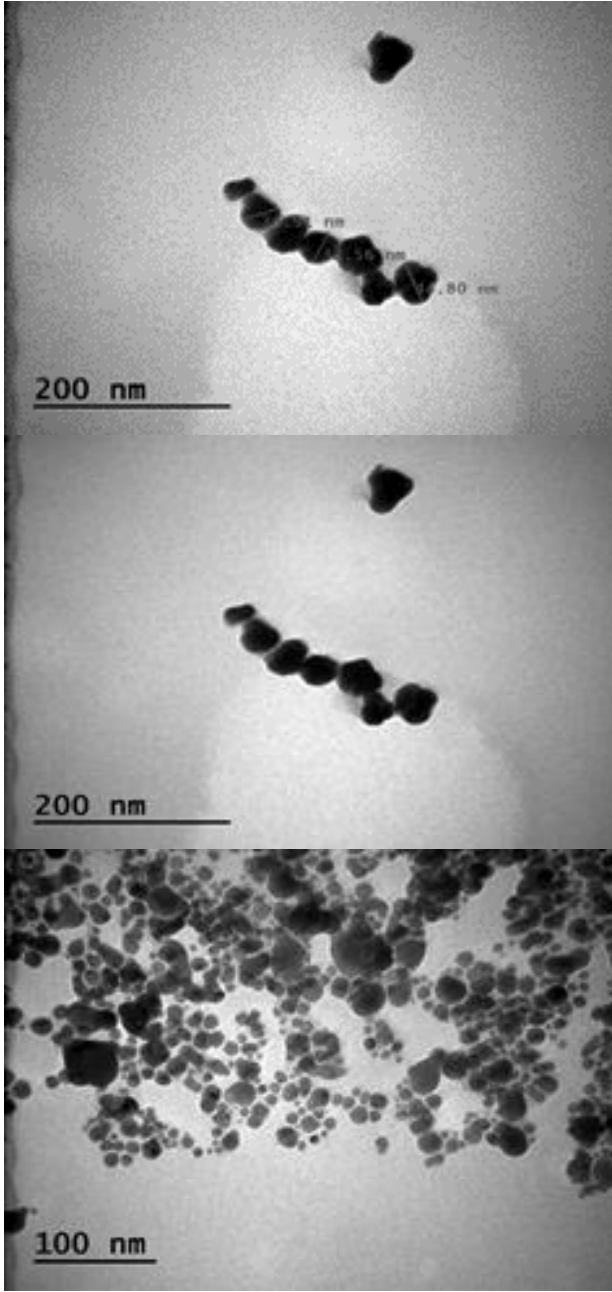


Şekil 4. AA yaprak özütlü kullanılarak sentezlenen AgNP'lerin XRD deseni

FE-SEM ve TEM analiz sonuçlarına göre biosentezi yapılan AgNP'lerin çoğunlukla küresel bir morfolojide olduğu görülmektedir (Şekil 5 ve 6).

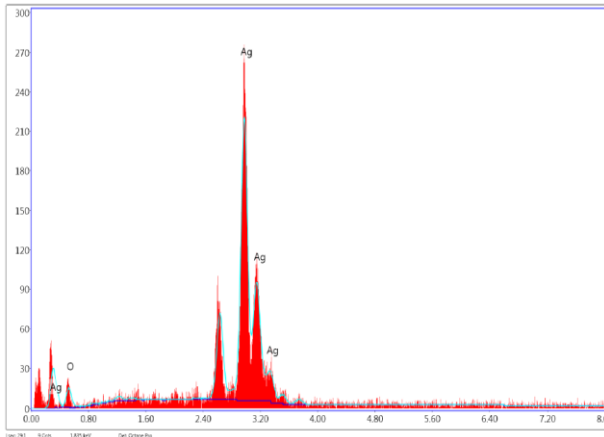


Şekil 5. AgNP'lerin FE-SEM görüntüsü

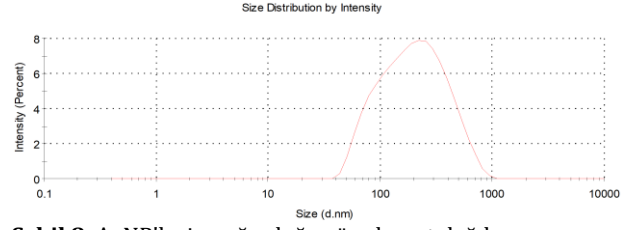


Şekil 6. AgNP'lerin TEM görüntüleri

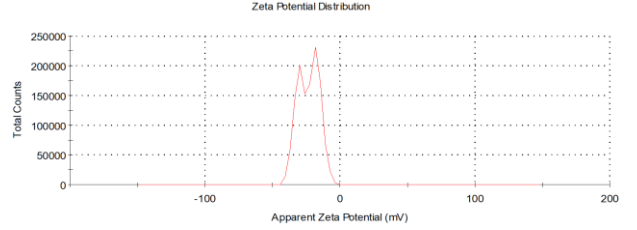
Saf gümüşün varlığı, AA-AgNP'lere ait EDX deseninde de görülmektedir (Şekil 7).



Şekil 7. EDX analizi ile AgNP'lerin elemental bileşimi



Şekil 8. AgNP'lerin yoğunluğa göre boyut dağılımı



Şekil 9. AgNP'lerin zeta potansiyeli

Tablo 1. AgNP'ler, AgNO₃ ve antibiyotiklerin MİK değerleri (mg/mL)

| Mikroorganizmalar | AgNP'ler | AgNO ₃ | Antibiyotikler |
|---|----------|-------------------|----------------|
| <i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 29213 | 1.25 | 2.65 | 2 |
| <i>Bacillus subtilis</i> ATCC 11774 | 0.625 | 1.32 | 1 |
| <i>Escherichia coli</i> ATCC 25922 | 2.50 | 0.66 | 2 |
| <i>Pseudomonas aeruginosa</i> ATCC 27853 | 1.25 | 1.32 | 4 |
| <i>Candida albicans</i> | 0.312 | 0.66 | 2 |

4. Tartışma ve Sonuç

4.1. UV-vis spektroskopisi

Gümüş nanoparçacıkların serbest elektronları, bir yüzey plazmon rezonans absorpsiyon bandına yol açmaktadır [27]. AgNP'lerin yüzey plazmon rezonansı nedeniyle yaklaşık 440-450 nm absorbansta maksimum pik verdiği UV-vis spektrumlarında görülmektedir (Şekil 1). Bahse konu pikin gümüşe ait olduğu, *Artemisia absinthium* bitki yaprak özütünde 449 nm [19], *Berberis vulgaris* bitki ve köklerine ait özüt ile *Momordica cymbalaria* meyve özütünde 450 nm [26,28] düzeyindeki absorpsiyon spektrumlarında da bildirilmiştir.

4.2. FT-IR

Yapılan karşılaştırmada indirgemeye katılan belirgin piklerin -OH, C=O ve -C-C bağlarına ait olduğu görülmektedir [29, 30]. Ayrıca AgNP'lerin sentezinde, 3329.86, 2119.71 ve 1634.98 cm⁻¹ spektrumlarında oluşan frekans kaymaları ile OH, -CN ve C=O gruplarının indirgemede rol aldığı tespit edilmiştir. Baran [19], Paosen ve ark. [32] ve Roy ve ark. [33] 3200-3426 cm⁻¹ spektrumlarının OH gruplarını karakterize ettiğini bildirmişlerdir. Aynı araştırmacılar 2127 cm⁻¹ pikinin -CN, 1562, 1631 ve 1635 cm⁻¹ piklerinin ise C=O ve C=C gerilmelerine ait olduğunu bildirmişlerdir. 1634.98 cm⁻¹'deki absorpsiyon zirvesi amid I olarak tanımlanabilir [34].

4.3. XRD

Pikler toz kristal haldeki AgNP'lerin üç boyutlu yapılarının kübik olduğunu göstermektedir [35]. Söz konusu piklerin gümüşe ait olduğu bitki (*Dunaliella salina*), bakteri (*Lactobacillus brevis*) ve nanokompozit çalışmalarında da bildirilmiştir [36-38]. En yüksek pik olan 38.24 tepe açısı olarak alınmıştır. Daha sonra aşağıdaki Debye-Scherrer denklemi [39] yardımıyla nanomalzemelerin boyutu 21.94 nm olarak hesaplanmıştır.

$$D = K\lambda / (\beta \cos\theta)$$

D= Nanopartikül boyutunu,

K= Sabit değeri (0.90),

λ = X-ray dalga boyu değerini (1.5418 Å),

β = En yüksek tepe noktası değerinin yarısını,

θ = En yüksek tepe noktasının Bragg açısını ifade etmektedir.

Aynı formülün kullanıldığı *Solanum nigrum* [40], *Artemisia absinthium* [19] ve *Nigella sativa L.* [35] ile sentezlenmiş AgNP'lerin kristal boyutları (nm) sırasıyla 8.2, 14.58 ve 17.68 olarak rapor edilmiştir.

4.4. FE-SEM ve TEM

Bilindiği gibi FE-SEM sonuçlarının daha iyi değerlendirilebilmesi için TEM sonuçlarına bakılmaktadır. Sentezlenen AgNP'lerin TEM görüntüsü, hangi parçacıkların nano ölçekli ve homojen olduğunu göstermektedir. Bu sonuçlara göre, nanomalzemenin çoğunlukla küresel şekilli ve çok küçük boyutlarda olduğu görülmektedir. Bilindiği gibi, AgNP'ler küçük boyutları nedeniyle hücre zarı proteinlerine bağlanıp bakteri hücrelerinde reaktif oksijen türlerinin oluşumunu katalize etmektedirler. Böylece oksidatif stres nedeniyle hücre ölümüne neden olmaktadır [41-42]. Dolayısıyla sentezlenmiş olan nanopartiküllerin daha güçlü bir antimikrobiyal aktiviteye sahip olması beklenmektedir. Ramkumar ve ark. [43], Lopes ve Courrol [44], Pallela ve ark. [45] ve Baran ve ark. [46]'nın bitkiler ve algler üzerine yaptıkları çalışmalarda biyosentezi yapılan AgNP'lerin büyük oranda küresel morfolojiye sahip olduğu bildirilmiştir.

TEM analizinde yapılan tanecik ölçümünde AgNP'lerin boyutlarının yaklaşık olarak 32-45 nm arasında ve ortalama boyutunun ise yaklaşık 38 nm olduğu görülmüştür (Şekil 6). *Berberis vulgaris* [26], algler ve mikro kabuklular [47], *Selaginella myosurus* [48] ve 2-hidroksipropil- β -siklodekstrin/aljinat nanokompozit [49] AgNP'lerin 2-95 nm arasında boyutlara sahip olduğu rapor edilmiştir [26, 47-49]

4.5. EDX ve Zeta verileri

EDX analizi gümüşün elemental bileşiminin yüksek olduğunu göstermektedir (Şekil 7). AgNP'ler, yüzey plazmon rezonansı nedeniyle yaklaşık 2.8 KeV'de tipik

optik absorpsiyon zirvesi göstermiştir. Khamhaengpol ve Siri [50] karınca larvaları doku özütüyle, Dada ve ark. [51] ise şifalı bir bitki olan *Acalypha wilkesiana* özütü ile söz konusu nanopartikülleri sentezlemişler ve çalışmalarında EDX gümüş piklerini ortaya koymuşlardır. AgNP'lerin zeta boyutunun ortalama 158.2 nm (Şekil 8) ve zeta potansiyelinin ise -23.4 mV olduğu görülmüştür (Şekil 9).

Zeta potansiyeli, etrafı kaplanmış olan malzemenin yüzeyindeki elektrik yüküdür. AgNP kolloidinin stabilitesini ve kararlılığını gösteren zeta potansiyelinin yüksek negatif değeri, partiküllerin birbirine yapışmasını veya kümelenmesini önlemektedir. Ayrıca, negatif yük değeri artan nanopartiküller hücreye daha kolay girebilmektedirler [52-54]. *Madhuca longifolia*, *Justicia adhatoda L.* ve *Prunus cerasifera pissardii nigra* bitkilerinden sentezlenen AgNP'lere ait zeta potansiyel değerlerinin (-4.68) - (-27) mV arasında olduğu bildirilmiştir [55-57].

4.7. Antimikrobiyal aktivite

Patojen mikroorganizmalar kullanılan antibiyotiklere direnç geliştirdikçe, AgNP'lerin antimikrobiyal etkileri çok daha önemli olmaktadır. Çalışma sonuçlarına göre, AA-AgNP'lerin mikroorganizmalara karşı etkili olduğu görülmektedir (Tablo 1). AgNP'ler, AgNO₃ ve antibiyotiklere kıyasla mikroorganizmalar üzerinde daha düşük konsantrasyonlarda anlamlı antimikrobiyal etki göstermiştir. AgNP'lerin (0.312 mg/mL) özellikle *Candida albicans* üzerinde AgNO₃ ve antibiyotikten çok daha etkili olduğu görülmüştür. Çalışmada kullanılan mikroorganizmaların antibiyotiklere oranla AgNP'lere olan duyarlılıkları *Candida albicans* (6.41) > *Pseudomonas aeruginosa* (3.2) > *Stapylococcus aureus* (1.6) = *Bacillus subtilis* (1.6) > *Escherichia coli* (0.8) şeklinde sıralanabilir. AgNP'lerin *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Stapylococcus aureus* ve *Bacillus subtilis* MİK değerleri (mg/mL) sırasıyla 2.50, 1.25, 1.25 ve 0.625 olarak tespit edilmiştir (Tablo 1). Bu durum, sentezlenen AgNP'lerin sadece daha düşük konsantrasyonlarda değil, aynı zamanda daha geniş bakteri spektrum aralığında etkili olduğunu ortaya koymuştur.

AgNP'lerin gram-negatif bakterilerin (*Escherichia coli* ve *Pseudomonas aeruginosa*), gram pozitif olanlara (*Stapylococcus aureus* ve *Bacillus subtilis*) kıyasla daha güçlü inhibisyon etkilerinin olduğu *Abelmoscus esculentus*, *Moringa oleifera* ve *Lysiloma acapulcensis* bitki özleleriyle yapılan çalışmalarda da rapor edilmiştir [58-60]. Gram-pozitif bakterilerin hücre duvarı, gram-negatif bakterilerde bulunmayan sert bir polisakarit tabakasına sahip olduğundan gram pozitif bakteri duvarına geçişler daha zor gerçekleşmektedir. Bu nedenle AgNP'ler gram pozitif olanlara göre gram negatif bakteriler üzerinde daha etkilidir [61].

Diğer taraftan, AgNP'lerin *Enterococcus faecalis*, *Vibrio cholera*, *Pseudomonas putida*, *Pseudomonas oleovorans*, *Pseudomonas fluorescens*, *Proteus mirabilis*, *Bacillus cereus*, *Bacillus anthracis*, *Candida albicans*, *Salmonella enterica typhmuri*, *Shigella flexneri*, *E. coli*, *Listeria monocytogenes*, *Micrococcus luteus* ve *Klebsiella pneumonia* üzerinde de etkili olduğu birçok farklı araştırmada ortaya konulmuştur [62-66].

Gıda ambalajlarında geleneksel malzemeler yerine, antimikrobiyal, çevre dostu, ucuz ve kolay sentezlenebilen malzemelere olan ilgi her geçen gün artmaktadır. Bu çalışmada, AgNP'ler *Allium ampeloprasum* bitkisinden kolay, düşük maliyetli ve çevre dostu bir yöntemle sentezlenmiştir. UV-vis absorpsiyonu, XRD ve EDX analizleri AgNP'lerin sentezini doğrulamıştır. FE-SEM ve TEM analizleri, AgNP'lerin şekil olarak küresel olduğunu ve ortalama boyutlarının yaklaşık 38 nm olduğunu göstermiştir. Partiküllerin 440-450 nm dalga boyunda maksimum absorbanıya sahip olduğu, zeta boyutunun ortalama 158.2 nm, zeta potansiyelinin -23.4 mV ve toz kristal yapılarının kübik olduğu belirlenmiştir.

AgNP'lerin gıda kaynaklı patojen mikroorganizmalar üzerinde güçlü antimikrobiyal aktiviteye sahip olduğu ve antibiyotiklere göre daha düşük konsantrasyonlarda bile etkili olduğu görülmüştür. AgNP'lerin gıda ambalajlarında yaygın bir şekilde kullanılmasıyla hem gıda güvenliğinin artırılması hem de gıda israfının azaltılmasının mümkün olabileceği düşünülmektedir. Ancak gümüş iyonlarının gıdaya göçü ile ilgili detaylı araştırmalar yapılmalı ve tüketici sağlığı açısından göç limitleri belirlenmelidir.

Etik Beyanı

Bu çalışmada, "Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi" kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin "Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler" başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederiz.

Kaynakça

[1] Sharma, C., Dhiman, R., Rokana, N., Panwar, H. 2017. Nanotechnology: An Untapped Resource for Food Packaging. *Frontiers in Microbiology*, 8, 1735.

[2] Sarfraz, J., Gulin-Sarfraz, T., Nilsen-Nygaard, J., Pettersen, M.K. 2021. Nanocomposites for Food Packaging Applications: An Overview. *Nanomaterials*, 11(1), 10.

[3] Fernández, A., Picouet, P., Lloret, E. 2010. Reduction of the spoilage-related microflora in absorbent pads by silver nanotechnology during modified atmosphere packaging of beef meat. *Journal of Food Protection*, 73(12), 2263-2269.

[4] Adeyeye, S. A. O. 2019. Food packaging and nanotechnology: safeguarding consumer health and safety. *Nutrition & Food Science*, 49(6), 1164-1179.

[5] Beykara, M., Çağlar, A. 2016. Bitkisel Özütler Kullanılarak Gümüş-Nanopartikül (AgNP) Sentezlenmesi ve Antimikrobiyal Etkinlikleri Üzerine Bir Araştırma. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16(3), 631-641.

[6] Baran, A., Keskin, C., Baran, M. F. 2020. Metalik Nanopartiküllerin Çevre Dostu Sentezi ve Karakterizasyonu. ss 47-70. Keskin, C., Baran, M. F., ed. 2004. *Nanomalzeme Sentezi ve Güncel Kullanım Alanları*, İksad Yayınevi, Türkiye, 110s.

[7] Wahab, A., Abdul Rahim, A., Hassan, S., Egbuna, C., Manzoor, M. F., Okere, K. J., Walag, A. M. P. 2021. Application of nanotechnology in the packaging of edible materials. ss 215-225. Egbuna, C., Mishra, A. P. Goyal, M. R., ed. 2021. *Preparation of Phytopharmaceuticals for the Management of Disorders*, Academic Press, USA, 574s.

[8] Bar, H., Bhui, D. K., Sahoo, G. P., Sarkar, P., De, S. P., Misra, A. 2009. Green synthesis of silver nanoparticles using latex of *Jatropha curcas*. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 339(1-3), 134-139.

[9] Nartop, P. 2019. Yeşil Sentez Yolu İle Gümüş Nanopartiküllerin Elde Edilmesinde Bitkisel Ekstrelerin İndirgeyici Ajan Olarak Kullanılması. *Eskişehir Teknik Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi C-Yaşam Bilimleri ve Biyoteknoloji*, 8(1), 50-60.

[10] Baran, M. F., Saydut, A. 2019. Altın nanomalzeme sentezi ve karakterizasyonu. *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 10(3), 1033-1040.

[11] Sharma, V. K., Yngard, R. A., Lin, Y. 2009. Silver nanoparticles: Green synthesis and their antimicrobial activities, *Advances in Colloid and Interface Science*, 145(1-2), 83-96.

[12] Chook, S. W., Chia, C. H., Zakaria, S., Ayob, M. K., Chee, K. L., Huang, N. M., Neoh, H. M., Lim, H. N., Jamal, R., Rahman, R. 2012. Antibacterial performance of Ag nanoparticles and AgGO nanocomposites prepared via rapid microwave-assisted synthesis method. *Nanoscale Research Letters*, 7, 541.

[13] Baran, A. 2021. Gümüş nano malzemelerin çevre dostu, hızlı sentezi ve biyomedikal uygulamaları. *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 12(2), 329-336.

[14] Smolkova, B., El Yamani, N., Collins, A. R., Gutleb, A. C., Dusinska, M. 2015. Nanoparticles in food. Epigenetic changes induced by nanomaterials and possible impact on health. *Food and Chemical Toxicology*, 77, 64-73.

- [15] Sánchez-Valdes, S., Ortega-Ortiz, H., Ramos-de Valle, L. F., Medellín-Rodríguez, F. J., Guedea-Miranda, R. 2008. Mechanical and antimicrobial properties of multilayer films with a polyethylene / silver nanocomposite layer. *Journal of Applied Polymer Science*, 111(2), 953-962.
- [16] Rhim, J. W., Park, H. M., Ha, C. S. 2013. Bio-nanocomposites for food packaging applications. *Progress in Polymer Science*, 38(10-11), 1629-1652.
- [17] Awwad, A. M., Salem, N. M. 2012. Green Synthesis of Silver Nanoparticles by Mulberry Leaves Extract. *Nanoscience and Nanotechnology*, 2(4), 125-128.
- [18] Ndikau, M., Noah, N. M., Andala, D. M., Masika, E. 2017. Green Synthesis and Characterization of Silver Nanoparticles Using *Citrullus lanatus* Fruit Rind Extract. *International Journal of Analytical Chemistry*, 2017, 8108504.
- [19] Baran, M. F. 2019. Synthesis and Antimicrobial Applications of Silver Nanoparticles From *Artemisia absinthium* plant. *Biological and Chemical Research*, 6, 96-103.
- [20] Fatema, S., Shirsat, M., Farooqui, M. Arif, P. M. 2019. Biosynthesis of Silver nanoparticle using aqueous extract of *Saraca asoca* leaves, its characterization and antimicrobial activity. *International Journal of Nano Dimension*, 10(2), 163-168.
- [21] Jayaprakash, N., Vijaya, J. J., Kaviyarasu, K., Kombaiyah, K., Kennedy, L. J., Ramalingam, R. J., Munusamy, M. A., Al-Lohedan, H. A. 2017. Green synthesis of Ag nanoparticles using Tamarind fruit extract for the antibacterial studies. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 169, 178-185.
- [22] Pugazhendhi, S., Palanisamy, P. K., Jayavel, R. 2018. Synthesis of highly stable silver nanoparticles through a novel green method using *Mirabilis jalapa* for antibacterial, nonlinear optical applications. *Optical Materials*, 79, 457-463.
- [23] Ambika, S., Sundrarajan, M. 2015. Antibacterial behaviour of *Vitex negundo* extract assisted ZnO nanoparticles against pathogenic bacteria. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 146, 52-57.
- [24] Elshikh, M., Ahmed, S., Funston, S., Dunlop, P., McGaw, M., Marchant, R., Banat, I. M. 2016. Resazurin-based 96-well plate microdilution method for the determination of minimum inhibitory concentration of biosurfactants. *Biotechnology Letters*, 38(6), 1015-1019.
- [25] Baran, M. F. 2019. *Prunus avium* kiraz yaprağı özütü ile gümüş nanopartikül (AgNP) sentezi ve antimikrobiyal etkisinin incelenmesi. *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 10(1), 221-227.
- [26] Behravan, M., Panahi, A. H., Naghizadeh, A., Ziaee, M., Mahdavi, R., Mirzapour, A. 2018. Facile green synthesis of silver nanoparticles using *Berberis vulgaris* leaf and root aqueous extract and its antibacterial activity. *International Journal of Biological Macromolecules*, 124, 148-154.
- [27] Lokina, S., Stephen, A., Kaviyaran, V., Arulvasu, C., Narayanan, V. 2014. Cytotoxicity and antimicrobial activities of green synthesized silver nanoparticles. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 76, 256-263.
- [28] Swamy, M. K., Akhtar, M. S., Mohanty, S. K., Sinniah, U. R. 2015. Synthesis and characterization of silver nanoparticles using fruit extract of *Momordica cymbalaria* and assessment of their in vitro antimicrobial, antioxidant and cytotoxicity activities. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 151, 939-944.
- [29] Smith, E., Meissl, K. 2007. The applicability of Fourier transform infrared (FT-IR) spectroscopy in waste management. *Waste Management*, 27(2), 268-276.
- [30] Muthusamy, G., Thangasamy, S., Raja, M., Chinnappan, S., Kandasamy, S. 2017. Biosynthesis of silver nanoparticles from *Spirulina* microalgae and its antibacterial activity. *Environmental Science and Pollution Research*, 24, 19459-19464.
- [31] Kumar, J. K., Prasad, A. G. D. 2011. Identification and Comparison of Biomolecules in Medicinal Plants of *Tephrosia tinctoria* and *Atylosia albicans* By Using FTIR. *Romanian Journal of Biophysics*, 21(1), 63-71.
- [32] Paosen, S., Saising, J., Wira Septama, A., Piyawan Voravuthikunchai, S. 2017. Green synthesis of silver nanoparticles using plants from Myrtaceae family and characterization of their antibacterial activity. *Materials Letters*, 209, 201-206.
- [33] Roy, S., Shankar, S., Rhim, J.-W. 2019. Melanin-mediated synthesis of silver nanoparticle and its use for the preparation of carrageenan-based antibacterial films. *Food Hydrocolloids*, 88, 237-246.
- [34] Aromal, S. A., Vidhu, V. K., Philip, D. 2012. Green synthesis of well-dispersed gold nanoparticles using *Macrotyloma uniflorum*. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 85(1), 99-104.
- [35] Aktepe, N. 2021. Gümüş nano materyallerin sentezi, karakterizasyonu ve antimikrobiyal aktiviteleri. *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 12(2), 347-354.
- [36] Singh, A. K., Tiwari, R., Kumar, V., Singh, P., Riyazat Khadim, S. K., Tiwari, A., Srivastava, V., Hasan, S. H., Asthana, R. K. 2017. Photo-induced biosynthesis of silver nanoparticles from aqueous extract of *Dunaliella salina* and their anticancer

- potential. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 166, 202-211.
- [37] Huang, X., Wang, R., Jiao, T., Zou, G., Zhan, F., Yin, J., Zhang, L., Zhou, J., Peng, Q. 2019. Facile Preparation of Hierarchical AgNP-Loaded MXene/Fe₃O₄/ Polymer Nanocomposites by Electrospinning with Enhanced Catalytic Performance for Wastewater Treatment. *ACS Omega*, 4, 1897-1906.
- [38] Rajoka, M. S. R., Mehwish, H. M., Zhang, H., Ashraf, M., Fang, H., Zeng, X., Wu, Y., Khurshid, M., Zhao, L., He, Z. 2020. Antibacterial and antioxidant activity of exopolysaccharide mediated silver nanoparticle synthesized by *Lactobacillus brevis* isolated from Chinese koumiss. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 186, 110734.
- [39] Baran, M. F., Keskin, C., Atalar, M. N., Baran, A. 2021. Environmentally Friendly Rapid Synthesis of Gold Nanoparticles from *Artemisia absinthium* Plant Extract and Application of Antimicrobial Activities. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 11(1), 365-375.
- [40] Jenifer, A. A., Malaikozhundan, B., Vijayakumar, S., Anjugam, M., Iswarya, A., Vaseeharan, B. 2019. Green Synthesis and Characterization of Silver Nanoparticles (AgNPs) Using Leaf Extract of *Solanum nigrum* and Assessment of Toxicity in Vertebrate and Invertebrate Aquatic Animals. *Journal of Cluster Science*, 31, 989-1002.
- [41] Alkhalaf, M. I., Hussein, R. H., Hamza, A. 2020. Green synthesis of silver nanoparticles by *Nigella sativa* extract alleviates diabetic neuropathy through anti-inflammatory and antioxidant effects. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 27(9), 2410-2419.
- [42] Hoseinnejad, M., Jafari, S. M., Katouzian, I. 2017. Inorganic and metal nanoparticles and their antimicrobial activity in food packaging applications. *Critical Reviews in Microbiology*, 44(2), 161-181.
- [43] Ramkumar, V. S., Pugazhendhi, A., Gopalakrishnan, K., Sivagurunathan, P., Saratale, G. D., Dung, T., Kannapiran, E. 2017. Biofabrication and characterization of silver nanoparticles using aqueous extract of seaweed *Enteromorpha compressa* and its biomedical properties. *Biotechnology Reports*, 14, 1-7.
- [44] Lopes, C. R. B., Courrol, L. C. 2018. Green synthesis of silver nanoparticles with extract of *Mimusops coriacea* and light. *Journal of Luminescence*, 199, 183-187.
- [45] Pallela, P. N. V. K., Ummey, S., Ruddaraju, L. K., Pammi, S. V. N., Yoon, S. G. 2018. Ultra Small, mono dispersed green synthesized silver nanoparticles using aqueous extract of *Sida cordifolia* plant and investigation of antibacterial activity. *Microbial Pathogenesis*, 124, 63-69.
- [46] Baran, M. F., Koç, A., Uzan, S. 2018. Kenger (*Gundelia tournefortii*) Yaprağı İle Gümüş Nanopartikül (AgNP) Sentezi, Karakterizasyonu ve Antimikrobiyal Uygulamaları. *International Journal on Mathematic, Engineering and Natural Sciences*, 5, 44-52.
- [47] Becaro, A. A., Jonsson, C.M., Puti, F. C., Siqueira, M. C., Mattoso, L. H. C., Correa, D. S., Ferreira, M. D. 2015. Toxicity of PVA-stabilized silver nanoparticles to algae and microcrustaceans. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 3, 22-29.
- [48] Kedi, P., Meva, F. E., Kotsedi, L., Nguemfo, E. L., Zangueu, C. B., Ntumba, A. A., Mohamed, H., Dongmo, A. B., Maaza, M. 2018. Eco-friendly synthesis, characterization, in vitro and in vivo anti-inflammatory activity of silver nanoparticle-mediated *Selaginella myosurus* aqueous extract. *International Journal of Nanomedicine*, 13, 8537-8548.
- [49] Nguyen, T.-D., Dang, C.-H., Mai, D.-T. 2018. Biosynthesized AgNP capped on novel nanocomposite 2-hydroxypropyl-β-cyclodextrin/alginate as a catalyst for degradation of pollutants. *Carbohydrate Polymers*, 197, 29-37.
- [50] Khamhaengpol, A., Siri, S. 2017. Green synthesis of silver nanoparticles using tissue extract of weaver ant larvae. *Materials Letters*, 192, 72-75.
- [51] Dada, A. O., Adekola, F. A., Dada, F. E., Adelani-Akande, A. T., Bello, M. O., Okonkwo, C. R., Inyinbor, A. A., Oluyori, A. P., Olayanju, A., Ajanaku, K. O., Adetunji, C. O. 2019. Silver nanoparticle synthesis by *Acalypha wilkesiana* extract: phytochemical screening, characterization, influence of operational parameters, and preliminary antibacterial testing. *Heliyon*, 5, 10, e02517.
- [52] Tavakol, S., Hoveizi, E., Kharrazi, S., Tavakol, B., Karimi, S., Sorkhabadi, S. M. R. 2016. Organelles and chromatin fragmentation of human umbilical vein endothelial cell influence by the effects of zeta potential and size of silver nanoparticles in different manners. *Artificial Cells, Nanomedicine, and Biotechnology*, 45(4), 817-823.
- [53] Maddinedi, S. B., Mandal, B. K., Maddili, S. K. 2017. Biofabrication of size controllable silver nanoparticles - A green approach. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 167, 236-241.
- [54] Mapala, K., Pattabi, M. 2017. *Mimosa pudica* Flower Extract Mediated Green Synthesis of Gold Nanoparticles. *NanoWorld Journal*, 3(2), 44-50.
- [55] Patil, M. P., Singh, R. D., Koli, P. B., Patil, K. T., Jagdale P. S., Tipare A. R., Kim G.-D. 2018. Antibacterial potential of silver nanoparticles

- synthesized using *Madhuca longifolia* flower extract as a green resource. *Microbial Pathogenesis*, 121, 184-189.
- [56] Thirumagal, N., Jeyakumari, A. P. 2020. Structural, Optical and Antibacterial Properties of Green Synthesized Silver Nanoparticles (AgNPs) Using *Justicia adhatoda* L. Leaf Extract. *Journal of Cluster Science*, 31, 487-497.
- [57] Hatipoğlu, A. 2021. Green synthesis of gold nanoparticles from *Prunus cerasifera pissardii nigra* leaf and their antimicrobial activities on some food pathogens. *Progress in Nutrition*, 23(3), e2021241.
- [58] Hatipoğlu, A. 2021. *Abelmoschus esculentus* yaprağı kullanılarak gümüş nanopartiküllerin yeşil sentezi ve bazı gıda patojenleri üzerindeki antimikrobiyal etkileri. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 22(2), 239-246.
- [59] Moodley, J. S., Krishna, S. B. N., Pillay, K., Govender, S., Govender, P. 2018. Green synthesis of silver nanoparticles from *Moringa oleifera* leaf extracts and its antimicrobial potential. *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology*, 9(1), 015011.
- [60] Garibo, D., Borbón-Nuñez, H. A., de León, J. N. D. 2020. Green synthesis of silver nanoparticles using *Lysiloma acapulcensis* exhibit high-antimicrobial activity. *Scientific Reports*, 10, 12805.
- [61] Tamboli, D. P., Lee, D. S. 2013. Mechanistic antimicrobial approach of extracellularly synthesized silver nanoparticles against gram positive and gram negative bacteria. *Journal of Hazardous Materials*, 260, 878-84.
- [62] Duncan, T. V. 2011. Applications of nanotechnology in food packaging and food safety: barrier materials, antimicrobials and sensors. *Journal of Colloid and Interface Science*, 363(1), 1-24.
- [63] Gaillet, S., Rouanet, J. M. 2015. Silver nanoparticles: Their potential toxic effects after oral exposure and underlying mechanisms – A review. *Food and Chemical Toxicology*, 77, 58-63.
- [64] Hannon, J. C., Cummins, E., Kerry, J., Cruz-Romero, M., Morris, M. 2015. Advances and challenges for the use of engineered nanoparticles in food contact materials. *Trends in Food Science & Technology*, 43(1), 43-62.
- [65] Baran, A., Keskin, C. 2020. Nanopartiküllerin Yeşil Sentezi ve Anti-Mikrobiyal Uygulamaları. ss 1-18. Akgül, H., ed. 2020. *Fen Bilimleri ve Matematik Alanında Akademik Çalışmalar II*, Gece Kitaplığı, Türkiye, 96s.
- [66] Baran, M. F., Saydut, A., Umaz, A. 2019. Gümüş nanomalzeme sentezi ve antimikrobiyal uygulamaları. *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 10(2), 689-695.

Investigation of Photocatalytic Decolorization Parameters of Acid Violet 7 Dye With poly(ethylene glycol dimethacrylate-2-vinyl pyridine) -TiO₂ Photocatalytic Polymer Microbeads

Şeyma YALÇIN¹ , Ali KARA*¹ 

¹Bursa Uludağ University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Polymer Materials, 16120, Bursa, Turkey

(Alınış / Received: 12.08.2021, Kabul / Accepted: 17.02.2022, Online Yayınlanma / Published Online: 20.04.2022)

Keywords

Photocatalytic polymer,
Polymer microbeads,
Decolorization,
Azo dye

Abstract: Poly(ethylene glycol dimethacrylate-2-vinyl pyridine)-TiO₂ [poly (EGDMA-2-VP)] - TiO₂ microbeads were synthesized by suspension polymerization method for photocatalytic decolorization of textile dyes from aqueous solution. The synthesized cross-linked [poly (EGDMA-2-VP)] - TiO₂ microbeads were characterized by scanning electron microscopy (SEM), X-ray Diffraction (XRD) and fourier transform infrared spectroscopy (FTIR). To investigate the usability of the obtained microbeads in dye decolorization, the parameters such as pH, polymer amount, time, and dye concentration were examined both under sunlight and 366 nm UV light. Optimum conditions under which maximum photocatalytic decolorization of the dye were pH 3, polymer amount 0.05 g, dye concentration 30 mg /L and time 5 hours.

Poli(etilen glikol dimetakrilat-2-vinil piridin) -TiO₂ Fotokatalitik Polimer Mikro Küreleri ile Asit Violet 7 Boyasının Fotokatalitik Renk Giderme Parametrelerinin İncelenmesi

Anahtar Kelimeler

Fotokatalitik polimer,
Polimer mikroküreler,
Dekolorizasyon,
Azo boya

Özet: Poli(etilen glikol dimetakrilat-2-vinil piridin)-TiO₂ [poli(EGDMA-2-VP)] - TiO₂ mikro küreleri, tekstil boyar maddelerinin sulu çözeltiden fotokatalitik renk giderimi için süspansiyon polimerizasyon yöntemi ile sentezlendi. Sentezlenen çapraz bağlı [poli (EGDMA-2-VP)] - TiO₂ mikro küreleri, taramalı elektron mikroskopu (SEM), X-ışını difraktometresi (XRD) ve fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR) ile karakterize edildi. Elde edilen mikro kürelerin boyar madde renk gidermede kullanılabilirliğini araştırmak için pH, polimer miktarı, zaman ve boya konsantrasyonu parametreleri, hem güneş ışığı altında hem de 366 nm UV ışığı altında incelendi. Boyar maddenin maksimum fotokatalitik renk gideriminin meydana geldiği optimum koşullar pH 3, polimer miktarı 0.05 g, boya konsantrasyonu 30 mg/L ve süre 5 saattir.

1. Introduction

The textile industry is one of the largest industries in the world that plays an important role in the economic activities of many countries. All the dye applied during the dyeing process is not fixed on the fabric and some of it is washed off. Unfixed dyes are in high concentration in textile wastewater. Therefore, a large amount of wastewater is released in the textile industry [1]. In the textile industry, there is a lot of wastewater and the composition of this wastewater is very pollutant, so it is considered the most polluting industry [2].

Pollution problems caused by textile industry wastewater have increased enormously in recent years. These wastewaters can cause a wide variety of environmental and toxicological effects.

Dyes used in the textile industry are potential hazards as they can turn into carcinogenic and toxic products. The direct release of textile wastewater into water bodies such as rivers is toxic to aquatic plants, microorganisms and fish. Textile dyes can cause various allergic reactions, skin irritation, irritation of the mucous membranes and upper respiratory tract [3].

* Corresponding author: akara@uludag.edu.tr

Azo dyes constitute the world's largest class of synthetic dyes. 60-70% of the dyestuffs produced in the world are azo dyes. Azo dyes can be reduced to aromatic amines by intestinal microflora and liver enzymes. These aromatic amines pose a threat to human health and ecosystems [4].

Textile wastewater must be physically and chemically treated before discharging into water bodies. The removal of dyes from wastewater by forces such as van der Waals forces, electrical attraction, gravity is a physical treatment method [5.]. With these methods, the physical state of the substances can change, for example, dispersed substances can coagulate but the chemical change is not observed. Some of these methods are adsorption [6 -8], membrane filtration [9], and ion exchange [10]. Apart from physical methods, there are some chemical methods such as chemical precipitation [11], chemical oxidation [12], coagulation and flocculation [13]. Physical methods provide efficient removal of dyestuffs, but do not cause any degradation on dyestuffs. The dyestuffs removed from the aqueous solution cause a secondary pollution. The heterogeneous photocatalysis method using titanium dioxide as the photocatalyst is accepted as the method that causes the most degradation on dyes [14]. The use of titanium dioxide (TiO₂) as a catalyst for the removal of dyestuffs from water is advantageous because TiO₂ is readily available, inexpensive, strong and environmentally friendly. Therefore, decolorization of dyestuffs from aqueous solution using TiO₂ photocatalyst is highly preferred [15-19].

In this study, cross-linked polymer microbeads with photocatalytic properties were prepared by suspension polymerization method and used to remove azo dyes in an aqueous solution quickly, easily and without causing secondary pollution.

2. Material and Method

2.1. Chemicals

Acid violet 7 (dye content 40%) used as a dye in this study was obtained from Sigma-Aldrich (UK).

Crosslinker ethylene glycol dimethacrylate (EGDMA) was obtained from Merck (Darmstadt, Germany). benzoyl peroxide (BPO), used as the initiator, was obtained from Fluka (Switzerland). Stabilizer polyvinyl alcohol (PVAL; Mw: 100,000, 98% hydrolyzed) was obtained from Aldrich Chem. (USA). Monomer 2 Vinyl Pyridine (VP) was supplied by Merck (Darmstadt, Germany). TiO₂ (nanopowder) was obtained from Sigma-Aldrich (Germany). All other chemicals used in this study were reagent grade and were purchased from Merck AG (Darmstadt, Germany).

Table 1. Polymerization conditions of [poli(EGDMA-2-VP)]-TiO₂ polymer microbeads

| Dispersion Phase | Organic Phase | Polymerization Conditions |
|--------------------------|------------------------|---------------------------------------|
| 50 mL Distilled water | 5 mL EGDMA | Reactor Volume: 100 mL |
| 0,2 g PVA | 3 mL VP | Stirring Rate: 700 rpm |
| | 10 mL Toluene | Time and temperature: 6 h, 60°C |
| | 0,2 g BPO | |
| | 0,5 g TiO ₂ | |

2.2 Synthesis of the [poli(EGDMA-2-VP)]-TiO₂

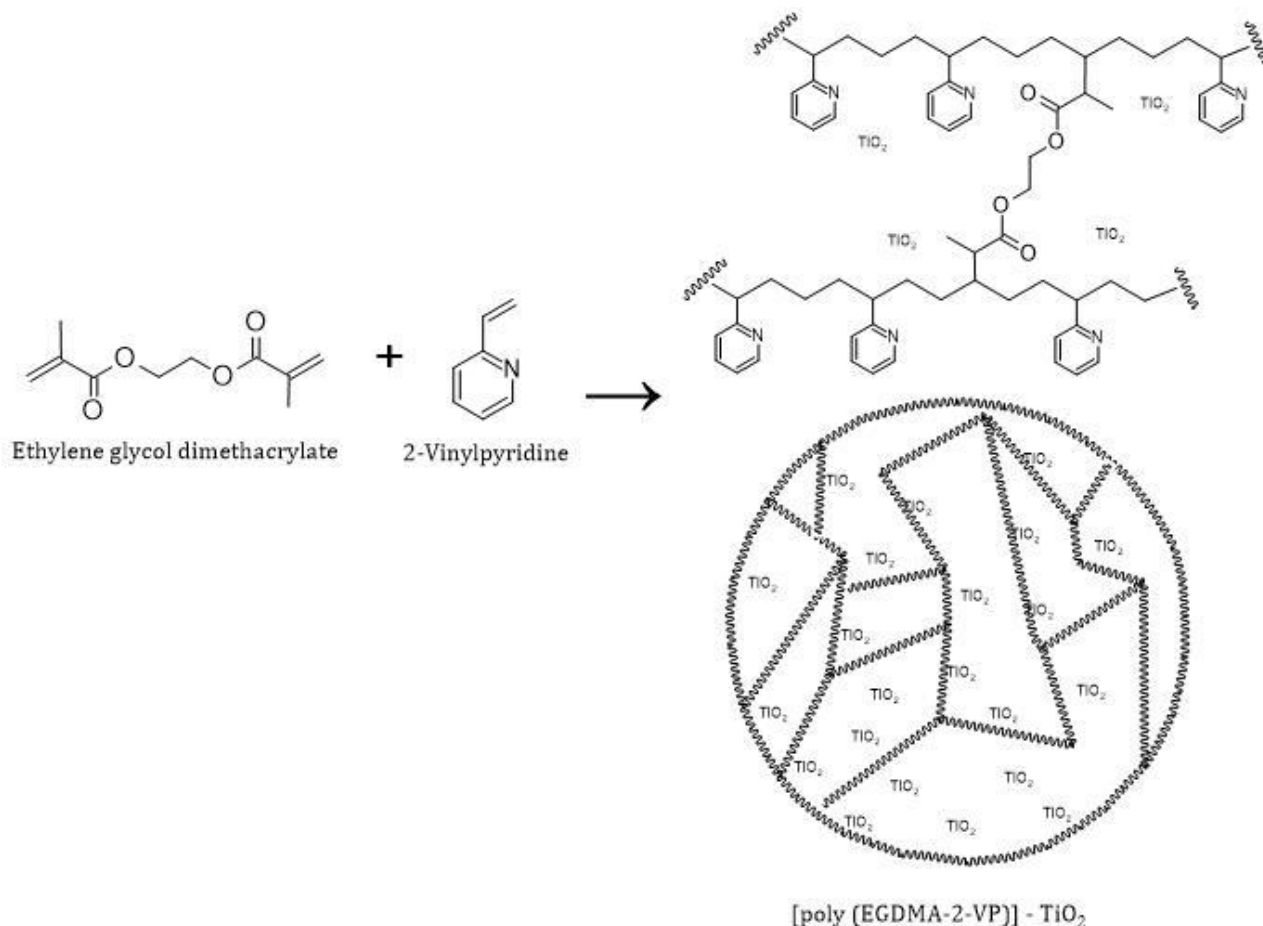
Polymer microbeads were synthesized by the suspension polymerization method. For the dispersion phase, 0.2 g of PVA was mixed in a magnetic stirrer until dissolved in 50 mL of distilled water. To prepare the organic phase, 0.2 g of benzoyl peroxide was added to 10 mL of toluene and dissolved. Then 5 mL of EGDMA and 3 mL of VP were added. The dispersion phase, 0.5 g of TiO₂, and the organic phase were added to the cylindrical polymerization reactor made of pyrex glass. The reaction occurred at a temperature of 60°C at a stirring speed of 700 rpm and for 6 hours. The polymer microbeads obtained at the end of the reaction were kept in a mixture of water and ethyl alcohol for 48 hours. The polymer microbeads were removed from the unreacted monomers and dried in a vacuum oven at 70°C for 48 hours.

2.3 Characterization studies

Surface photographs were taken by scanning electron microscopy (SEM) to determine the surface morphology of synthesized [poly (EGDMA-2-VP)] - TiO₂ microbeads. Fourier transform infrared spectrophotometer (FTIR) was used to analyze the chemical bonds in synthesized polymer microbeads. X-ray Diffraction (XRD) method was used to confirm the presence of TiO₂ in polymer microbeads.

2.4 Photocatalytic decolorization experiments

For photocatalytic decolorization of acid violet 7 dye from aqueous solution with [poly (EGDMA-2-VP)] - TiO₂ microbeads, pH, dye concentration, polymer amount, time parameters were examined. All studies were carried out both with the CAMAG UV lamp 4 model device and under direct sunlight. The maximum absorption wavelength (λ_{max}) of the dye was determined as 526 nm by Uv-vis spectrophotometry. After the experiments, the dye concentration remaining in the aqueous phase was determined by a calibration graph. Percent removal after photocatalytic decolorization was calculated as;



Scheme 1. Polymerization scheme for the preparation of [poly (EGDMA-2-VP)] - TiO₂ microbeads.

$$\% \text{ Removal AV7} = \frac{C_{in} - C_{fin}}{C_{in}} \times 100 \quad (1)$$

3.Results

3.1 Characterization

The surface morphology of [poly (EGDMA-2-VP)] - TiO₂ was elucidated by scanning electron microscopy. As seen in Figure 1, the polymers are in the form of microbeads and have a porous surface.

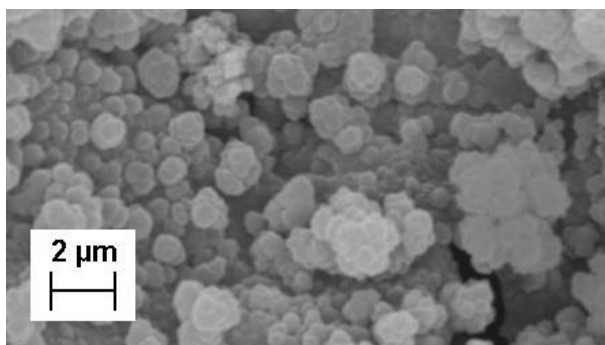


Figure 1. SEM image of [poly (EGDMA-2-VP)] - TiO₂

The structure of the bonds in the [poly (EGDMA-2-VP)] - TiO₂ microbeads was elucidated by FTIR and the FTIR spectrum is given in the Figure 2 (a). The

peak at 1724 cm⁻¹ is related to the C=O stretching of the ester functional group in the EGDMA structure. The peak at 2951 cm⁻¹ belong to the C-H bond in methylene. The peak found at 1145 cm⁻¹ belong to the C-O stretching. The peaks at 1670 cm⁻¹ (C=N stretching), 1423 cm⁻¹ (C=C stretching) and 1269 (C-N stretching) are related to the characteristic pyridine ring. The peak at 1462 cm⁻¹ is related to Ti-O-Ti stretching of TiO₂.

The presence of TiO₂ in polymer microbeads was determined by XRD and the XRD pattern is given in the Figure 2 (b). The peaks at 24° and 48° indicate that TiO₂ in the polymer microbeads is in the anatase phase, which is known to have the best photocatalytic effect [20]. The graph is inclined because the polymer matrix is amorphous [21].

3.2 pH effect on decolorization

The effect of pH on the maximum decolorization of AV7 was investigated by keeping all other parameters constant. The change in % removal with pH is given in the Figure 3. TiO₂ surface is positively charged in acidic environment [22]. The interaction between AV7 and TiO₂ is best in an acidic environment. With the increase in pH, the amount of photocatalytically degraded dye decreased.

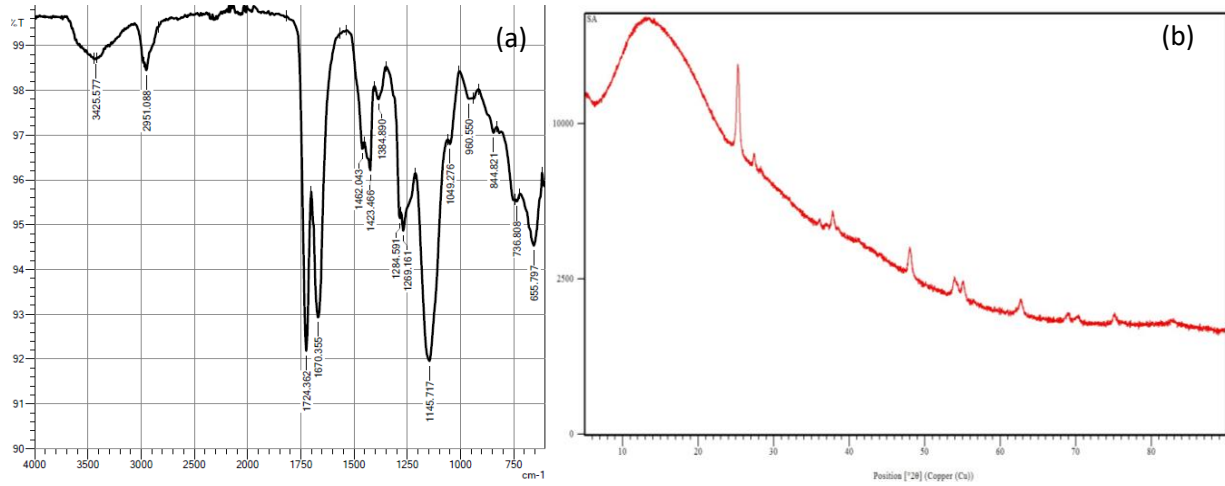


Figure 2. (a) FTIR spectrum of [poly (EGDMA-2-VP)] - TiO₂, (b) XRD patterns of [poly (EGDMA-2-VP)] - TiO₂

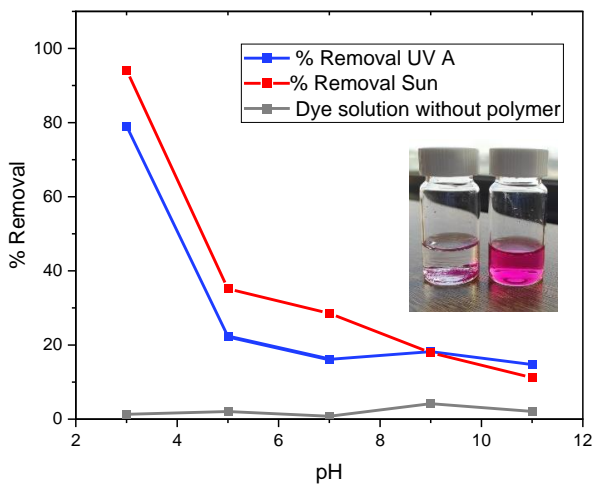


Figure 3. Photocatalytic decolorization effect of pH on AV7 dye

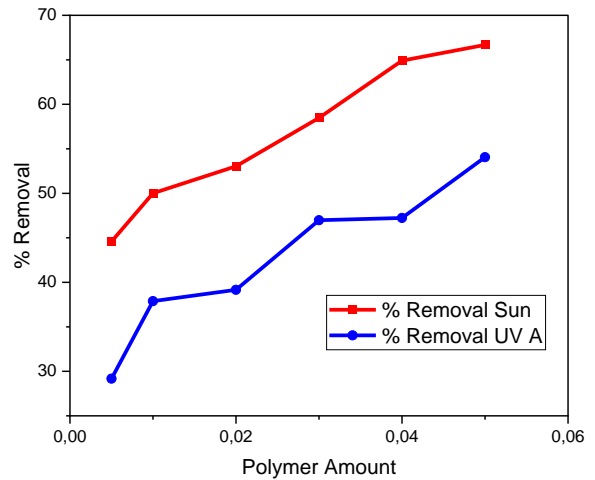


Figure 4. Effect of polymer amount on photocatalytic decolorization of AV7 dye

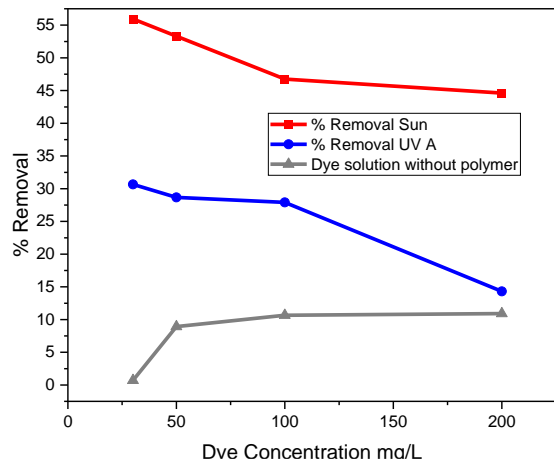


Figure 5. Effect of dye concentration on photocatalytic decolorization of AV7 dye.

3.3 Effect of polymer amount on decolorization

The effect of polymer amount on decolorization was investigated by keeping all other variables constant. The relationship between % removal and polymer content is given in the Figure 4. Decolorization increased with the increase in the amount of polymer. The reason for this situation can be explained by the fact that the incoming photons encounter more

surfaces and the formation of more radical groups [23].

3.4 Effect of dye concentration on decolorization

The effect of dye concentration on decolorization was investigated keeping all other parameters constant. The relationship between dye concentration and % removal is given in the Figure 5. According to Lambert-Beer law, the light reaching the catalyst decreased with increasing concentration. Therefore, % removal decreased with increasing concentration.

3.5 The effect of time on decolorization

To investigate the effect of time on decolorization, studies were carried out keeping all other parameters constant. Over time, the % removal has increased. The characteristic absorbances of AV 7 dyestuff at 302 and 526 nm were measured using UV visible spectrophotometer depending on time. The absorbance at 526 nm refers to the color of the dye. The absorbance at 302 nm refers to the aromatic part in the structure of the AV7 dyestuff. The decrease in the absorbance peaks seen in Figure 7 with time indicates that the dye degraded over time and the solution becomes colorless [24].

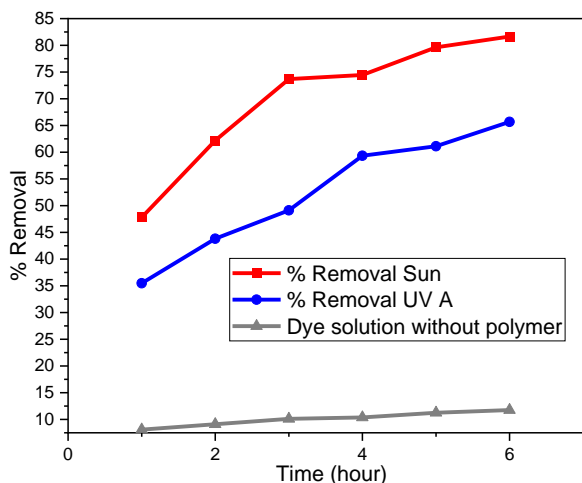


Figure 6. Effect of time on photocatalytic decolorization of AV7 dye

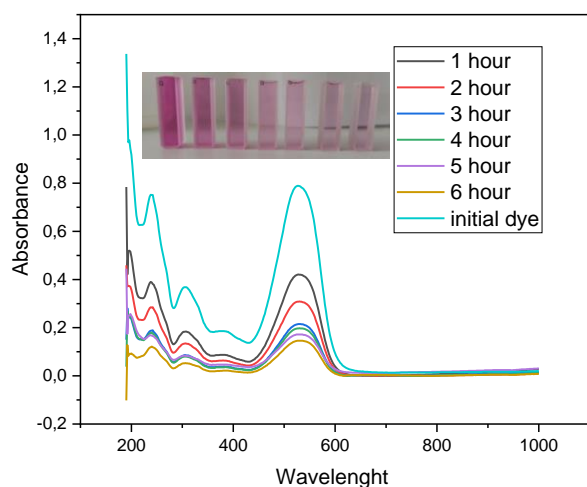


Figure 7. Degradation of AV7 changes in the UV-vis spectrum

3.6 Kinetic studies

The $\ln(C_0/C)$ -t plot was drawn to determine a suitable model for decolorization kinetics. As seen in the Figure 8, logarithmic C_0/C has given a linear graph with time. The reaction is amenable to first-order reaction kinetics.

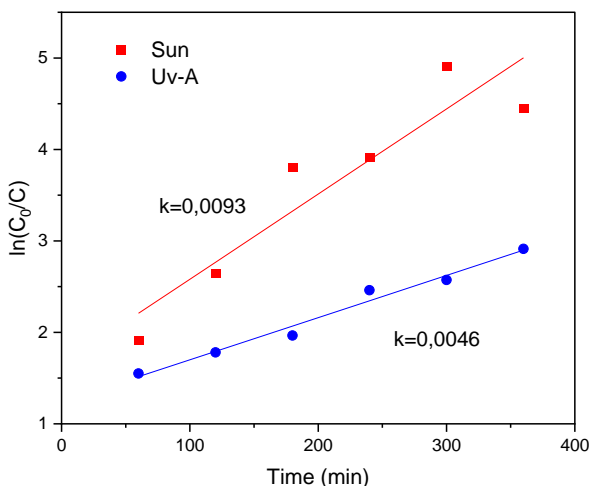


Figure 8. Photocatalytic decolorization kinetics of AV7

The reaction rate constant is obtained from the slopes of the lines. The rate constants are 0.0046 min^{-1} and 0.0093 min^{-1} under UVA light and sunlight, respectively. The increase in the rate constant indicates that the photocatalytic effects of the polymer microbeads are better under sunlight [25].

4. Conclusions

In this study [poly (EGDMA-2-VP)] - TiO₂ cross-linked microbeads were synthesized and optimum conditions for photocatalytic dye removal were determined. The conditions under which the maximum photocatalytic decolorization of the dyestuff were pH 3, polymer amount 0.05 g, dye concentration 30 mg / L, and time 5 hours. It was determined that the reaction rate fit the first-order kinetic model. [poly (EGDMA-2-VP)] - TiO₂ microbeads removed dyestuffs from aqueous solution faster than using TiO₂ nanopowder alone, and removed from aqueous solution by an easier filtering process than TiO₂ nanopowder. The results showed the usability of [poly (EGDMA-2-VP)] - TiO₂ microbeads for dye decolorization quickly, easily, without causing secondary pollution.

Acknowledgement

This work was supported by the Research Fund of The University of Uludag Project Number: OUAP-2019/9 and FGA-2021-656.

Declaration of Ethical Code

In this study, we undertake that all the rules required to be followed within the scope of the "Higher Education Institutions Scientific Research and Publication Ethics Directive" are complied with, and that none of the actions stated under the heading "Actions Against Scientific Research and Publication Ethics" are not carried out.

References

- [1] Hassaan, M. A., El Nemr, A., & Hassaan, A. 2017. Health and environmental impacts of dyes: mini review. *American Journal of Environmental Science and Engineering*, 1(3), 64-67.
- [2] Tehrani-Bagha, A. R., Mahmoodi, N. M., & Menger, F. M. 2010. Degradation of a persistent organic dye from colored textile wastewater by ozonation. *Desalination*, 260(1-3), 34-38.
- [3] Khan, S., & Malik, A. 2014. Environmental and health effects of textile industry wastewater. In *Environmental deterioration and human health* (pp. 55-71). Springer, Dordrech
- [4] Chequer, F. M. D., Lizier, T. M., de Felício, R., Zanoni, M. V. B., Debonsi, H. M., Lopes, N. P., ... & de Oliveira, D. P. 2011. Analyses of the

- genotoxic and mutagenic potential of the products formed after the biotransformation of the azo dye Disperse Red 1. *Toxicology in Vitro*, 25(8), 2054-2063.
- [5] Mani, S., Chowdhary, P., & Bharagava, R. N. 2019. Textile wastewater dyes: toxicity profile and treatment approaches. In *Emerging and eco-friendly approaches for waste management* (pp. 219-244). Springer, Singapore.
- [6] Humelnicu, I., Băiceanu, A., Ignat, M. E., & Dulman, V. 2017. The removal of Basic Blue 41 textile dye from aqueous solution by adsorption onto natural zeolitic tuff: Kinetics and thermodynamics. *Process Safety and Environmental Protection*, 105, 274-287.
- [7] Noreen, S., Tahira, M., Ghamkhar, M., Hafiz, I., Nadeem, R., Murtaza, M. A., ... & Naseem, Z. 2021. Treatment of textile wastewater containing acid dye using novel polymeric graphene oxide nanocomposites (GO/PAN, GO/PPy, GO/PSty). *Journal of Materials Research and Technology*, 14, 25-35
- [8] Li, H., Huang, H., Yan, X., Liu, C., & Li, L. 2021. A Calix [4] arene-crosslinked polymer for rapid adsorption of cationic dyes in water. *Materials Chemistry and Physics*, 263, 124295.
- [9] Liu, Y., Zhu, M., Chen, M., Ma, L., Yang, B., Li, L., & Tu, W. 2019. A polydopamine-modified reduced graphene oxide (RGO)/MOFs nanocomposite with fast rejection capacity for organic dye. *Chemical Engineering Journal*, 359, 47-57.
- [10] Wu, J. S., Liu, C. H., Chu, K. H., & Suen, S. Y. 2008. Removal of cationic dye methyl violet 2B from water by cation exchange membranes. *Journal of membrane science*, 309(1-2), 239-245.
- [11] Tan, B. H., Teng, T. T., & Omar, A. M. 2000. Removal of dyes and industrial dye wastes by magnesium chloride. *Water research*, 34(2), 597-601.
- [12] Arslan, I., Balcioglu, I. A., & Bahnemann, D. W. 2000. Advanced chemical oxidation of reactive dyes in simulated dyehouse effluents by ferrioxalate-Fenton/UV-A and TiO₂/UV-A processes. *Dyes and pigments*, 47(3), 207-218
- [13] Golob, V., Vinder, A., & Simonič, M. 2005. Efficiency of the coagulation/flocculation method for the treatment of dyebath effluents. *Dyes and pigments*, 67(2), 93-97.
- [14] Konstantinou, I. K., & Albanis, T. A. 2004. TiO₂-assisted photocatalytic degradation of azo dyes in aqueous solution: kinetic and mechanistic investigations: a review. *Applied Catalysis B: Environmental*, 49(1), 1-14.
- [15] Kangwansupamonkon, W., Jitbunpot, W., & Kiattkamjornwong, S. 2010. Photocatalytic efficiency of TiO₂/poly [acrylamide-co-(acrylic acid)] composite for textile dye degradation. *Polymer Degradation and Stability*, 95(9), 1894-1902.
- [16] Sahoo, C., Gupta, A. K., & Sasidharan Pillai, I. M. 2012. Photocatalytic degradation of methylene blue dye from aqueous solution using silver ion-doped TiO₂ and its application to the degradation of real textile wastewater. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 47(10), 1428-1438.
- [17] Kaur, S., & Singh, V. 2007. TiO₂ mediated photocatalytic degradation studies of Reactive Red 198 by UV irradiation. *Journal of Hazardous Materials*, 141(1), 230-236.
- [18] Pekakis, P. A., Xekoukoulotakis, N. P., & Mantzavinos, D. 2006. Treatment of textile dyehouse wastewater by TiO₂ photocatalysis. *Water research*, 40(6), 1276-1286
- [19] Ram, C., Pareek, R. K., & Singh, V. 2012. Photocatalytic degradation of textile dye by using titanium dioxide nanocatalyst. *International Journal of Theoretical & Applied Sciences*, 4(2), 82-88
- [20] Thamaphat, K., Limsuwan, P., & Ngotawornchai, B. (2008). Phase characterization of TiO₂ powder by XRD and TEM. *Agriculture and Natural Resources*, 42(5), 357-361.
- [21] Özel, Ş. (2019). Fotokatalitik, manyetik poli (etilenglikoldimetakrilat-vinil fosfonik asit)-tio₂ küre formunda polimer mikrokürelerin sentezi, karakterizasyonu ve reaktif mavi 221 boyarmaddesinin adsorpsiyon-desorpsiyon, fotokatalitik dekolorizasyon parametrelerinin araştırılması (Master's thesis, Bursa Uludağ Üniversitesi).
- [22] Alkaim, A. F., Aljeboree, A. M., Alrazaq, N. A., Baqir, S. J., Hussein, F. H., & Lilo, A. J. 2014. Effect of pH on adsorption and photocatalytic degradation efficiency of different catalysts on removal of methylene blue. *Asian Journal of Chemistry*, 26(24), 8445.
- [23] Elhadj, M., Samira, A., Mohamed, T., Djawad, F., Asma, A., & Djamel, N. 2020. Removal of Basic Red 46 dye from aqueous solution by adsorption and photocatalysis: equilibrium, isotherms, kinetics, and thermodynamic studies. *Separation Science and Technology*, 55(5), 867-885.

- [24] Krishnakumar, B., & Swaminathan, M. 2011. Influence of operational parameters on photocatalytic degradation of a genotoxic azo dye Acid Violet 7 in aqueous ZnO suspensions. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 81(1), 739-744
- [25] Deng, F., Li, Y., Luo, X., Yang, L., & Tu, X. 2012. Preparation of conductive polypyrrole/TiO₂ nanocomposite via surface molecular imprinting technique and its photocatalytic activity under simulated solar light irradiation. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 395, 183-189.

Bazı Fungusitlerin Genotoksik Potansiyellerinin *Drosophila* SMART ve KOMET Yöntemleri ile Araştırılması

Ayşen Yağmur KURŞUN¹, Merve GÜNEŞ¹, Burçin YALÇIN¹, Havva ERTUĞRUL¹, Bülent KAYA^{*1}

¹Akdeniz Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, 07070, Antalya, Türkiye

(Alınış / Received: 19.08.2021, Kabul / Accepted: 04.11.2021, Online Yayınlanma / Published Online: 20.04.2022)

Anahtar Kelimeler

Drosophila,
Fungusit,
Genotoksosite,
KOMET,
SMART

Özet: Her yıl birçok yeni pestisit kullanım amacıyla üretilmektedir. Pestisitlerin önemli alt gruplarından biri olan fungusitler, tarımsal ürünleri fungal enfeksiyonlardan korumak amacıyla kullanılmaktadır. Bununla birlikte fungusitlerin genotoksik potansiyelleri hakkındaki çalışmalar hala çok sınırlıdır. Bu çalışmada, yaygın kullanılan dört fungusit'in (metiram, kresoxim-methyl, propamocarb ve hymexazol) genotoksik potansiyelleri *Drosophila* Somatik Mutasyon ve Rekombinasyon Testi (SMART) ve *Drosophila* Tek Hücre Jel Elektroforezi Testi (*Drosophila* Komet Testi) kullanılarak araştırılmıştır. Son yıllarda genetik çalışmalarda yaygın olarak kullanılan *Drosophila*, insan genetik hastalıkları araştırmalarında, genetik ve moleküler yaklaşımların kullanılmasında güçlü bir sistem sağlamaktadır. Model organizma olarak *Drosophila* birçok açıdan insan sistemleri ile benzer yönler göstermektedir. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre genotoksik etkisi SMART yöntemi ile araştırılan 4 fungusitin genotoksisiteyi indüklediği tespit edilmiştir. KOMET deneyinde ise çalışılan fungusitlerin DNA tek iplik kırığına yol açtığı belirlenmiştir. Bu çalışma pestisitlerin insan sağlığı ve olası genetik hastalıklar üzerine potansiyel etkileri hakkında yeni veriler sunmaktadır.

Investigation of Genotoxic Potentials of Some Fungicides by *Drosophila* SMART and KOMET Methods

Keywords

Drosophila,
Fungicide,
Genotoxicity,
KOMET,
SMART

Abstract: Many new pesticides are produced for use every year. Fungicides, one of the important subgroups of pesticides, are used to protect agricultural products from fungal infections. However, studies on the genotoxic potential of fungicides are still very limited. In this study, the genotoxic potentials of four commonly used fungicides (metiram, kresoxim-methyl, propamocarb and hymexazol) were investigated using the *Drosophila* Somatic Mutation and Recombination Test (SMART) and the *Drosophila* Single Cell Gel Electrophoresis Test (*Drosophila* Comet Test). *Drosophila*, which has been widely used in genetic studies in recent years, provides a powerful system in the use of genetic and molecular approaches in human genetic diseases research. As a model organism, *Drosophila* is in many ways similar to human systems. According to the results obtained from the study, it was determined that 4 fungicides whose genotoxic effects were investigated by SMART method did not induce genotoxicity. In the KOMET experiment, it was determined that the studied fungicides caused DNA single strand breakage. This study provides new data on the potential effects of pesticides on human health and possible genetic diseases.

1. Giriş

Nüfusun sürekli artışı nedeni ile yeni yerleşim alanları açılmakta ve bu nedenle kullanılabilir tarım alanları da giderek azalmaktadır. Artan nüfus ve daralan tarım alanları nedeniyle bu alanlardan maksimum verimin alınması gerekmektedir. Bu bağlamda, ürün verimini

arttırmak için tarım ürünleri çok sayıda pestisit vb. kimyasala maruz kalmaktadır [1]. Pestisitler, ev, işyerleri, hastaneler ve parklar dahil olmak üzere hemen hemen her kara ve su ortamında bulunabilen toksik kimyasallardır ve tarım işçisi olsun ya da olmasın her birey, dokunma, soluma, yeme ve içme gibi yollarla her gün çok sayıda pestisite maruz

*İlgili yazar: bkaya@akdeniz.edu.tr

kalmaktadır [2]. Pestisitler, tarlada mahsul üretimi sırasında veya hasat sonrası muamelelerde haşereleri, bitki hastalıklarını ve yabancı otları kontrol etmek için yaygın olarak kullanılarak yüksek verim ve kaliteli tarımsal mahsullerin üretilmesini sağlamaktadır. Bu da kaçınılmaz olarak pestisitlerin mahsullerde ve çevrede birikmesine neden olmaktadır. Sonuç olarak, pestisit kullanımının bariz faydalarına rağmen kalıntılarının varlığından dolayı çevre ve gıda güvenliği sorunlarına ilişkin giderek artan endişeler vardır [3]. Son yirmi yılda yapılan araştırmaların çoğu, pestisitlerin su, toprak ve mahsullerde birikmesinin insan sağlığı ve ekosistemler üzerinde ciddi olumsuz etkilere sahip olabileceğini göstermiştir [4]. Günümüze kadar farklı kullanım amaçları için pek çok pestisit piyasaya sürülmüş ve bunlardan bazıları da gerekli testler yapılmadan uzun süre kullanılmıştır. Gerekli etkileri yeteri kadar kontrol edilmeden piyasaya sürülen gerekse yanlış kullanılan pestisitler, toprak kimyasının değişmesi, toprakların verimsizleşmesi ve pestisitlerin kullanıldığı bitki ve hedef dışı organizmalarda bazı genetik bozuklukların oluşması gibi birçok olumsuz sonuçlar meydana getirebilmektedir [5-7].

Pestisitler istenmeyen organizmaları azaltmasına rağmen, yaygın ve kontrolsüz şekilde kullanımları çevrede kalıntı bırakarak büyük ölçüde çevre kirliliğine sebep olurken, insan sağlığı açısından da potansiyel risk oluşturmaktadır [8-10]. Pestisitlerin yüzey ve yer altı sularına, toprağa, hedef dışı organizmalara doğrudan, kalıntılar ya da kalıcı bileşikler nedeniyle bulaşmaları pestisitlerin istenmeyen etkilerinin temelini oluşturmaktadır [11]. Yapılan bazı çalışmalar pestisitlerin yüzey akışı yoluyla su ortamlarına girerek insan ve suda yaşayan organizmalar için toksik olabildiğini göstermiştir [12, 13].

Pestisitler, görünüş, fiziksel yapı ve formülasyon şekillerine göre, etkiledikleri zararlı ve hastalık grubu ile bunların biyolojik dönemine göre, içerdikleri aktif maddenin cins ve grubuna göre, zehirlilik derecesine ve kullanım tekniğine göre çok değişik şekillerde sınıflandırılabilir. Pestisitler etki ettiği zararlı grubuna göre; insektisit, akarisit, nematodisit, rodentisit, fungusit, herbisit, bakterisit, algisit, repellentler vb. gibi çeşitli alt sınıflara ayrılabilir. Etki ettiği zararlı grubuna göre yapılan sınıflandırmada kullanım oranlarına göre en önemli üç büyük pestisit grubu, insektisit, fungusit ve herbisitlerdir [1, 11].

Pestisitlerin büyük bir sınıfı olan fungusitler, birçok mantar hastalıkları ile mücadelede ve bitki hastalıklarını önlemek için kullanılmaktadır. Tarımda fungusitler, kök, sebze ve meyvelerin depolanması sırasında ya da süs bitkileri, ağaçlar, tarla ürünleri, tahıl ve çim bitkilerine doğrudan uygulanmaktadır [14, 15]. ABD'de 2012 yılı verilerine göre bilinen pestisit sayısı 67000'dir. Bunlardan 3600'den fazlasının ise fungusit olduğu kaydedilmiştir [16].

Günümüzde hızlı nüfus artışının getirdiği en büyük sorunlardan biri de beslenme problemleridir. Bu problemin çözümü için var olan tarım alanlarını korumak ve mevcut tarım alanlarından maksimum düzeyde ürün almak amacıyla çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalar kapsamında fungusitler, bitkileri mantar ve mantar hastalıklarından korumak için kullanılmaktadır. Ancak bu kimyasal maddelerin su, toprak, bitki ve atmosferde bıraktığı kalıntılar besin zinciri yoluyla çevreyi olumsuz etkilemektedir. Aynı zamanda hayvanlar da fungusitlere gerek beslenme sırasında gerekse solunum ya da deri yolu ile maruz kalarak zarar görebilmektedir [14]. Her yıl çiftlik hayvanları fungusit uygulanmış ürünlerden kazayla da olsa zehirlenmektedir. Bazı hayvanlar fizyolojileri ve davranışları sebebiyle fungusit zehirlenmesinde diğer hayvanlara göre daha hassas olabilmektedir. Örneğin bakır sülfat, tiram, klorotalonil ve captan özel olarak balıklarda ve arılarda toksik etki yaratmaktadır. Ayrıca yabancı kuşlar da tarlalara ekilen fungusitli tohumlardan zehirlenebilmektedir [15]. İnsanlar ise tarımsal alanda kullanılan birçok fungusite gerek besinlerin kontaminasyonu ve gerekse depolama ve taşıma aşamasında ürünün funguslardan korunması amacıyla kullanılan fungusitler nedeni ile yoğun olarak maruz kalmaktadır [17].

Türkiye, son yıllarda dünyanın toplam sebze üretiminin %70'inden fazlasını oluşturarak en büyük yaş meyve ve sebze üreticilerinden biri haline gelmiştir [18]. Bu üretime bağlı olarak ülkemizde de tarımsal faaliyetin sürekliliğini sağlamak amacıyla pestisitlerin yaygın bir şekilde kullanıldığı görülmektedir. Bu çalışmada ülkemizde tarımsal alanda fungus mücadelesinde yaygın kullanıma sahip olan metiram, kresoxim-methyl, propamocarb ve hymexazolün genotoksik potansiyelleri *in vivo* *Drosophila* Somatik Mutasyon ve Rekombinasyon Testi (SMART) ve *Drosophila* Tek Hücre Jel Elektrofrezisi (KOMET) yöntemleriyle çalışılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. *Drosophila melanogaster* kanat somatik mutasyon ve rekombinasyon testi (SMART)

Drosophila SMAR yöntemi, *Drosophila* kanat imajinal disk hücrelerinde oluşan genetik değişimler sonucu heterozigotluğun kaybolması ve farklılığın fenotipte gözlenmesi esasına dayandığı ve nokta mutasyon, delesyon, kromozomlarda ayrılmama ve rekombinasyon gibi birçok genetik sonucun belirlenebildiği bir test sistemidir [19]. Bu çalışmada, normal metabolik aktiviteye sahip *mwh* / *mwh* ve *flr³* / *TM3, Bd^S* bireylerin çaprazlanması ile elde edilen transheterozigot larvalar kullanılmıştır. Yapılan çaprazlamalar aşağıdaki gibidir.

$$\text{♀ } flr^3 / TM3, Bd^S \times \text{♂ } mwh / mwh \quad (1)$$

Kuru halde bulunan *Drosophila* hazır besininin (*Drosophila* Instant Medium) yaklaşık 4,5 gramı hazırlanan test edilecek madde derişimlerinin 9 mL'si ile ıslatılarak farklı uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Bütün çalışmalar sabit sıcaklık ayarlı inkübatörde (25 + 1 °C) yapılmıştır. Uygulamalar sonunda elde edilen bireylerin kanat preparatları Graf vd (1984)'nin metoduna göre stereo mikroskop altında hazırlanmıştır [19]. Hazırlanan preparatlar ışık mikroskopunda 40X büyütmede incelenmiş ve elde edilen veriler Kaya (2000)'nin metoduna göre sınıflandırılarak bu test için kullanılan Microsta istatistik paket programı ile değerlendirilmiştir [9, 20].

2.2 Alkali tek hücre jel elektroforezi testi (KOMET)

KOMET testi, ökaryotik hücrelerde farklı bileşiklerin neden olduğu DNA hasarının belirlenmesinde kullanılan hızlı, güvenilir ve hassas bir tekniktir ve genotoksitate çalışmalarında da yaygın olarak kullanılmaktadır [21-28]. Bu çalışma kapsamında incelenecek olan fungusitlerin *Drosophila* hemositlerinde muhtemel DNA hasarı etkisi KOMET testi ile belirlenmiştir. *Drosophila* hemosit izolasyonu Irving vd. (2005)'nin metoduna göre gerçekleştirilmiştir [29]. Hücreler fosfat tamponu (PBS) ile süspansedilerek düşük erime ısısına sahip agaroz (LMA) ile hızlı bir şekilde karıştırılmış ve normal erime ısısına sahip agaroz (NMA) ile kaplanmış lamlar üzerine yayılmıştır. Lamlar soğuk

plakada bekletilmiş ve sonrasında içerisinde lizing solüsyonu (2,5 M NaCl, 100 mM Na₂EDTA, 10 mM Tris, %1 Triton X-100 ve %1 N-lauroylsarcosine sodium salt solution, pH = 10) bulunan etrafı ışık almayan şalelere yerleştirilmiştir. Lizing işlemi sonrasında preparatlar elektroforez tankında bulunan solüsyon (1 mM Na₂EDTA ve 300 mM NaOH, pH = 13) içerisine konularak burada 30 dakika beklemesi sağlanmıştır. Daha sonra, 25 V, 300 mA'de 30 dakika elektroforez yürütme işlemi gerçekleştirilmiştir. Elektroforezden sonra lamlar, içerisinde nötralizasyon solüsyonu (400 mM Tris buffer, pH = 7,5) bulunan şale içerisine alınmıştır. Her bir doz için *Drosophila* hemositlerinde 50 hücre 40X büyütmede Floresan (Nikon Eclipse E200) mikroskopta sayılarak deney tamamlanmıştır. Tüm ölçümler Comet-IV (Version 4.11) programı ile otomatik ölçüm şeklinde yapılmıştır.

3. Bulgular

3.1. SMART yönteminde normal metabolik aktiviteye sahip *Drosophila* larvalarına propamocarb, metiram, hymexazol ve kresoxim-methyl uygulamaları

SMART ile genotoksik özellikleri değerlendirilen propamocarb, metiram, hymexazol ve kresoxim-methyl uygulamalarından elde edilen sonuçlar Tablo 1'de gösterilmiştir. Bu dört fungusitin genotoksik etkileri değerlendirilirken her bir derişim için, normal kanatlı bireylerden kanat preparatları hazırlanarak

Tablo 1. Normal metabolik aktiviteye sahip *Drosophila*'da Propamocarb, Metiram, Hymexazol ve Kresoxim-methyl dozlarının 72±4 saatlik SMART uygulamaları

| Derişimler (mM) | Kanat Sayısı (N) | Küçük tek tip klonlar (1-2 hücre) (m=2) | | | Büyük tek tip klonlar (> 2 hücre) (m=5) | | | İkiz klonlar (m=5) | | | Toplam mwh klonlar (m=2) | | | Toplam klonlar (m=2) | | | Klon İndüksiyon Frekansı (10 ⁵ hücre) |
|------------------------|------------------|---|--------|----|---|--------|----|--------------------|--------|----|--------------------------|---------|----|----------------------|---------|----|--|
| | | No. | Fr. | D. | No. | Fr. | D. | No. | Fr. | D. | No. | Fr. | D. | No. | Fr. | D. | |
| Normal Kanat | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Distile Su | 80 | 19 | (0,24) | - | 1 | (0,01) | - | 0 | (0,00) | - | 20 | (0,25) | - | 20 | (0,25) | - | (1,02) |
| 4 mM EMS | 10 | 78 | (7,80) | + | 47 | (4,70) | + | 5 | (0,50) | + | 123 | (12,30) | + | 130 | (13,00) | + | (50,41) |
| Propamocarb | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 80 | 15 | (0,19) | - | 5 | (0,06) | i | 0 | (0,00) | i | 20 | (0,25) | - | 20 | (0,25) | - | (1,02) |
| 2 | 80 | 16 | (0,20) | - | 2 | (0,02) | i | 0 | (0,00) | i | 18 | (0,22) | - | 18 | (0,22) | - | (0,92) |
| 5 | 80 | 16 | (0,20) | - | 1 | (0,01) | i | 0 | (0,00) | i | 17 | (0,21) | - | 17 | (0,21) | - | (0,87) |
| 10 | 80 | 17 | (0,21) | - | 0 | (0,00) | i | 1 | (0,01) | i | 18 | (0,22) | - | 18 | (0,22) | - | (0,92) |
| Metiram | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 80 | 13 | (0,16) | - | 4 | (0,05) | i | 2 | (0,02) | i | 19 | (0,24) | - | 19 | (0,24) | - | (0,97) |
| 2 | 80 | 17 | (0,21) | - | 4 | (0,05) | i | 2 | (0,02) | i | 22 | (0,28) | - | 23 | (0,29) | - | (1,13) |
| 5 | 80 | 21 | (0,26) | - | 3 | (0,04) | i | 1 | (0,01) | i | 25 | (0,31) | i | 25 | (0,31) | i | (1,28) |
| 10 | 80 | 16 | (0,20) | - | 3 | (0,04) | i | 0 | (0,00) | i | 19 | (0,24) | - | 19 | (0,24) | - | (0,97) |
| Hymexazol | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 80 | 21 | (0,26) | - | 2 | (0,02) | i | 0 | (0,00) | i | 23 | (0,29) | - | 23 | (0,29) | - | (1,18) |
| 2 | 80 | 16 | (0,20) | - | 4 | (0,05) | i | 2 | (0,02) | i | 22 | (0,28) | - | 22 | (0,28) | - | (1,13) |
| 5 | 80 | 19 | (0,24) | - | 2 | (0,02) | i | 0 | (0,00) | i | 22 | (0,28) | - | 22 | (0,28) | - | (1,13) |
| 10 | 80 | 19 | (0,24) | - | 6 | (0,08) | i | 1 | (0,01) | i | 26 | (0,32) | i | 26 | (0,32) | i | (1,33) |
| Kresoxim-methyl | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 80 | 14 | (0,18) | - | 0 | (0,00) | i | 1 | (0,01) | i | 15 | (0,19) | - | 15 | (0,19) | - | (0,77) |
| 2 | 80 | 15 | (0,19) | - | 4 | (0,05) | i | 0 | (0,00) | i | 18 | (0,22) | - | 19 | (0,24) | - | (0,92) |
| 5 | 80 | 15 | (0,19) | - | 3 | (0,04) | i | 2 | (0,02) | i | 20 | (0,25) | - | 20 | (0,25) | - | (1,02) |
| 10 | 80 | 20 | (0,25) | - | 3 | (0,04) | i | 1 | (0,01) | i | 24 | (0,30) | i | 24 | (0,30) | i | (1,23) |

Fr., frekans; D., istatistik sonuçlarının gösterimi; +, pozitif (genotoksik); -, negatif (genotoksik değil); i, önemsiz fark; m= çarpım faktörü; olasılık düzeyi=0.05.

incelenmiştir. Bu çalışmada her bir doz için 80 kanat mikroskop altında incelenmiştir. Negatif kontrol grubu olan distile su uygulamasında, preparatı yapılan 80 kanatta 19 adet küçük tek tip klon, 1 adet büyük tek tip klon olmak üzere toplam 20 adet klon belirlenmiştir. Toplam *mwh* klon sayısı ise 20 olarak bulunmuştur. Distile su uygulamasında klon indüksiyon frekansı ise 1,02 olarak hesaplanmıştır. Çalışmamızda pozitif kontrol olarak kullanılan etil metan sülfonat (EMS) uygulamalarının sonucunda, distile su ile karşılaştırıldığında değerlendirmede kullanılan tüm klon tiplerinde istatistiksel önemde artış tespit edilmiştir.

Uygulaması yapılan fungusitlerin çalışılan tüm dozlarda (1, 2, 5 ve 10 mM) ve tüm parametreler açısından (küçük tek tip klon, büyük tek tip klon, ikiz klon, toplam *mwh* klon ve toplam klon) kontrol grubu distile suya göre istatistiki açıdan pozitif sonuç gözlenmemiştir. Kresoxim-methylin küçük tek tip klon, toplam *mwh* klon ve toplam klon parametrelerinde doza bağlı olarak klon frekansında artış olduğu tespit edilmiştir ancak istatistiki açıdan öneme sahip değildir. Hymexazolün büyük tek tip klon, toplam *mwh* klon ve toplam klon parametreleri açısından en yüksek dozunda (10 mM) en fazla klon sayısına sahip olduğu ancak istatistiki olarak anlamlı sonuç göstermediği belirlenmiştir. Propamocarbın küçük tek tip klonların sayısında doza bağlı artış gözlenmiştir ancak kontrol grubuna göre istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmamaktadır. Metiram, büyük tek tip klon sayısında kontrol grubu olan distile suya göre artış göstermiş olsa da burada istatistiksel önemde bir fark bulunmamaktadır.

3.2 KOMET testinde propamocarb, metiram, hymexazol ve kresoxim-methyl uygulamasından sonra *Drosophila* hemositlerinde meydana gelen DNA hasarı

KOMET sonucuna göre pozitif kontrol grubu olan EMS uygulamasında tüm parametreler açısından (kuyruk uzunluğu, kuyruk yoğunluğu ve kuyruk momenti) istatistiki olarak kontrol grubuna göre anlamlı tek iplik DNA hasarı gözlenmiştir.

Propamocarbın kuyruk uzunluğu parametresi açısından 2 mM haricindeki dozlarda (1, 5 ve 10mM) pozitif sonuç gözlenmiştir. Metiramın sadece en yüksek dozunda (10 mM) kuyruk uzunluğu ve kuyruk momenti açısından istatistiki olarak anlamlı artış gözlenmiştir. Diğer dozlarda (1, 2 ve 5 mM) değerlendirilen tüm parametreler açısından kontrol grubuna göre istatistiksel anlamda bir fark gözlenmemiştir. Hymexazolün 2, 5 ve 10 mM'lık uygulamalarında kuyruk uzunluğu bakımından istatistiki olarak anlamlı pozitif sonuç gözlenmiştir. 1 mM'lık uygulamasında ise kuyruk momenti bakımından istatistiksel olarak anlamlı genotoksik etki saptanmıştır. Bunun yanında kuyruk yoğunluğunda kontrole göre artış gözlenmiş olsa da istatistiksel olarak anlamlı değildir. Kresoxim-methyl uygulama sonuçlarında ise sadece kuyruk uzunluğu parametresi açısından 1, 2 ve 10 mM'lık konsantrasyonlarda anlamlı pozitif sonuç elde edilmiştir. Ayrıca kuyruk yoğunluğunda kontrol grubu olan distile suya oranla artış yaşansa da bu sonuç istatistiksel olarak anlamlı fark göstermemiştir (Tablo 2).

Tablo 2. KOMET testinde *Drosophila* hemositlerinde Propamocarb, Metiram, Hymexazol ve Kresoxim-methyl uygulamasından sonra meydana gelen DNA hasarı

| | Kuyruk Uzunluğu (µm)# | Kuyruk Yoğunluğu (%)# | Kuyruk Momenti (µm)# |
|------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|
| Distile Su | 42,38 ± 1,96 | 18,38 ± 2,81 | 2,55 ± 0,39 |
| 4 mM EMS | 80,90 ± 4,05*** | 31,47 ± 2,56* | 8,35 ± 1,19*** |
| Propamocarb | | | |
| 1 mM | 56,8 ± 1,34** | 22,55 ± 2,20 | 4,78 ± 0,55 |
| 2 mM | 44,16 ± 2,18 | 16,69 ± 2,17 | 3,20 ± 0,45 |
| 5 mM | 56,84 ± 1,70** | 21,98 ± 2,46 | 4,31 ± 0,58 |
| 10 mM | 60,28 ± 2,09*** | 18,28 ± 2,14 | 3,35 ± 0,43 |
| Metiram | | | |
| 1 mM | 46,02 ± 2,19 | 13,28 ± 1,83 | 2,45 ± 0,38 |
| 2 mM | 47,50 ± 1,75 | 23,04 ± 2,56 | 3,34 ± 0,34 |
| 5 mM | 44,32 ± 1,46 | 18,83 ± 2,41 | 2,78 ± 0,37 |
| 10 mM | 69,54 ± 1,92*** | 17,59 ± 2,49 | 7,34 ± 0,87*** |
| Hymexazol | | | |
| 1 mM | 52,76 ± 1,83 | 27,65 ± 3,13 | 5,54 ± 0,63* |
| 2 mM | 62,46 ± 3,43*** | 20,48 ± 3,01 | 3,88 ± ,51 |
| 5 mM | 57,50 ± 2,22*** | 25,10 ± 2,92 | 4,65 ± 0,52 |
| 10 mM | 55,82 ± 2,09** | 21,67 ± 2,82 | 4,31 ± 0,48 |
| Kresoxim-methyl | | | |
| 1 mM | 56,06 ± 2,17** | 20,14 ± 2,54 | 4,46 ± 0,62 |
| 2 mM | 60,24 ± 2,22 *** | 21,33 ± 2,58 | 3,78 ± 0,40 |
| 5 mM | 52,96 ± 2,71 | 16,83 ± 2,13 | 3,34 ± 0,56 |
| 10 mM | 54,24 ± 1,68* | 19,32 ± 2,96 | 3,36 ± 0,57 |

* 0,01 < p < 0,05; ** 0,001 < p < 0,01; *** p < 0,001

Deneyden elde edilen ortalama ± standart hata (deney setinde her doz için toplam 50 hücre sayılmıştır)

4. Tartışma ve Sonuç

Fungusitler evsel, tarımsal ve endüstriyel alanlarda tarımsal ürünlerin yetiştirilmesi, depolanması ve taşınması gibi farklı alanlarda yoğun olarak kullanılmaktadır. Bunun yanında iç mekânlarda fungus kontrolünde de kullanım alanları bulunmaktadır. Fungusitlerin tarımsal alanda kullanımı, bitkilere etki eden mantarların gelişimini engelleyerek hastalıkların oluşmasını engellemektedir [30]. Ticari tarım ürünlerinin yetiştirilmesinde hastalık ve zararlılarla mücadele önemli kültürel işlemlerin arasında yer almaktadır. Hasatı yapılan ürünlerde çeşitli mantar hastalıklarını önlemek amacıyla kontakt veya sistemik etkili fungusitler kullanılmaktadır [31].

Fungusitlerin etki mekanizmaları ve metabolize edilişleri farklı olduğundan insanlar ve diğer hedef dışı canlılar tarafından sindirilen maddeler teratojenik, mutajenik ve karsinojenik gibi farklı etkiler yaratabilmektedir [32,33]. Tarımda, depolamada ve ürün işleme sırasında kullanılan fungusitler düşük toksik değerlerde olduğu kadar hayvanlar için öldürücü dozlara kadar da çıkabilmektedir. Yaşam alanlarında fungusitlerin yanlış kullanımı, kaza ve dikkatsizlikler çiftlik hayvanları ile evcil hayvanlar için tehlike oluşturmaktadır [15].

Literatürdeki pestisit çalışmalarının büyük çoğunluğunu insektisit ve herbisit araştırmaları oluşturmaktadır. Ancak fungusitlerin yaygın kullanımına rağmen fungusitlerin farklı etkilerine ilişkin çok az sayıda araştırma bulunmaktadır. Bunların içindeki genotoksisite çalışmaları da oldukça sınırlı sayıdadır. Bu çalışmada, ülkemizde de yaygın kullanılan dört fungusit'in (metiram, kresoxim-methyl, propamocarb ve hymexazol) genotoksik potansiyelleri *Drosophila* SMART ve KOMET yöntemleri kullanılarak araştırılmıştır.

Fusarium, *Aphanomyces*, *Pythium* ve *Corticium spp.*'nin neden olduğu hastalıkların kontrolü için dünya çapında sistemik bir toprak ve tohum fungusiti olarak kullanılmakta olan hymexazol, mücadele edilen fungusun DNA ve RNA sentezini bozarak etkisini göstermektedir [34]. Wu vd. (2005) çalışmalarında insan hepatoma hücre hattı (HepG2)'nda hymexazol ile birlikte oxazole fungusitler grubunda bulunan vinclozolinin genotoksik etkilerini Mikronükleus (MN) testi ile araştırmışlardır. Çalışmada 24 saatlik uygulama sonucunda 50, 100, 200 ve 400 μM 'lık dozlarda genotoksik etki gözlenmemiştir. Bunun yanında 400 μM 'lık dozda sitotoksisite tespit edilmiştir [35]. Sanchez-Argüello vd. (2012) *Physella acuta*'da vinclozolinin embriyo toksisitesi ve genotoksik etkilerini araştırmıştır. Vinclozolin düşük embriyo toksisitesi göstermiş bunun yanında yapılan mikronükleus analizlerinde çalışılan iki dozdan (5 ve 10 mg/L) düşük olanı genotoksik etki göstermiştir [36]. Hymexazolün güvenliği üzerine kapsamlı

çalışmalar da bu bileşiğin toksisitesinin düşük olduğunu ortaya koymuştur. 90 günlük besleme çalışmaları ile hymexazolün subakut toksisite etki düzeyleri ratlar için 1800 ppm (130 mg/kg/gün)-5000 ppm (300 mg/kg/gün) ve farelerin 2500 ppm (375 mg/kg/gün) olarak gösterilmiştir. 2 yıllık besleme çalışmaları ile hymexazolün kronik toksisite etki düzeyleri sıçanlar için 300 ppm (20mg/kg/gün) ve beagle köpekleri için 15 mg/kg/gün olarak gösterilmiştir. Teratojenite ve üç nesil üreme çalışmalarında sırasıyla 180 ppm-1800 ppm'e kadar olan diyet düzeylerinde herhangi bir etki göstermemiştir. Mikroorganizmalarla yapılan mutajenez çalışmasında yüksek konsantrasyonlarda bile negatif sonuç gözlenmiştir. Hymexazolün kuşlara ve balıklara yönelik etkileri önemsizdir [37]. Çalışmamızda SMART deneyinden elde ettiğimiz verilere göre hymexazolün *Drosophila* SMART deneyinde genotoksik etki göstermediği gözlenmiştir. Büyük tek tip ve küçük tek tip klonlarda meydana gelen artışında önemsiz istatistiksel değerlere sahip olan hymexazol, küçük tek tip, toplam *mwh* klon ve toplam klon parametrelerinde de genotoksisite yaratmamıştır. Ancak DNA tek iplik kırıklarının belirlendiği KOMET deneyinde kuyruk uzunluğu parametresinde hymexazol tüm dozlarında kontrol grubuna göre yüksek genotoksisiteyi indüklediği belirlenmiştir. Elde edilen bu sonuçlar daha önceki çalışmalar ile karşılaştırıldığında farklı mekanizmaya sahip farklı test sistemlerinde farklı sonuçlar gözlenebildiğini göstermektedir. Bu çalışmada da mekanizmaları farklı iki test kullanılmış ve farklı sonuçlar elde edilmiştir. Bu bağlamda genotoksisite çalışmalarının farklı test sistemleri ile daha geniş bir spektrumda değerlendirilmesi gerektiğini göz önüne sermektedir.

İlk geniş spektrumlu strobilurin fungusit olarak bilinen kresoxim-methyl, *Ascomycete*, *Basidiomycete* ve *Oomycete* patojenlerinin neden olduğu geniş bir hastalık yelpazesini kontrol etmek için koruyucu bir fungusit olarak kullanılmaktadır. Etkilerini fungal hastalık patojeninin mitokondri iç zarında yer alan Kompleks III üzerinde göstererek mitokondriyal elektron taşınımının engellemeleriyle göstermektedirler [38]. Lee vd.'leri kresoxim-methyl uygulaması yapan kişilerde dermal ve solunum yoluyla hangi oranda bu fungusite maruz kaldıklarını araştırmışlardır. Çalışma sonucunda fungusit uygulaması yapan bireylerde en çok maruziyetin ön kol (%35,5), göğüs ve karın (%30,2) ve ellerde (%17,9) gerçekleştiğini tespit etmişlerdir ve bu durum bizlere kresoxim-methyl fungusiti uygulayan tarım işçilerinin bünyelerine oldukça fazla fungusit aldıklarını göstermektedir [39]. Cui vd. (2017) çalışmasında *Daphnia magna*'ya karşı 3 strobilurin fungusidinin (kresoxim-methyl, pyraclostrobin ve trifloxystrobin) akuatik toksisitesini araştırmışlardır. Yenidoğanda 48 saatlik %50 etkin konsantrasyonunun (EC50) değerlerinin kresoxim-methyl, pyraclostrobin, ve trifloxystrobin için sırasıyla

443,3 mg/L, 20,9 mg/L ve 23,0 mg/L olduğunu göstermişlerdir. 3 strobilurin, *D. magna*'daki önemli detoksifikasyon enzimi glutatyon S-transferaz (GST) aktivitesini önemli ölçüde indüklemiştir. 3 strobilurin, *D. magna* embriyolarına karşı daha yüksek toksisite göstermiştir. 48 saatlik EC50, sırasıyla, kresoxim-methyl, piraklostrobin ve trifloxistrobin için 157,3 mg/L, 3,9 mg/L ve 1,7 mg/L olarak bulunmuştur. Strobilurinlerin, subletal konsantrasyonlarında *D. magna*'nın çoğalmasını, gelişimini ve büyümesini önemli ölçüde etkileyebileceğini ortaya koymaktadır [40]. Flampouri vd. (2016) sitokrom bc1 inhibitörü olan strobilurin fungusiti kresoxim-methylin memeli renal hücre hattının redoks dengesini araştırmışlardır. Kresoxim-methylin sub-nefrotoksik konsantrasyonlarına memelilerin maruz kalması sonucunda ortaya çıkabilecek toksisitenin hücresel ve biyokimyasal mekanizmalarını araştırmak için, fibroblast benzeri renal Vero hücrelerinde hücre canlılığı üzerindeki etkileri ve özellikle oksidatif stres, mitokondriyal solunum fonksiyonları ve apoptoz ile ilgili çeşitli parametreler üzerindeki etkileri incelenmiştir. Mitokondriyal süperoksit oluşumunun yükselmesi mitokondriyal transmembran potansiyelindeki azalma ile birlikte mitokondriyal disfonksiyonu ortaya koymuştur. Antioksidan enzim aktiviteleri ve GSH azalması, artmış H₂O₂ ve nitrit salınımı ile birlikte, oksidatif stres ve hücresel göçü indüklemiştir. Hücre içi kalsiyumun yükseltilmesi de gözlemlenirken, apoptoz için deneysel bir kanıt bulunmamıştır [41]. Ayrıca N2a hücreleri (fare nöroblastom hücre hattı) üzerinde kresoxim-methyl maruziyeti etkisini bir önceki çalışmaya benzer şekilde mitokondriyal süperoksit oluşumunda artış ve mitokondriyal transmembran potansiyelinde azalma ile gösterdiği tespit edilmiştir [42]. Regueiro vd. (2015) çalışmalarında 9 fungusitin (kresoxim-methyl, ametocradin, boscalid, cyazofamid, dimethomorph, fenhexamid, mepanipyrim, metrafenone ve pyraclostrobin) primer kültüre edilmiş kortikal nöronlar üzerindeki toksisitesini araştırmışlardır. 7 gün 0,1-100 µM konsantrasyonlarda *in vitro* maruziyet sonucunda MTT hücre canlılık testinde doza bağımlı toksisite gözlenmiştir. Kresoxim-methyl ve pyraclostrobin, hücre içi kalsiyumda [Ca²⁺] hızlı bir yükselmeye ve mitokondriyal zar potansiyelinin güçlü depolarizasyonuna neden olan en nörotoksik bileşiklerdir. Mitokondriyal solunum kompleksi III'ü engelleyerek etki edenler (Cyazofamid, Kresoxim-methyl ve Pyraclostrobin), daha yüksek toksisite seviyelerini göstermiştir [43].

Liu vd. (2013) çalışmalarında, Çin'de en önemli su ürünleri yetiştirme türlerinden olan ot sazanının (*Ctenopharyngodon idella*) erken yaşam aşamasında, üç ortak strobilurin türevi üç fungusitin (trifloxystrobin (TFS), azoxystrobin (AZ) ve kresoxim-methyl (KM)) akut toksisitesini değerlendirmişlerdir. Gelişmekte olan bireylerde normal gelişim parametreleri (LC50 ve ortalama kalp hızı), ilişkili genlerin ifadesi ve üç antioksidan enzim aktivitesi 48

saat boyunca kaydedilmiştir. Yapılan çalışmada, bu üç fungusitin, katalaz (CAT) ve peroksidaz (POD) aktivitesini arttırdığı ve süperoksit dismutaz (SOD) aktivitesini azalttığı, üç büyümeyle ilişkili genin (IGF-1, IGF-2 ve GHR) ifadelerini önemli ölçüde inhibe ettiği gösterilmiştir. Bu çalışma ile *C. idella*'nın erken gelişimi üzerine TFS, AZ ve KM'nin potansiyel toksik etkileri ortaya konmuştur [44]. Liu vd., (2018) *Chlorella vulgaris* algi üzerinde kresoxim-methyl maruziyetinin genotoksik etkisini incelemek üzere yaptıkları KOMET deneyi sonucunda kresoxim-methyl fungusitinin genotoksik potansiyele sahip olduğunu belirtmişlerdir [45]. Yapmış olduğumuz çalışmadan elde edilen sonuçlara göre; kresoxim-methyl ile yapılan SMART deneyinde bu fungusitin tüm parametrelerde kontrol grubuna göre genotoksisiteyi istatistiksel önemde indiklemediği tespit edilmiştir. KOMET deneyinden elde edilen sonuçlara bakıldığında ise çalışılan bu fungusitlerin istatistiksel olarak anlamlı genotoksik etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Ancak bu etkinin doz artışına bağlı olmadığı gözlenmiştir. KOMET deneyi ile tespit edilen kuyruk uzunluğu en fazla 2 mM'lık dozda, bunu takiben 1, 10 ve 5 mM'lık dozlarda saptanmıştır. Bu deneyde ölçülen diğer parametreler kuyruk yoğunluğu ve kuyruk momentinde ise istatistiksel önemde kontrol grubundan farklı olmadığı belirlenmiştir. Literatürde yer alan çalışmalara bakıldığında kresoxim-methylin oksidatif hasara neden olduğu, antioksidan enzimleri inhibe ettiği ve yarattığı genotoksik etkinin de ROS (Reaktif oksijen türleri) kaynaklı olabileceği gözlenmektedir. ROS kaynaklı genetik hasarın gözlenebildiği KOMET deneyinde elde edilen sonuçlar bu bilgilerle paralellik göstermektedir ancak hasarı meydana getiren mekanizmaların tespiti için ayrıntılı ek çalışmalar gerekmektedir.

Ditiokarbamat grubu fungusitler, bileşimlerinde yer alan nitrojen atomuna bağlanan reaktif bir hidrojen atomu nedeniyle mantar hücreleri üzerine etki etmeden önce alt bileşiklere dönüştürülmektedirler. Bir ditiokarbamat fungusiti olan metiramın biyotransformasyonu ile oluşan toksik bir alt bileşik olan etilentiyoür'ün (ETU) oluştuğu ve bu şekilde fungi üzerinde etki gösterdikleri bilinmektedir [46]. İmmünitenin elemanları olan doğal öldürücü hücreler (Natural Killer Cells) üzerinde yapılan bir çalışmada metiram fungusitinin bu hücrelerin tümör hücrelerini parçalama kabiliyetleri üzerinde etkisi araştırılmıştır. Çalışma sonucunda metiramın insan doğal öldürücü hücrelerinin sitotoksik fonksiyonlarına zarar verdiği tespit edilmiştir [47]. Sakr ve Shalaby (2012) çalışmalarında hamile albino farelerde metiramın histolojik ve histokimyasal etkilerini değerlendirmek için gebeliğin 2. gününden 19. gününe kadar metiramın oral uygulamasını gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonucunda metiramın hepatik doku ve böbrek korteksinde birçok histolojik ve histokimyasal değişikliklere neden olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Hamile farelerin karaciğerinde ve böbreklerinde metiram ile gözlemlenen histolojik ve histokimyasal

değişikliklerin antioksidanların tükenmesi ve lipit peroksidasyonunun yükselmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir [48]. Charles vd. (2000) metiramın subkronik ve kronik toksisitesi ve kanserojen potansiyelini araştırmışlardır. Kronik karsinogenite rat çalışmasındaki dozlar 0, 5, 20, 80 veya 320 ppm olarak, fare çalışmasındaki diyetler 0, 100, 300 veya 1000 ppm dozlarında 89 hafta (dişiler) veya 95 hafta (erkekler) olarak uygulanmıştır. Her iki türde kanserojen yanıt gözlenmemiştir. Sıçanlarda ve farelerde yapılan subkronik araştırmalarda hedef organ olarak tiroid araştırılmıştır. Sıçan çalışmasında 0, 5, 80, 320 veya 960 ppm'lik dozlar kullanılmış ve NOAEL [No Observed Advers Effect Level (Deney Hayvanlarında gözlenebilen hiçbir yan etki göstermeyen doz)] değeri 80 ppm olarak bulunmuştur. Subkronik fare çalışmasında, 0, 300, 1000, 3000 veya 7500 ppm içeren diyetler kullanılmıştır ve NOAEL değeri 300 ppm tespit edilmiştir. Özetle, bu çalışmaların bulguları, kemirgenlerde metiramın toksisitesini ortaya koymaktadır [46]. Çalışmamızda elde edilen sonuçlara göre metiram SMART deneyinde genotoksik etki göstermemiştir. Büyük tek tip klonlar ve ikiz klonlar parametrelerinde meydana gelen hafif artış ise istatistiksel öneme sahip değildir. KOMET deneyinde elde edilen sonuçlara baktığımızda metiramın en yüksek dozu olan 10 mM hem kuyruk yoğunluğu hem de kuyruk momentinde istatistiksel olarak anlamlı DNA hasarına neden olmuştur. Çalışılan diğer dozlarda ve kuyruk yoğunluğunda meydana gelen hasar doza bağlı veya istatistiksel olarak anlamlı değildir.

Bir karbamat fungusiti olan propamocarbın *Pythium spp.*, *Peronospora spp.*, *Phytophthora spp.*, *Bremia spp.* ve *Pseudoperonospora spp.* dahil olmak üzere çeşitli oomycetes mantarlarının gelişimindeki tüm aktif büyüme aşamalarını inhibe ederek etkilerini gösterdikleri bilinmektedir [49]. Propamocarbın erkek yetişkin farelerdeki nörotransmitter salgısı ve davranış üzerine gerçekleştirilen bir çalışmada propamocarb maruziyetinin lokomotor aktivite üzerinde bozukluğa ve nörotoksisiteyi indüklemeye potansiyeline sahip olduğu tespit edilmiştir [50]. Zebra balıkları üzerinde propamocarb maruziyetinin araştırıldığı bir başka çalışmada da benzer şekilde propamocarb maruziyetinin gelişim, lokomotor aktivite ve oksidatif stres üzerinde negatif etkiye sahip olabileceği gösterilmiştir [4]. Aydemir ve Bilaloğlu (2004) fenarimol ve propamocarbın genotoksik etkilerini Swiss albino farelerde kemik iliğinde mikronukleus ve kromozom sapmaları testleri ile araştırmışlardır. Farelere intraperitoneal olarak dört farklı doz (50, 100, 200 ve 400 mg/kg vücut ağırlığı) fenarimol ve propamocarb enjekte etmişlerdir. Fenarimolün 24, 36 ve 48 saatlik uygulamadan sonra MN'de belirgin bir artış oluşturmadığı ve kromozom sapmalarının sayısını önemli ölçüde arttırmadığı, ancak yüksek dozlarda mitotik indeksi düşürdüğü belirlenmiştir (P<0,05). Propamocarbın ise MN

sıklığını artırmazken, tüm örnekleme aralıklarında polikromatik/normokromatik eritrosit oranını azalttığını saptamışlardır. Propamocarb, negatif kontrol grubuna kıyasla mitotik indeksi düşürdüğü saptanmıştır (P<0.001). Bu sonuçlara katkıda bulunarak, fenarimol ve propamocarbın, *in vivo* fare kemik iliğinde genotoksik değil, fakat sitotoksik etkilere sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır [51]. Falfushynska vd. (2013) çalışmalarında fungusit karışımı (propamocarb ve mankozeb karışımı, 91 µg/L-1)'nin tatlı su midyelerinin üzerindeki etkisini araştırmışlardır. İki farklı bölgeye [kirli (A) ve kirlenmemiş (F)] ait çift kabuklu *mollusca Anodonta anatina* fungusit karışımına 14 gün maruz bırakılmıştır. MN ve nükleer anormalliklerin seviyeleri, her iki bölgedeki kontrol grubu midyelerinde benzer şekilde düşükken (yaklaşık %2) uygulama sonrasında 4-5 kat arttığı belirlenmiştir. Her iki maruz kalmış grupta da DNA zincir kırılma seviyesi de yükselmiştir. Oksiradikal konsantrasyonunun yükselmesi, A ve F bölgelerinde elde edilmiş olan önemli sonuçlardan bir tanesidir. Bu nedenle, maruz kalmanın bir sonucu olarak oksidatif hasarın indüklendiği doğrulanmıştır. Karbamat, kolinesteraz tükenmesine ve sitotoksisiteye neden olmamıştır. Ancak her iki bölgede de genotoksisite ve pro-oksidan etkiler açısından birbirine yakın yanıt vermiştir [52]. Çalışmamızda değerlendirilen bir diğer fungusit olan propamocarb SMART deneyinde tüm parametrelerde genotoksik etki göstermemiştir. Bunun yanında KOMET deneyinde kuyruk uzunluğunda 1, 5 ve 10 mM'lık propamocarbın DNA hasarına yol açtığı gözlenmektedir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar daha önceki çalışmalar ile paralellik göstermektedir. Bu çalışmada KOMET sonuçlarındaki pozitif sonuçlar muhtemelen oksidatif hasar sonucu DNA tek iplik kırıkları oluşumuna neden olurken, SMART çalışmasında indüklenmiş bir genotoksisite gözlenmemiştir. SMART deneyi delesyon, nokta mutasyon ve kromozomlarda ayrılmama gibi daha farklı kriterler ile genotoksisiteyi değerlendirdiği için farklı sonuçlar elde edilmiştir. Propamocarbın olası farklı genotoksik etkilerinin de belirlenmesi için farklı mekanizmaları ortaya koyabilen daha fazla test sistemleri ile değerlendirilmesi gerektiği düşünülmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından 1002 Hızlı Destek Programı kapsamında (Proje No: 116Z029) desteklenmiştir.

Etik Beyanı/Declaration of Ethical Code

Bu çalışmada, "Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi" kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin "Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler" başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederiz.

Kaynakça

- [1] Tiryaki, O., Canhilal, R., Horuz, S. 2010. Tarım İlaçları Kullanımı Ve Riskleri. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 26(2), 154-169.
- [2] Doğanlar, O., Doğanlar, Z. B., Kurtdere, A. K., Chasan, T., Ok, E. S. 2020. Chronic exposure of human glioblastoma tumors to low concentrations of a pesticide mixture induced multidrug resistance against chemotherapy agents. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 202, 110940.
- [3] Farha, W., El-Aty, A.A., Rahman, M. M., Shin, H. -C., Shim, J. -H. 2016. An overview on common aspects influencing the dissipation pattern of pesticides: a review. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188(12), 1-21..
- [4] Liu, X., Zhang, R., Jin, Y. 2020. Differential responses of larval zebrafish to the fungicide propamocarb: Endpoints at development, locomotor behavior and oxidative stress. *Science of the Total Environment*, 731, 139136.
- [5] Shelton, J. F., Hertz-Picciotto, I., Pessah, I. N. 2012. Tipping The Balance Of Autism Risk: Potential Mechanisms Linking Pesticides And Autism. *Environmental Health Perspectives*, 120(7), 944-951.
- [6] Kwasniewska, K., Gadzala-Kopciuch, R., Cendrowski, K. 2015. 2-Analytical Procedure For The Determination of Zearalenone in Environmental and Biological Samples. *Critical Reviews In Analytical Chemistry*, 45(2), 119-130.
- [7] Siegwart, M., Grailot, B., Lopez, C. B., Besse, S., Bardin, M., Nicot, P.C., Lopez-Ferber, M. 2015. Resistance To Bio-Insecticides or How to Enhance Their Sustainability: A Review. *Frontiers in Plant Science*, 6, 381.
- [8] Wang, J., Yang, H., Zhang, X., Huang, Y., Qin, W. C., Wen, Y., Zhao, Y. H. 2020. Evaluation of modes of action of pesticides to *Daphnia magna* based on QSAR, excess toxicity and critical body residues. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 203, 111046.
- [9] Kaya, B. 2000. Bazı pestisitlerin *Drosophila melanogaster* hatlarında mutajenik ve rekombinojenik etkilerinin araştırılması. Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 134s, Antalya.
- [10] Kaya, B., Marcos, R., Yanıkoğlu, A., Creus, A. 2004. Evaluation of the Genotoxicity of Four Herbicides in The Wing Spot Test of *Drosophila melanogaster* Using Two Different Strains. *Mutation Research*, 557(1), 53-62.
- [11] Kubilay, B. 2013. Karbamatlı Pestisitlerden Carbaryl'in Tatlı Su İstakozlarında (*Astacus leptodactylus* Esch. 1823) Akut Toksik Etkisinin Belirlenmesi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 57s, Ankara.
- [12] Cao, J., Wang, M., Yu, H., She, Y.G., Cao, Z., Ye, J. M., Abd El-Aty, A. M., Hacimuftuoglu, A., Wang, J., Lao, S. B. 2020. An overview on the mechanisms and applications of enzyme inhibition-based methods for determination of organophosphate and carbamate pesticides. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68, 7298-7315.
- [13] Wolmarans, N. J., Bervoets, L., Meire, P., Wepener, V. 2020. Current status and future prognosis of malaria vector control pesticide ecotoxicology and *Xenopus* sp. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 252, 131-171.
- [14] Gupta R. C. 2007. *Veterinary Toxicology: Basic And Clinical Principles* (1. Basım). Elsevier, Park Avenue South, New York, 1201s.
- [15] Carisse, O. 2010. Fungicides. InTech. Rijeka, Croatia, 538s.
- [16] Reilly T. J., Smalling K. L., Orlando, J. L., Kuivila K. M. 2012. Occurrence of Boscalid And Other Selected Fungicides in Surface Water and Groundwater in Three Targeted Use Areas in The United States, *Chemosphere*, 89, 228-234.
- [17] Brooks, G. T., Roberts, T. R. 1999. *Pesticide Chemistry And Bioscience*. UK: Royal Society Of Chemistry.
- [18] TÜİK (Turkish Statistical Institute) 2014. The summary of agricultural statistics. <http://tuik.gov.tr> (Erişim Tarihi: 16.08.2021).
- [19] Graf, U., Wurgler, F. E., Katz, A. J., Frei, H., Juan, H., Hall, C. B., Kale, P. G. 1984. Somatic Mutation and Recombination Test in *Drosophila melanogaster*, *Environmental and Molecular Mutagenesis*, 6, 153-188.
- [20] Frei, H., Wurgler, F. E. 1988. Statistical methods to decide whether mutagenic test data from *Drosophila* assays indicate a positive, negative or inconclusive results. *Mutation Research*, 203, 297-308.
- [21] Mukhopadhyay, I., Chowdhuri, D.K., Bajpayee, M., Dhawan, A. 2004. Evaluation of in vivo genotoxicity of cypermethrin in *Drosophila melanogaster* using the alkaline comet assay. *Mutagenesis*, 19, 85-90.
- [22] Sidduque, H. R., Chowdhuri, D. K., Saxena, D. K., Dhawan, A. 2005. Validation of *Drosophila melanogaster* as an in vivo model for genotoxicity assessment using modified alkaline comet assay. *Mutagenesis*, 20, 285-290.
- [23] Carmona, E. R., Guescheva, T., Creus, A., Marcos, R. 2011. Proposal of an in vivo Comet assay using haemocytes of *Drosophila melanogaster*. *Environmental and Molecular Mutagenesis*, 52, 165-169.

- [24] Carmona, E. R., Creus, A., Marcos, R. 2011. Genotoxic effects of two nickel compounds in somatic cells of *Drosophila melanogaster*. *Environmental and Molecular Mutagenesis*, 718, 33-37.
- [25] Carmona, E. R., Creus, A., Marcos, R. 2011c. Genotoxicity testing of two lead compounds in somatic cells of *Drosophila melanogaster*. *Environmental and Molecular Mutagenesis*, 724, 35-40.
- [26] Shukla, A. K., Pragma, P. Kar Chowdhuri, D. 2011. A modified alkaline Comet assay for *in vivo* detection of oxidative DNA damage in *Drosophila melanogaster*. *Mutation Research*, 726, 222-226.
- [27] Augustyniak, M.1, Gladysz, M.2, Dziwięcka, M2. 2016. The Comet assay in insects-Status, prospects and benefits for science. *Mutation research. Reviews in Mutation Research*, 767, 67-76.
- [28] Bajpayee, M., Kumar, A., Dhawan A. 2016. Chapter 1 : The Comet Assay: A Versatile Tool for Assessing DNA Damage. ss 3-64. Dhawan, A., Anderson, D., ed. 2016. *The Comet Assay in Toxicology 2nd Edition*. The Royal Society of Chemistry, United Kingdom, 590s.
- [29] Irving, P., Ubeda, J. M., Doucet, D., Troxler, L., Lagueux, M., Zachary, D., Hoffmann, J.A., Hetru, C., Meister, M. 2005. New insights into *Drosophila* larval haemocyte functions through genome-wide analysis. *Cell Microbiology*, 7, 335-350.
- [30] Akyl, D. 2006. Farklı Tipteki Fungusitlerin Muhtemel Mutajeniteleri Üzerine Bir Çalışma. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 92s, Afyonkarahisar.
- [31] Dülgeroğlu Y. 2012. Salamuralık Asma Yaprığı Üretiminde Fungusit Kalıntı Miktarı Üzerine Hasat Zamanı Ve Salamura Yöntemlerinin Etkisi. Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 43s, Tokat. (Yüksek Lisans Tezi) Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [32] Krieger, R. 1990. *Handbook of Pesticide Toxicology*, Vol. 3 Academic Press, 0123341604, New York, 1576s.
- [33] U.S. Environmental Protection Agency (EPA) 1999. Reregistration Eligibility Decision (RED), Captan, EPA-738-R-99-015, Office of Pesticide Programs, U.S. Government Printing Office, Washington, DC.
- [34] Ypema, H. 2003. Fungicides, Hymexazol. ss 572-573. Plimmer, R. J., Gammon, D. W., Ragsdale, N. N., ed. 2003. *Encyclopedia of Agrochemicals Volume 2*. Wiley-Interscience, Canada, 1004s.
- [35] Wu, X. -J., Lu, W. -Q., Roos, P. H., Mersch-Sundermann, V. 2005. Vinclozolin, A Widely Used Fungicide, Enhanced BaP-Induced Micronucleus Formation in Human Derived Hepatoma Cells By Increasing CYP1A1 Expression. *Toxicology Letters*, 159, 83-88.
- [36] Sanchez-Argüello, P., Aparicio, N., Fernandez, C. 2012. Linking embryo toxicity with genotoxic responses in the fresh water snail *Physa acuta*: Single exposure to benzo(a)pyrene, fluoxetine, bisphenol A, vinclozolin and exposure to binary mixtures with benzo(a)pyrene. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 80, 152-160.
- [37] Zweig, G. 1978. *Analytical Methods for Pesticides and Plant Growth Regulators: New and Updated Methods*. Academic Press. New York, 611s.
- [38] Orth, A.B., Kuhn, P.J., Schmitt, M.R. 2003. Fungicides, Inhibitors of Mitochondrial Energy Production. ss 573-584. Plimmer, J.R., Gammon, D.W., Ragsdale, N.N., ed. 2003. *Encyclopedia of Agrochemicals Volume 2*. Wiley-Interscience, Canada, 1004s.
- [39] Lee, J., Kim, E., Shin, Y., Lee, J., Lee, J., Moon, J. -K., Choi, H., Maasfeld, W., Kim, J. -H. 2018. Whole body dosimetry and risk assessment of agricultural operator exposure to the fungicide kresoxim-methyl in apple orchards. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 155, 94-100.
- [40] Cui, F., Chai, T., Liu, X., Wang, C. 2017. Toxicity of Three Strobilurins (Kresoxim-Methyl, Pyraclostrobin, and Trifloxystrobin) on *Daphnia magna*. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 36(1), 182-189.
- [41] Flampouri, E., Mavrikou, S., Mouzaki-Paxinou, A-C., Kintzios, S. 2016. Alterations of cellular redox homeostasis in cultured fibroblast-like renal cells upon exposure to low doses of cytochrome bc1 complex inhibitor kresoxim-methyl. *Biochemical Pharmacology*, 113, 97-109.
- [42] Flampouri, E., Theodosi-Palimeri, D., Kintzios, S. 2018. Strobilurin fungicide kresoxim-methyl effects on an cancerous neural cell line: oxidant/antioxidant responses and *in vitro* migration. *Toxicology Mechanisms and Methods*, 28, 709-716.
- [43] Regueiro, J., Olgun, N., Simal-Gandara, J., Sunol, C. 2015. Toxicity evaluation of new agricultural fungicides in primary cultured cortical neurons. *Environmental Research*, 140, 37-44.
- [44] Liu, L., Jiang, C., Wu, Z., Gong, Y., Wang, G. 2013. Toxic Effects of Three Strobilurins (Trifloxystrobin, Azoxystrobin And Kresoxim-Methyl) on mRNA Expression And Antioxidant Enzymes In Grass Carp (*Ctenopharyngodon idella*) Juveniles. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 98, 297-302.
- [45] Liu, X., Wang, Y., Chen, H., Zhang, J., Wang, C., Li, X., Pang, S. 2018. Acute toxicity and associated mechanisms of four strobilurins in algae.

- Environmental Toxicology and Pharmacology, 60, 12-16.
- [46] Charles, J. M., Tobia, A., van Ravenzwaay, B. 2000. Subchronic and Chronic Toxicological Investigations on Metiram: The Lack of a Carcinogenic Response in Rodents. *Toxicological Sciences*, 54, 481-492.
- [47] Whalen, M. M., Loganathan, B. G., Yamashita, N., Saito, T. 2003. Immunomodulation of human natural killer cell cytotoxic function by triazine and carbamate pesticides. *Chemico-Biological Interactions*, 145, 311-319.
- [48] Sakr, S. A., Shalaby, S. Y. 2012. Metiram-induced histological and histochemical alterations in liver and kidney of pregnant mice. *Life Science Journal*, 9(1), 71-76.
- [49] Buschhaus, H. 2003. Fungicides, Carbamates. ss 550-552. Plimmer, J. R., Gammon, D. W., Ragsdale, N.N., ed. 2003. *Encyclopedia of Agrochemicals Volume 2*, Wiley-Interscience, Canada, 1004s.
- [50] Zhang, Y., Jin, C., Wang, X., Shen, M., Zhou, J., Wu, S., Fu, Z., Jin, Y. 2018. Propamocarb exposure decreases the secretion of neurotransmitters and causes behavioral impairments in mice. *Environmental Toxicology*, 34, 22-29.
- [51] Aydemir, N., Bilaloğlu, R. 2004. The Investigation of The Genotoxic Effects of Fenarimol and Propamocarb in Mouse Bone Marrow *In vivo*. *Toxicology Letters*, 147, 1, 73-78.
- [52] Falfushynska, H. I., Gnatyshyna, L. L., Stoliar, O. B. 2013. *In situ* exposure history modulates the molecular responses to carbamate fungicide Tattoo in bivalve mollusk. *Ecotoxicology*, 22, 433-445.

Mermer Ocak İşletmeciliğinde Yastıklama Uygulamasının Üretim Verimine Etkisinin Araştırılması

Nazmi ŞENGÜN^{*1}, İhsan BİLGİN²

¹Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 32260, Isparta, Türkiye

²Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği ABD, 32260, Isparta, Türkiye

(Alınış / Received: 19.08.2021, Kabul / Accepted: 08.02.2022, Online Yayınlanma / Published Online: 20.04.2022)

Anahtar Kelimeler

Mermer ocağı,
Üretim verimi,
Yastıklama uygulaması

Özet: Ülkemizde mermer ocaklarında blok üretim verimleri oldukça düşüktür. Verimin düşük olmasının nedenleri jeolojik parametrelerden olmakla birlikte üretim faaliyetlerindeki bazı uygulamalardan da kaynaklanmaktadır. Bu çalışmada, ekonomik açıdan büyük öneme sahip mermer ocaklarının işletme faaliyetleri sırasında karşılaşılan üretim kayıplarına değinilmiş ve bu faaliyetlerden yastıklama uygulamasının üzerinde durulmuştur. Mermer bloklarının ana kütleden kesildikten sonra devrilmesi sırasında yastıklama şeklinin ve yastıklama malzemesinin blok üretim verimine etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla, Burdur bölgesinde bir mermer ocağında farklı boyutlardaki pasa ve toprak malzeme ile üç farklı yastıklama şekli (tekli üçgen, çiftli üçgen ve trapez) kullanılarak üretim yapılmış ve üretim verimleri hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda en uygun yastıklama şeklinin çift üçgen şeklinde olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca yastıklama yüksekliğinin artırılması blok üretim verimini arttırdığı gibi, yastıklama malzemesinin ebatlarının ince olması veya toprak malzemeden hazırlanmış olması da blok verimini olumlu yönde etkileyecektir.

Investigation of the Effect of Cushioning on Production Efficiency in Marble Quarry Management

Keywords

Marble quarry,
Production efficiency,
Cushioning application

Abstract: In our country, the block production efficiency in marble quarries is quite low. The reasons for the low yield are due to geological parameters as well as some applications in production activities. In this thesis, the production losses encountered during the operational activities of the marble quarries, which are of great economic importance, are mentioned and the application of cushioning, one of these activities, is emphasized. The effect of cushioning shape and cushioning material on block production efficiency was investigated during the overturning of marble blocks after cutting from the main mass. For this purpose, production was made in a marble quarry in Burdur region using different sizes of rust and soil material and three different cushioning styles (single triangle, double triangle and trapezoidal) and production yields were calculated. As a result of the study, it was determined that the most suitable cushioning form was in the form of a double triangle. In addition, increasing the height of the cushioning increases the block production efficiency, as well as being thin in size of the cushioning material or being prepared from soil material will positively affect the block yield.

1. Giriş

Doğal taşlar, doğadan çıkarıldıktan sonra ticari olarak işletilebilen insanlar tarafından kullanılan en eski inşaat malzemelerindendir. Geçmişten bu yana insanlık tarafından dayanıklılığı, gösterişi sebebi ile çeşitli alan ve yapılarda kullanılarak hayatın bir

parçası haline gelmiştir. Bu ilgi ve talep dolayısıyla doğal taş üretimi de gün geçtikçe artmaktadır.

Dünyanın en zengin mermer yataklarının bulunduğu Alp-Himalaya kuşağında yer alan Türkiye, 5.1 milyar m³ (13.9 milyar ton) muhtemel mermer rezervine sahiptir. Bu değer 15 milyar m³ olduğu tahmin edilen dünya rezerv toplamının %33'üne karşılık

*İlgili yazar: nazmisengun@sdu.edu.tr

gelmektedir. Yıllık doğal taş üretimi 11.5 milyon ton civarında olup işleme tesislerinin toplam plaka üretim kapasitesi ise 6.5 milyon m² civarındadır. Bu üretimin tamamına yakın kısmı özel sektör tarafından yapılmaktadır. Ayrıca mermer sektörünün 2020 yılı ihracatı 1.73 milyar dolar olarak gerçekleşmiştir [1]. Doğal taş sektörü yüksek ihracat potansiyeli, iç piyasa tüketimi, doğal taş makineleri üretimi ve ihracatı ile Türkiye ekonomisine önemli katkılar sağlamaktadır.

Doğal taş ve mermer ocaklarında üretim yöntemleri ve uygulamaları ile ilgili geçmişte birçok araştırma yapılmış olup bunlardan bazıları aşağıda sunulmuştur. Urhan ve Şişman [2] çalışmalarında, blok mermer üretiminde elmaslı tel kesme yöntemi ele alınmış, yöntemin uygulanabileceği ocak tipleri, ocağın kesime hazırlanması, deliklerin delinmesi, telin yerleştirilmesi ve kesimin yapılmasında dikkat edilecek konular verilmiştir. Eleren ve Ersoy [3] çalışmalarında çok kriterli karar verme yöntemlerinden olan Bulanık TOPSIS yöntemini kullanarak alternatif kesme yöntemlerini belirli kriterler dikkate alarak değerlendirmişler ve önem düzeylerine göre sıralamışlardır. Küçük [4], mermer sahalarından alınabilecek blok boyutlarının belirlenmesinde yeni bir sınıflama yönteminin geliştirilmesine yönelik yaptığı çalışmada 12 ayrı mermer ocağının basamaklarında ve aynalarında yapılan jeoteknik çalışmalardan, laboratuvar deneyleri sonuçlarına bağlı olarak üretilen blokların hangi amaçla (döşeme, kaplama) kullanılabilmesine ve ihracatta istenilen CE belgesinin uygunluğuna kadar bütün aşamaları içeren MBA-Mermer Blok Analizi isimli program geliştirilmiştir. Ayrıca çalışmada mermer üretim sürecindeki verim ve kayıplara da değinilmiştir. Yavuz [5], kayaçların doğal yapıtaşı olarak kullanımlarını etkileyen temel jeolojik parametrelerinin detaylıca belirlenmesi gerektiğini vurgulamıştır. Kayaların blok mermer üretimini etkileyen birincil jeolojik parametrelerin büyük bir kısmı, kaya mostraları ve mermer ocaklarına ait şev aynalarında gözlenirken, ikincil jeolojik parametrelerin büyük bir kısmı yüzeyden yapılan saha gözlemleri ile tespit edilemediğini ifade etmiştir. Kayaçların ayrışmaya bağlı olarak sunduğu mühendislik özelliklerindeki değişimler de göz önüne alınarak, bir ruhsat sahasında blok taş üretimine karar vermek için detaylı bir saha çalışması yapılması vurgulanmıştır. Küçük ve Onargan [6] yapmış oldukları çalışmada, Burdur ili Merkez ilçesi Hacılar köyü yakınında bulunan özel bir firmaya ait bej mermer sahasında blok verimliliğine yönelik saha araştırmaları yapmışlardır. Çalışmada, litolojik birimlerin derinliğe bağlı kalınlık, litolojik homojenite ve diğer mühendislik jeolojisi ile ilgili değişimleri belirleyebilmek için yer radarı (GPR) kullanmış ve 25-30 metre derinliğe kadar elde edilen kesit görüntüleri değerlendirilmiştir. Elde edilen veriler ışığında söz konusu sahadan alınabilecek minimum, maksimum blok boyutları, mermer tabakasının çatlaklılık durumu, blok verimi gibi saha özellikleri belirlemiştir.

Altındağ [7] çalışmasında, doğal taş üretiminde yapılan bazı yanlışlıklar ve bu yanlışlıkların yapılmaması ve doğal taş ocaklarında blok verimliliğinin artırılması için bazı önerilerde bulunulmuş ve nedenlerini tartışmıştır.

İlgili literatür incelendiğinde, mermer ocaklarında daha çok üretim yönteminin optimizasyonu, enerji verimliliği ve ocak yönünün değerlendirilmesi şeklinde yoğunlaştığı görülmektedir. Ayrıca yastıklama uygulaması ile ilgili herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışma kapsamında; madencilik ihracatında büyük bir paya sahip olan mermer sektöründe bir mermer ocak işletmesindeki yastıklama uygulamasının üretim verimine etkisi araştırılmıştır. Bu kapsamda, Burdur ili, Yeşilova ilçesi, Çelttek köyü mevkiinde bulunan bir mermer ocağında araştırma ve incelemeler yapılmıştır. Mermer bloklarının ana kütlede kesildikten sonra devrilmesi (yıkılması) sırasında farklı yastıklama uygulamaları ve bu yastıklama uygulamalarının üretim verimini ne ölçüde etkilediği, ayrıca farklı yastıklama malzemelerinin üretim verimine etkisi araştırılmıştır.

2. Mermer Ocaklarında Üretim Kayıpları

Mermer üretimindeki zayıf çok farklı sebeplerden dolayı oldukça fazladır. Doğru üretim yöntemi ve tekniklerinin kullanılarak yapılmaması ve kayacın blok mermer olarak kullanılabilmesi için gerekli jeolojik parametrelerin fazla olması bunun en önemli sebeplerindendir. Bu durumda mermer ocağının verimi düşmektedir [5].

Mermer ocaklarında verim, blok olarak satılan mermer hacminin üretim amaçlı kazılan hacme oranı olarak tanımlanabilir. Türkiye'deki mermer ocaklarının jeolojik yapısı itibarıyla (özellikle kireçtaşı ocaklarında) zayıf fazla olmakta ve üretim verimliliği oldukça düşük olmaktadır. Blok kazanma veriminin düşük olmasının sebebinin iki bölümde incelemek mümkündür. Birincisi, üretim verimliliğini etkileyen jeolojik parametreler ve ikincisi ise hatalı üretim teknik ve yöntemleridir. Bu çalışmanın konusu olarak yastıklama uygulamasının etkisi bu çalışmada daha geniş olarak araştırılmıştır.

2.1. Verimi etkileyen jeolojik parametreler

Mermer ocağında blok mermer üretimine, üretim yönü ve şekline karar verilmesi kayacın jeolojik parametrelerinin incelenmesinden geçmektedir. Bu parametrenin göz ardı edilmesi en büyük zayıflığı oluşturmaktadır.

Verimi etkileyen jeolojik parametreler, birincil ve ikincil parametreler olarak sınıflandırılmaktadır. Kaya kütlelerinin içerdiği tabaka, kırık, çatlak, foliasyon, fisür, mikrofisür ve fay gibi süreksizlik düzlemlerinin oluşturduğu birincil jeolojik parametreler, mermer

bloklarının işlenmesi esnasında üretim zayıfına neden olan ya da kayacın renk ve desen homojenitesini bozarak ticari değerini azaltan veya yok eden parametrelerdir. İkincil parametreler ise kayacın kullanım yeri, şekli ve durabilitesini (dış etkenlere karşı dayanıklılık) belirleyen fiziksel, mekanik ve teknolojik malzeme özellikleridir. Bu hususlar Yavuz [5] tarafından detaylı olarak anlatılmıştır.

2.2. Verimi etkileyen üretim kaynaklı parametreler

Üretime geçme kararı verilen mermer ocaklarında doğru üretim yöntemi ve teknikleri kullanılarak üretim yapılması gerekmektedir. Aksi takdirde üretim zayıfı artmaktadır. Üretim aşamalarında üretim tekniği ve uygulamalarından kaynaklı önenebilir zayıfın artmasına sebep olan bazı hatalar bulunmaktadır. Bunlar;

- Ocak çalışma yerinin doğru seçilmemesi,
- Uygun kesim yerinin hazırlanması,
- Yıkıma hazır kesimin uygun makine ve teçhizatla ana kütleden ayrılmasının sağlanamaması,
- Ana kütleden ayrılan blok önüne uygun zeminin (yastıklamanın) hazırlanmaması,
- Sökümden çıkan blokların taşınması sırasında meydana gelen üretim kayıpları,
- Blokların sayılanması ve taşınması sırasında meydana gelen üretim kayıpları,
- Pazarlama/satış sırasındaki üretim kayıpları,
- Özen ve dikkat eksikliği olarak sayabiliriz.

Mermer ocaklarının teknik ve ekonomik şartlarda işletilebilmesi, verimin artırılması için çalışma bölgesinin doğru ve isabetli olarak seçilmesi gerekmektedir. Ayrıca ocağın jeolojisi, topoğrafyası göz önüne alınarak yapılacak çalışmaların mühendislik disiplini içerisinde planlanması buna göre ocağın kesim yönü belirlenerek kesimlerin ayarlanması gerekmektedir. Hazırlanacak olan kesimler fay çatlaklarına dik olacak şekilde hazırlanmalıdır. Paralel hazırlanan kesimlerde blok kazanma verimi düşmekte ve bloklar daha fazla parçalanmaktadır.

Yıkıma hazırlanan kesimin daha rahat açılabilmesi, kolay ve parçalanmadan yıkılabilmesi için sac balonlar (hava veya su yastıkları) kullanılmaktadır. Sac balonlar kesiklere yerleştirilirken çatlaksız sağlam bir bölge seçilmeli ve sac balon şişirilirken kesim açıklığı kayaç parçaları ile desteklenmelidir.

Ana kütleden ayrılacak bloğu devirmeden önce, önüne daha önceden yumuşak bir zemin hazırlanması gerekmektedir. Bu zemin toprak ve/veya mermer pasalarından oluşabilmektedir. Verimin yüksek olması için yastıklamanın uygun şekilde ve malzemedan hazırlanmalıdır.

Yıkım yapıldıktan sonra çıkan parçaların uygun makine kullanarak taşınması gerekmektedir. Bazen sökümden çıkan parçalar, ekskavatör yardımı ile çekilmeye çalışılmakta, bu ise bloğun parçalanmasına sebep olabilmektedir. Bu tarz parçaların lastikli yükleyicilerle alınması bloğun daha az zarar görmesini sağlamaktadır.

Büyük ebatlardaki veya düzensiz boyutlardaki blokların ticari boyutlara indirgenmesine sayalama adı verilmektedir. Genelde bu işlemler doğal taş üretim ocağında kurulu sabit veya seyyar makine, teçhizat ve düzenekler ile yapılmaktadır. Sayalama yapılırken, düzensiz bloklar çatlaklarından, parçalarından temizlenerek dikdörtgen prizma veya küp şekline getirilmektedir. Aksi halde tekrar kesilmek zorunda kalır ve kırılğan yapı taşlar parçalanabilmektedir. Yıkımdan sonra oluşan parçalar, çatlaklarına uygun kesilmelidir. Ayrıca bloklar bir yerden alınıp başka bir yere taşınması sırasında lastik tekerlekli yükleyicinin (loder) bloğu kaldırırken bloğa zarar vermemesi için bloğun altına uygun malzemeler konması zayıfın azaltılmasına sebep olacaktır.

Pazarlama esnasında kesilmeye uygun olmayan blokların müşteri isteği üzerine tekrar kesilmesi, kırılğan yapıya sahip blokların kırılıp parçalanmasına sebep olabilmektedir.

Üretimde en büyük kayıplardan biri de yanlış ve dikkatsiz yapılan yıkım ve sökümlerdir. Ocak içerisinde yapılacak olan tüm işlemler dikkat ve özen gösterilerek yapılmalıdır.

3. Materyal ve Metot

Mermer ocaklarındaki üretimden kaynaklı verim düşüklüğünün bir sebebi olarak yastıklama uygulamasının hatalı olarak gerçekleşmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu kapsamda, Burdur ili, Yeşilova ilçesi, Çeltik Köyü sınırları içerisinde bulunan İR:201101046 numaralı 70 hektarlık Samer Mad. A.Ş. tarafından 4900 m³/yıl kapasite ile işletilmekte olan mermer ocağında, mermer blok üretimi sırasında farklı yastıklama uygulamaları yapılarak üretim verimine etkisi araştırılmıştır. Söz konusu mermer ocağındaki üretim, açık işletme tekniği kullanılarak yapılmaktadır. Şekil 1'de çalışmanın yapıldığı mermer ocağından bir görünüm verilmiştir.

Bölgenin jeolojik yapısı incelendiğinde, altta, Üst Paleosen-Alt Eosen yaşlı, allokton konumlu, İç Toros Napı bulunmaktadır. Ofiyolitler üzerine, Lütesyen yaşlı Gölbaşı Formasyonu uyumsuzlukla gelir. Pliyosen yaşlı Burdur Formasyonu da bu birimler üzerine uyumsuz olarak gelir. Birbirleri ile uyumsuz olan, Pliyo-Kuvaterner yaşlı Karaçal ve Yakaköy Formasyonları da diğerlerinin üzerine uyumsuz olarak gelir. En üstte Kuvaterner yaşlı alüvyon ve

birikinti konileri yer alır [8]. Burdur ve civarı, İç Toros Napı olarak adlandırılan birimin yöreye yerleşimi sırasında sıkışma tektoniği ve Pliyosen sonrasında başlayan çekme tektoniği etkisi altında kalmış ve değişik yönlü çekim faylarıyla kesilmiştir [9]. Çalışma alanı ve çevresi KD-GB doğrultulu fay sistemlerinin hâkim olduğu Burdur Fay Zonu içerisinde yer almaktadır. Bölgedeki kireçtaşı blokları, masif görümlü, kristalize kireçtaşlarından oluşmaktadır. Allohton konumlu olan bu blokların, içinde yer aldıkları ofiyolitik kayalarla olan dokanağı tektoniktir. Ruhsat alanının büyük bir kısmında gri-bej renkli kireçtaşı, rekristalize kireçtaşı ve dolomitik kireçtaşından oluşan Dutedere Kireçtaşı hakimdir. Ruhsat alanının kuzeybatı kısımlarında ise Mamatlar Formasyonu yüzeylenmiştir. Bu formasyon ise resifal kireçtaşı, kumtaşı ve kıltaşı birimlerinden oluşmaktadır.



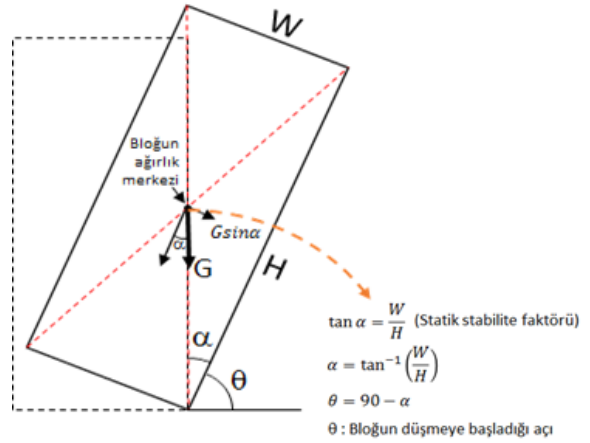
Şekil 1. Çalışmanın yapıldığı mermer ocağı

Söz konusu ocakta 11 kademede blok üretim yöntemi olarak son yıllarda oldukça gelişen ve dünyanın birçok ülkesinde kullanılan elmas tel kesme metodu ile üretim yapılmaktadır. Kalite olarak en iyi blokların alındığı kademeler 8, 9, ve 10. kademelerdir. Bu nedenle mermer ocağında blok üretimi sırasında farklı yastıklama uygulamaları bu kademelerde yapılarak üretim verimine etkisi araştırılmıştır.

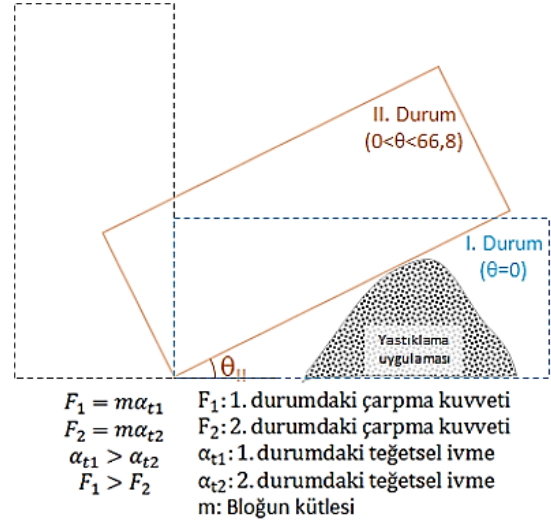
Blok devrilmesinin kinetiği analiz edilirse; belirli bir blok genişliği (W) ve yüksekliğinde (H) bloğun devrilmeye başlayacağı açı (θ) Şekil 2'de olduğu gibi hesaplanabilir. Şekil 2'de görüldüğü gibi gravitasyondan dolayı etki eden tork, bloğun bütün külesinin, kütle merkezinde konsantre olmuş gibi etki eder.

Devrilmeye başlayan blok artan bir teğetsel ivme ile aynı kütlede olsa bile büyük bir kuvvet ile yere çarpacaktır ($\theta=0$ olacaktır). Devrilen bu blok yere çarpmadan önce herhangi bir yastıklama uygulaması ile daha yüksek bir açı değerlerinde karşılanabilirse, devrilen blok teğetsel ivme değerinin en yüksek değerine ulaşmadan daha düşük bir kuvvet ile çarpacaktır (Şekil 3). Bu ifadeler Şekil 3'de 1. durum ve 2. durum olarak sembolize edilmiştir. Yastıklama

uygulaması, bloğun devrilmesi sırasında teğetsel ivmenin daha fazla büyümeden bloğun düşmesini durdurabilmektedir.



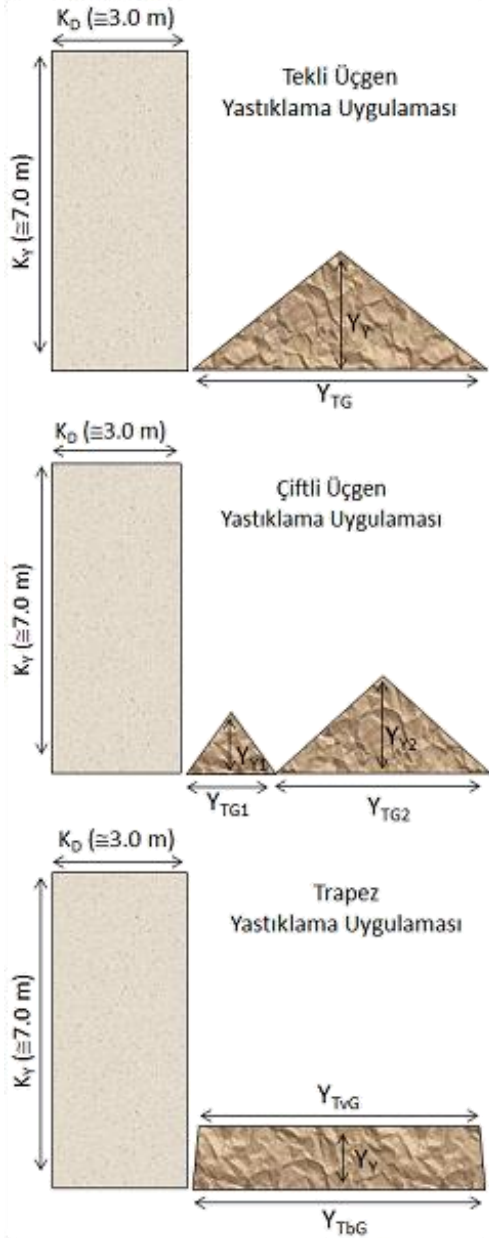
Şekil 2. Blok devrilmesinde serbest cisim diyagramı



Şekil 3. Blok devrilmesi sırasında yastıklama uygulamasının etkisi

Yastıklama uygulaması pratikte farklı malzemeler kullanılarak uygulanabilmektedir. Yastıklama malzemesi türü seçilirken bloğun devrilmesi sırasında oluşan çarpma enerjisinin sönmülmesinde faydası bulunmaktadır. Örneğin; çok parçalı iri blok içeren (genellikle doğal taş artığı moloz parçalar) bir yastıklama uygulaması ile ince malzemeden oluşmuş toprak bir yastıklama malzemesinin blok devrilmesindeki oluşan enerjiyi sönmüleme miktarları farklı olacaktır. Bu durum ise blok verimine doğrudan etkileyecektir.

Yastıklama uygulamasının şeklinin ve malzeme türünün verime etkisinin araştırılması amacıyla bu çalışma kapsamında Tekli üçgen, Çiftli üçgen ve Trapez kesit şeklinde yastıklama türleri uygulanmıştır (Şekil 4). Bu yastıklama türlerinde ayrıca malzeme olarak iri moloz (artık) ve ince toprak malzeme olmak üzere iki farklı yastıklama malzeme türü de çalışılmıştır.



Şekil 4. Çalışma kapsamında denenilen yastıklama şekillerinin sembolik gösterimi

Mermer ocağında yıkım işleminden sonra oluşan pasa (mermer artığı) ve ebatlama yapıldıktan sonra arta kalan ekonomik değeri olmayan malzemeler yastıklama amacıyla kullanılmaktadır. Bu malzemeler ekskavator yardımı ile kırılarak ortalama 70 cm ve altı boyuta indirgenerek uygun hale getirilmektedir. Sonrasında istenilen yastıklama çeşidinde kullanılmaktadır. Yıkım yapılacak olan kesimin önüne istenilen yastıklama şekline göre bu kayaç parçaları veya toprak malzeme lastik tekerlekli yükleyici veya ekskavator yardımı ile serilmektedir. Yıkıma hazır kesimin uygun makine ve teçhizatla ana kütleden ayrılması, ana kütleden ayrılan blok önüne uygun zemin hazırlanması, yıkım yapıldıktan sonra çıkan parçaların taşınması, blokların sayalanıp pazarlamaya uygun hale getirilmesi ile işlem tamamlanmaktadır.

Bu üç farklı şekillerdeki yastıklama uygulaması ile yapılan yıkımların blok kazanma verimliliği araştırılmıştır. Blok kazanma veriminin hesaplanmasında, tüm yüzeyi kesilmiş yıkıma hazır hale gelen ana kesimin eni, boyu, yüksekliği metre cinsinden ölçülerek ana kesim hacmi (K_M) not edilmektedir. Farklı tür malzemeden oluşan ve farklı şekillerde hazırlanmış yastıklamalar oluşturulduktan sonra kesimi yapılan kütle devrilir. Devrilen kütle içerisinden satışa uygun olan bloklar sayalama işlemine tabi tutulur. Daha sonra blokların ölçüleri tekrar alınarak toplam satılabilir blok hacmi (B_M) belirlenir. Ebatlama (sayalama) işleminden sonra elde edilen satılabilir nitelikteki blok miktarının, ana kesim miktarına oranı yüzdesel olarak blok kazanma verimini (BKV) vermektedir (Denklem 1).

$$BKV = \frac{B_M}{K_M} * 100 \quad (1)$$

3. Bulgular

Çalışma kapsamında 10 adet tekli üçgen yastıklama uygulaması, 11 adet çiftli üçgen yastıklama uygulaması ve 17 adet trapez şekilli yastıklama uygulaması hazırlanarak ana kesimlerin aynı yöntemle (su yastıkları ile 20-30 cm açılıp daha sonra ekskavator riperi ile) devrilmeleri sağlanmıştır. Ayrıca bu toplam 38 adet ana yıkımdan 28'i iri pasa malzeme, 6'sı ince-orta pasa malzeme ve 4'ü de toprak malzeme kullanılarak uygulanmıştır. Toprak malzemenin mermer ocak şartlarında temin edilme sıkıntısından dolayı daha az sayıda yastıklama uygulamalarında kullanılabilmiştir. Çalışmalarda veriler, daha sağlıklı karşılaştırma yapılabilmesi için mermer ocağının daha homojen olarak görünen 8, 9 ve 10 nolu basamaklarından elde edilmiştir.

Hazırlanan farklı şekil ve malzemelerden oluşturulan yastıklama uygulamalarında elde edilen veriler ve hesaplanan blok verim değerleri tekli üçgen yastıklama uygulaması için Tablo 1'de, çiftli üçgen yastıklama uygulaması için Tablo 2'de ve trapez şekilli yastıklama için ise Tablo 3'te verilmiştir.

Her üç yastıklama uygulamasında elde edilen ortalama verimler tekli üçgende %13.1, çiftli üçgende %14.2 ve trapez şeklindeki uygulamada ise %5.9 olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlar uygulanan farklı yastık şekillerinden en uygun olanının çiftli üçgen daha sonra tekli üçgen şeklindeki yastıklama uygulaması olduğunu göstermektedir. Trapez şeklindeki yastıklama uygulamasının ise söz konusu mermer ocağı için uygun olmadığı sonucuna varılmıştır. Malzeme çeşitleri incelendiğinde, üç çeşit yastıklama uygulamasında ince boyutlarda hazırlanan yastıklama çeşidinin iri parçalı malzemeden hazırlanan yastıklamalara göre verimi arttırdığı görülmektedir.

Tablo 1. Tekli üçgen yastıklama uygulaması sonuçları [10]

| Y _M | Ana kesim bilgileri | | | | | Yastıklama uygulaması bilgileri | | | Satılabilir blok bilgileri | | | BKV (%) |
|----------------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------------------------|---------------------------------|---------------------|----------------------------------|----------------------------|----------------|------------------------|-------------|
| | K _N | K _D (m) | K _Y (m) | K _U (m) | K _M (m ³) | Y _Y (m) | Y _{TG} (m) | Y _M (m ³) | B _S | B _M | | |
| | | (m) | (m) | (m) | (m ³) | (m) | (m) | (m ³) | | (ton) | (m ³) | |
| İri pasa | 9 | 3.4 | 6.0 | 10.0 | 204.4 | 2.20 | 6.0 | 66.0 | 9 | 70 | 26.4 | 12.9 |
| | 8 | 3.2 | 6.0 | 9.5 | 182.4 | 2.70 | 7.0 | 89.8 | 8 | 85 | 32.1 | 17.6 |
| | 8 | 2.5 | 6.0 | 12.0 | 180.0 | 2.60 | 8.0 | 124.8 | 9 | 80 | 30.2 | 16.8 |
| | 8 | 3.5 | 6.0 | 13.1 | 271.2 | 3.00 | 7.0 | 137.6 | 13 | 110 | 41.5 | 15.3 |
| | 8 | 3.1 | 6.0 | 13.0 | 241.8 | 2.20 | 7.0 | 100.1 | 8 | 76 | 28.7 | 11.9 |
| | 9 | 3.0 | 6.0 | 12.0 | 216.0 | 3.00 | 7.0 | 126.0 | 11 | 95 | 35.8 | 16.6 |
| | 9 | 3.2 | 6.7 | 10.3 | 217.4 | 3.30 | 7.0 | 119.0 | 7 | 63 | 23.8 | 10.9 |
| | 10 | 3.0 | 7.0 | 15.0 | 315.0 | 1.80 | 7.0 | 94.5 | 4 | 25 | 9.4 | 3.0 |
| Toprak | 8 | 3.0 | 6.0 | 13.0 | 234.0 | 2.70 | 8.0 | 140.4 | 9 | 74 | 27.9 | 11.9 |
| | 9 | 3.2 | 6.7 | 10.3 | 217.4 | 3.00 | 7.0 | 108.2 | 9 | 81 | 30.6 | 14.1 |
| | | | | | | | | | | | Ortalama: | 13.1 |
| | | | | | | | | | | | Ortalama: | 13.0 |
| | | | | | | | | | | | Genel ortalama: | 13.1 |

Y_M: Yastık malzemesi türü; K_N: Kademe no; K_D: Dilim kalınlığı; K_Y: Kademe yüksekliği; K_U: Kesim uzunluğu; K_M: Ana kesim miktarı; Y_Y: Yastıklama yüksekliği; Y_{TG}: Yastıklama tabanı genişliği; Y_M: Yastık miktarı; B_S: Satılabilir blok adedi; B_M: Toplam blok miktarı; BKV: Blok kazanma verimi

Tablo 2. Çiftli üçgen yastıklama uygulaması sonuçları [10]

| Y _M | Ana kesim bilgileri | | | | | Yastıklama uygulaması bilgileri | | | | | Satılabilir blok bilgileri | | | BKV (%) |
|----------------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------------------------|---------------------------------|----------------------|---------------------|----------------------|----------------------------------|----------------------------|----------------|-------------------|---------|
| | K _N | K _D (m) | K _Y (m) | K _U (m) | K _M (m ³) | Y _{Y1} (m) | Y _{TG1} (m) | Y _{Y2} (m) | Y _{TG2} (m) | Y _M (m ³) | B _S | B _M | | |
| | | (m) | (m) | (m) | (m ³) | (m) | (m) | (m) | (m) | (m ³) | | (ton) | (m ³) | |
| İri pasa | 8 | 3.0 | 6.0 | 10.0 | 180.0 | 1 | 1.5 | 1.3 | 5.5 | 43.3 | 5 | 41 | 15.5 | 8.6 |
| | 9 | 3.0 | 6.0 | 12.0 | 216.0 | 1.2 | 1.8 | 1.5 | 6.2 | 68.8 | 8 | 70 | 26.4 | 12.2 |
| | 9 | 2.9 | 6.0 | 12.0 | 208.8 | 1.2 | 1.8 | 1.4 | 6.2 | 65.0 | 7 | 52 | 19.6 | 9.4 |
| | 8 | 3.0 | 6.8 | 18.0 | 367.2 | 1.2 | 1.8 | 1.7 | 5.2 | 99.0 | 10 | 150 | 56.6 | 15.4 |
| | 9 | 3.0 | 6.7 | 8.0 | 160.8 | 1.3 | 1.95 | 2.5 | 5.0 | 60.1 | 6 | 54 | 20.4 | 12.7 |
| | 9 | 3.0 | 6.7 | 14.0 | 281.4 | 2.0 | 3.0 | 3.0 | 4.0 | 126.0 | 8 | 125 | 47.2 | 16.8 |
| | 9 | 3.0 | 6.7 | 18.0 | 361.8 | 1.7 | 2.55 | 2.6 | 4.4 | 142.0 | 9 | 135 | 50.9 | 14.1 |
| | 10 | 3.0 | 7.0 | 14.0 | 294.0 | 1.2 | 1.8 | 1.8 | 5.2 | 80.6 | 4 | 36 | 13.6 | 4.6 |
| | 9 | 3.0 | 6.7 | 14.0 | 281.4 | 1.4 | 2.1 | 2.5 | 4.4 | 97.6 | 12 | 175 | 66.0 | 23.5 |
| | Toprak | 9 | 3.2 | 6.7 | 10.3 | 217.4 | 1.5 | 2.25 | 2.6 | 4.7 | 80.3 | 6 | 54 | 20.4 |
| 9 | | 3.0 | 6.7 | 14.0 | 281.4 | 1.4 | 2.1 | 2.5 | 4.4 | 97.6 | 14 | 224 | 84.5 | 30.0 |
| | | | | | | | | | | | Ortalama: | 13.0 | | |
| | | | | | | | | | | | Ortalama: | 19.7 | | |
| | | | | | | | | | | | Genel ortalama: | 14.2 | | |

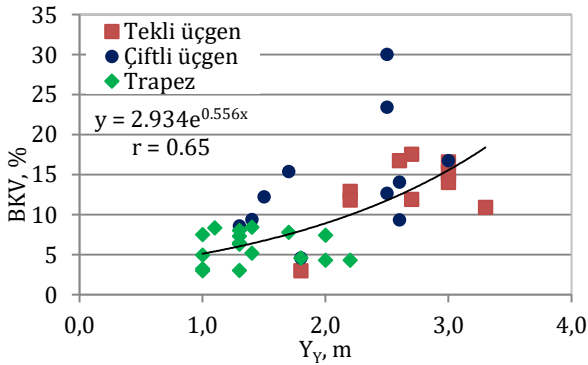
Y_M: Yastık malzemesi türü; K_N: Kademe no; K_D: Dilim kalınlığı; K_Y: Kademe yüksekliği; K_U: Kesim uzunluğu; K_M: Ana kesim miktarı; Y_{Y1}: 1. yastıklama yüksekliği; Y_{TG1}: 1. yastıklama tabanı genişliği; Y_{Y2}: 2. yastıklama yüksekliği; Y_{TG2}: 2. yastıklama tabanı genişliği; Y_M: Toplam yastık miktarı; B_S: Satılabilir blok adedi; B_M: Toplam blok miktarı; BKV: Blok kazanma verimi

Tablo 3. Trapez yastıklama uygulaması sonuçları [10]

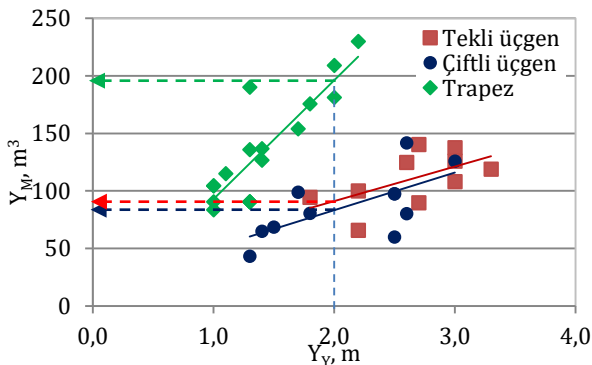
| Y _M | Ana kesim bilgileri | | | | | Yastıklama uygulaması bilgileri | | | | Satılabilir blok bilgileri | | | BKV (%) |
|----------------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------------------------|---------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------------------|----------------------------|------------------------|-------------------|---------|
| | K _N | K _D (m) | K _Y (m) | K _U (m) | K _M (m ³) | Y _Y (m) | Y _{TVG} (m) | Y _{TBG} (m) | Y _M (m ³) | B _S | B _M | | |
| | | (m) | (m) | (m) | (m ³) | (m) | (m) | (m) | (m ³) | | (ton) | (m ³) | |
| İnce-orta pasa | 8 | 3.0 | 6.0 | 10.0 | 180.0 | 1.3 | 6.7 | 7.3 | 90.7 | 4 | 35 | 13.2 | 7.3 |
| | 8 | 3.5 | 6.8 | 10.0 | 238.0 | 1.3 | 6.7 | 7.3 | 90.7 | 5 | 40 | 15.1 | 6.3 |
| | 9 | 3.0 | 6.7 | 21.0 | 422.1 | 1.3 | 6.7 | 7.3 | 190.4 | 10 | 90 | 34.0 | 8.0 |
| | 10 | 3.0 | 7.0 | 15.0 | 315.0 | 1.3 | 6.7 | 7.3 | 136.0 | 6 | 54 | 20.4 | 6.5 |
| | 9 | 3.0 | 6.7 | 14.0 | 281.4 | 1.4 | 6.7 | 7.3 | 136.7 | 7 | 63 | 23.8 | 8.4 |
| | 10 | 3.0 | 7.0 | 14.0 | 294.0 | 1.8 | 6.7 | 7.3 | 175.8 | 4 | 36 | 13.6 | 4.6 |
| | 9 | 3.0 | 6.7 | 13.0 | 261.3 | 1.7 | 6.7 | 7.3 | 154.1 | 6 | 54 | 20.4 | 7.8 |
| | 9 | 3.0 | 6.7 | 13.0 | 261.3 | 1.4 | 6.7 | 7.3 | 126.9 | 4 | 36 | 13.6 | 5.2 |
| | 10 | 3.0 | 7.0 | 15.0 | 315.0 | 1.0 | 6.7 | 7.3 | 104.6 | 7 | 63 | 23.8 | 7.5 |
| | 10 | 3.0 | 7.0 | 15.0 | 315.0 | 1.0 | 6.7 | 7.3 | 104.6 | 3 | 27 | 10.2 | 3.2 |
| | 10 | 3.0 | 7.0 | 10.0 | 210.0 | 1.3 | 6.7 | 7.3 | 90.7 | 2 | 17 | 6.4 | 3.1 |
| | | | | | | | | | | | | Ortalama: | 6.2 |
| | İri pasa | 10 | 3.0 | 7.0 | 15.0 | 315.0 | 2.0 | 6.7 | 7.3 | 209.3 | 4 | 36 | 13.6 |
| 10 | | 3.0 | 7.0 | 12.0 | 252.0 | 1.0 | 6.7 | 7.3 | 83.7 | 2 | 20 | 7.5 | 3.0 |
| 10 | | 3.0 | 7.0 | 13.0 | 273.0 | 1.0 | 6.7 | 7.3 | 90.7 | 4 | 36 | 13.6 | 5.0 |
| 10 | | 3.0 | 7.0 | 13.0 | 273.0 | 2.0 | 6.7 | 7.3 | 181.4 | 6 | 54 | 20.4 | 7.5 |
| 10 | | 3.0 | 7.0 | 15.0 | 315.0 | 2.2 | 6.7 | 7.3 | 230.2 | 4 | 36 | 13.6 | 4.3 |
| 10 | | 3.0 | 7.0 | 15.0 | 315.0 | 1.1 | 6.7 | 7.3 | 115.1 | 5 | 70 | 26.4 | 8.4 |
| | | | | | | | | | | | Ortalama: | 5.4 | |
| | | | | | | | | | | | Genel ortalama: | 5.9 | |

Y_M: Yastık malzemesi türü; K_N: Kademe no; K_D: Dilim kalınlığı; K_Y: Kademe yüksekliği; K_U: Kesim uzunluğu; K_M: Ana kesim miktarı; Y_Y: Yastıklama yüksekliği; Y_{TVG}: Yastıklama tavanı genişliği; Y_{TBG}: Yastıklama tabanı genişliği; Y_M: Yastık miktarı; B_S: Satılabilir blok adedi; B_M: Toplam blok miktarı; BKV: Blok kazanma verimi

Yastıklama yüksekliği ile blok kazanma verimi arasındaki ilişki incelendiğinde aralarındaki korelasyon orta derecede anlamlı üstel artan bir ilişki olduğu belirlenmiştir (Şekil 5). Yastıklama yüksekliği arttığında veriminde arttığı gözlenmektedir. Hatta yastıklama yüksekliğinde yapılacak bir birimlik artışın blok kazanma veriminde daha büyük miktarda artışa neden olacağını göstermektedir. Fakat yastıklama yükseklikleri karşılaştırıldığında ortalama aynı yükseklikteki üç çeşit yastıklama uygulamasında trapez şekilli yastıklama verimi diğerlerine oranla daha düşük olduğu gözlenmektedir. Aynı yükseklikte oluşturulan yastıklama çeşitlerinden trapez şekilli yastıklama uygulamasında daha fazla yastıklama malzemesi kullanıldığı da gözlemlenmiştir. Mermer ocaklarındaki yastıklama uygulaması için yastık yüksekliğinin artırılması daha fazla malzeme, işçilik ve zaman gerektirdiği bilinmekte ve bunun optimum bir değerde olması istenmektedir. 2 m yastık yüksekliğine ulaşabilmek için trapez şekilli yastıklama uygulaması yapabilmek için yaklaşık 200 m³ malzemeye ihtiyaç duyulurken 80-90 m³ malzeme ile yine 2 m yükseklikte tekli ve çiftli üçgen yastıklama uygulaması yapılabilmektedir (Şekil 6). Ortalama aynı yükseklik ve miktarlardaki çiftli üçgen ve tekli üçgen yastıklama uygulaması karşılaştırıldığında ise; çiftli üçgen yastıklamasının veriminin tekli üçgen yastıklama verimine göre fazla olduğu yönünde değerlendirme yapılmıştır.



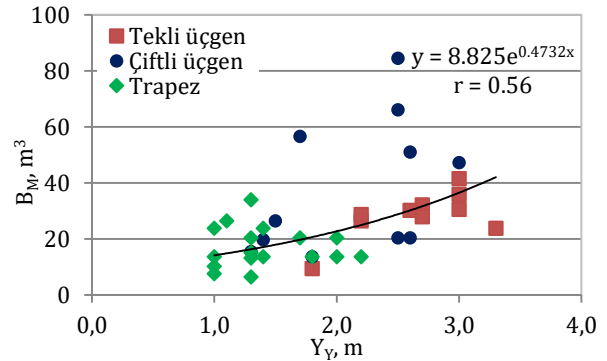
Şekil 5. Tüm yastıklama uygulamasında blok kazanma verimi (BKV) ile yastık yüksekliği (Y_v) arasındaki ilişkiler



Şekil 6. Yastıklama uygulamasında malzeme miktarı (Y_M) ile yastık yüksekliği (Y_v) arasındaki ilişkiler

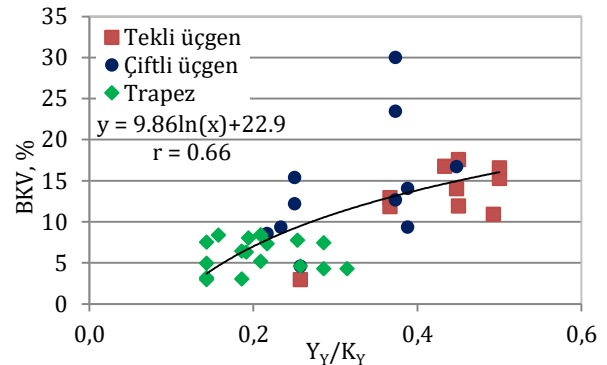
Şekil 7'de tüm yastıklama uygulamalarında satılabilir blok miktarı ile yastık yüksekliği arasındaki ilişki

gösterilmiş olup orta dereceli anlamlı bir korelasyon katsayısında üstel artan bir ilişki olduğu gözlemlenmiştir. Yine yastık yüksekliğinin artırılmasıyla satılabilir nitelikteki blok miktarının da arttığı görülmektedir.



Şekil 7. Yastıklama uygulamasında satılabilir blok miktarı (B_M) ile yastık yüksekliği (Y_v) arasındaki ilişkiler

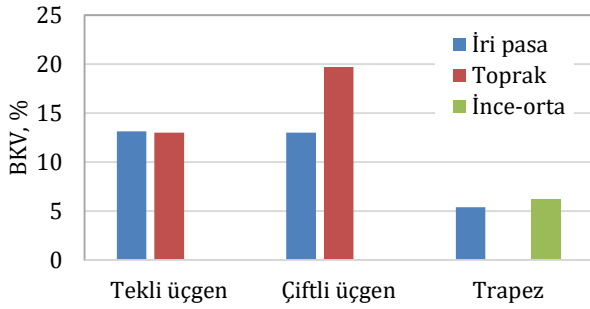
Mermer ocaklarında yastık yüksekliği genellikle kademe yüksekliğine bağlı olarak belirlenmektedir. Ama literatürde optimum bir oran bulunmamaktadır. Bu çalışma kapsamında elde edilen veriler incelendiğinde yastık yüksekliğinin kademe yüksekliğine oranı 0.15-0.50 arasında değiştiği belirlenmiştir. Bu oranın blok kazanma verimi ile ilişkisi Şekil 8'de verilmiştir. Yastık yüksekliğinin kademe yüksekliğine oranının artmasıyla başka bir ifade ile kademe yüksekliğinin sabit kalması koşuluyla yastık yüksekliğinin artmasıyla blok kazanma verimi logaritmik olarak yüksek bir korelasyonla artmaktadır.



Şekil 8. Yastık yüksekliğinin kademe yüksekliğine oranının (Y_v/K_v) blok verimine (BKV) etkisi

Mermer ocaklarında yastıklama malzemesi hazırlanırken genellikle mermer ocak sahası içerisinde rahatlıkla bulunabilecek farklı boyutlarda pasa malzemesi kullanılmaktadır. Bu çalışmada farklı şekillerde yastıklama uygulaması yapılırken yastıklama malzemesi olarak ince-iri pasa ve toprak malzemesi kullanılmıştır. Fakat toprak malzemesinin mermer ocaklarında temininin zorluğundan dolayı daha az sayıda yastıklama uygulamasında kullanılabilmiştir. Çalışma kapsamında farklı yastıklama malzemelerinden oluşturulan farklı şekillerdeki yastıklama uygulamalarından elde edilen

ortalama blok kazanma verimleri Şekil 9'da verilmiştir. Şekilde, tekli üçgen yastıklama uygulamasında toprak kullanılarak oluşturulan yastıklama malzemesinin farkı çok görülme de çiftli üçgen yastıklama uygulamasında iri pasadan oluşan yastıklama malzemesine göre daha fazla blok kazanma verimi elde edilmiştir. Yine trapez şekilli oluşturulan yastıklama uygulamasında yastıklama malzemesi olarak ince-orta ve iri pasadan oluşan malzeme kullanılmış ve ince-orta boyut pasa malzemesinin iri pasadan oluşan yastıklamaya göre daha fazla bir blok kazanma verimi sağladığı tespit edilmiştir. Buna göre toprak malzemesinin fazla kullanılmamasına rağmen, yastıklama malzemesinin ince boyutlarda olması veya toprak malzemedden hazırlanmasının verimi arttırdığı görülmektedir.



Şekil 9. Yastıklama uygulamalarında kullanılan malzeme türlerinin (Y_M) blok verimine (BKV) etkisi

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada ekonomik açıdan büyük öneme sahip mermer ocaklarının işletme faaliyetleri sırasında karşılaşılan üretim kayıplarına değinilmiş ve bu faaliyetlerden yastıklama uygulamasının etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla, 3 farklı şekilde yastıklama uygulaması yapılmıştır. Ayrıca yastıklama malzemesi olarak genellikle mermer ocaklarındaki artık (pasa) malzemeler kullanılmaktadır. Yine bu çalışmada yastıklama malzemesi olarak ince-orta boyutlu pasa, iri boyutlu pasa ve toprak malzeme kullanılmıştır. Bu farklı şekil ve malzemelerden oluşturulan yastıklama uygulamaları sonrasında elde edilen satılabilir blok hacminin ana kesim hacmine oranı olarak tanımlanan blok verim değerleri belirlenmiştir.

Her üç yastıklama uygulamasında elde edilen ortalama verimler tekli üçgende %13.1, çiftli üçgende %14.2 ve trapez şeklindeki uygulamada ise %5.9 olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlar uygulanan farklı yastık şekillerinden en uygun olanının çiftli üçgen daha sonra tekli üçgen şeklindeki yastıklama uygulaması olduğunu göstermektedir. Trapez şeklindeki yastıklama uygulamasının ise söz konusu mermer ocağı için uygun olmadığı sonucuna varılmıştır.

Yastıklama yüksekliği arttığında blok kazanma veriminin de arttığı gözlenmiştir. Fakat yastıklama yükseklikleri karşılaştırıldığında ortalama aynı

yükseklikteki üç çeşit yastıklama uygulamasında trapez şekilli yastıklama verimi diğerlerine oranla daha düşük olduğu gözlenmektedir.

Yastık yüksekliğinin kademe yüksekliğine oranının artmasıyla başka bir ifade ile kademe yüksekliğinin sabit kalması koşuluyla yastık yüksekliğinin artmasıyla blok kazanma verimi üstel olarak yüksek bir korelasyonla artmaktadır. Mermer ocaklarında bu yastık şeklinin oluşturulması için yastık yüksekliğinin artırılması daha fazla malzeme, işçilik ve zaman gerektiği bilinmekte ve bunun optimum bir değerde olması istenmektedir. Verimin yüksek olması için yastık yüksekliği kademe yüksekliği oranı tekli üçgen yastıklama için 0.5 olması, çiftli üçgen yastıklama uygulamasında ise 0.4 olması önerilmektedir.

Tüm yastıklama uygulamalarındaki malzeme çeşidinin verime etkisi karşılaştırıldığında, toprak malzemesinin fazla kullanılmamasına rağmen, malzeme çeşidinin ince boyutlarda olması veya toprak malzemedden hazırlanmasının verime katkısının fazla olduğu belirlenmiştir.

Tüm bu sonuçlar doğrultusunda, yastıklama çeşitleri karşılaştırıldığında üçgen şekilli yastıklama uygulamalarının, trapez şekilli yastıklama uygulamalarına göre daha verimli olduğu, üçgen yastıklamalarda ise çiftli üçgen yastıklama uygulamasının, tekli üçgen yastıklama uygulamasına göre daha avantajlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, mermer ocaklarındaki yastıklama uygulamasının önemini göstermektedir. Mermer ocaklarında uygulanan yastıklamanın yüksekliğinin ve şeklinin iyi ayarlanması ana kesimin devrilmesi sırasında blok parçalanmasını olumlu yönde etkilediği belirlenmiştir. Bu sayede blok kazanma veriminde artış olacağı görülmüştür.

Teşekkür

Bu çalışma, birinci yazar danışmanlığında ikinci yazar tarafından hazırlanan "Mermer ocak işletmeciliğinde yastıklama uygulamasının üretim verimine etkisinin araştırılması" konulu Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü'nce kabul edilen Yüksek Lisans Tezi'nin bir kısmıdır. Çalışmanın deneysel bölümünü oluşturan farklı yastıklama uygulamalarının gerçekleştirilmesine imkan sunan Samer Madencilik San. ve Tic. A.Ş. ve İtaş Madencilik San. ve Tic. A.Ş.'ye teşekkür ederiz.

Etik Beyanı

Bu çalışmada, "Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi" kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin "Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler" başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederiz.

Kaynakça

- [1] Türkiye Cumhuriyeti Ticaret Bakanlığı, İhracat Genel Müdürlüğü, Maden, Metal ve Orman Ürünleri Dairesi, 2021. Doğal Taşlar Sektör Raporu. 10 s. Ankara. <https://ticaret.gov.tr/data/5b87000813b8761450e18d7b/Do%C4%9Ffal%20Ta%C5%9Flar%20Sekt%C3%B6r%20Raporu%202021.pdf> (Erişim Tarihi: 27.07.2021).
- [2] Urhan, S., Şişman, A. 1993. Blok Mermer Üretiminde Elmaslı Tel Kesme Kullanımı, Uygulaması Ve Kesme Veriminin Optimizasyonu. Bilimsel Madencilik Dergisi, 32 (3-4), 23-30.
- [3] Eleren, A., Ersoy, M. 2007. Mermer Blok Kesim Yöntemlerinin Bulanık Topsis Yöntemiyle Değerlendirilmesi. Bilimsel Madencilik Dergisi, 46(3), 9-22.
- [4] Küçük K. 2009. Mermer Sahalarından Alınabilecek Blok Boyutlarının Belirlenmesinde Yeni Bir Kayaç Kütle Sınıflama Yönteminin Geliştirilmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 240s, İzmir.
- [5] Yavuz, A.B. 2018. Mermer Ocaklarında Üretim Verimliliğini Etkileyen Jeolojik Parametreler ve Bunların Tespitinin Üretim Verimliliği Üzerindeki Etkileri. ss 1-22. Güler, T., Polat, E. ed. 2004. Mermer Madenciliğinde Çevresel Yaklaşımlar. Muğla Büyükşehir Belediyesi Kültür Yayınları-6. Muğla Türkiye, 271s.
- [6] Küçük, K., Onargan, T. 2018. Yer radarı (GPR) yöntemi ile Burdur bej mermer ocağında blok verimliliği değerlendirmesi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 30 (1), 51-59.
- [7] Altındağ, R. 2018. Doğal Taş Ocaklarında Artık Oluşumunun Önlenmesi ve Artıkların Değerlendirilmesi. ss 35-50. Güler, T., Polat, E. ed. 2004. Mermer Madenciliğinde Çevresel Yaklaşımlar. Muğla Büyükşehir Belediyesi Kültür Yayınları-6. Muğla Türkiye, 271s.
- [8] Bozcu, M., Yağmurlu, F., Şentürk, M. 2011. Fethiye-Burdur fay zonunun bazı neotektonik ve paleosismolojik özellikleri, GB-Türkiye. Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 66, 25-48.
- [9] Kaya, Ş. 2015. Burdur Fayının Paleosismolojik Özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 92s, Denizli.
- [10] Bilgin, İ. 2021. Mermer Ocak İşletmeciliğinde Yastıklama Uygulamasının Üretim Verimine Etkisinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 77s, Isparta.

İyon Değiştirme Prosesi Kullanan Su Yumuşatma Sistemlerinde TOPSIS Karar Verme Modeliyle Mevcut En İyi Tekniklerin Seçimi

Alperen KIR*¹, Elif ŞİMŞEK², Emrah ÖZTÜRK³, Mehmet KİTİŞ⁴

¹Artvin Çoruh Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 08000, Artvin, Türkiye

²Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 32200, Isparta, Türkiye

³Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Çevre Koruma Teknolojileri Bölümü, 32500, Isparta, Türkiye

⁴Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 32200, Isparta, Türkiye

(Alınış / Received: 08.09.2021, Kabul / Accepted: 11.03.2022, Online Yayınlanma / Published Online: 20.04.2022)

Anahtar Kelimeler

İyon değiştirme,
Mevcut en iyi teknikler
(MET),
Reçine,
Su yumuşatma,
TOPSIS

Özet: İmalat sanayinde kullanım amacına, prosese ve ürün üzerindeki etkilerine bağlı olarak farklı kalitelerde proses suyu gereksinimi bulunmaktadır. En yaygın kullanılan proses suyu hazırlama sistemi sertlik giderimi amacıyla katyonik iyon değiştirme reçineleri kullanan kolon sistemlerdir. İyon değiştiricilerde, proses suyu üretim maliyetlerini ve çevresel etkileri azaltmak amacıyla çeşitli mevcut en iyi teknikler (MET) uygulanabilmektedir. Bu çalışmada, katyonik iyon değiştirme reçine sistemlerin çevresel performanslarını arttırabilmek amacıyla sunulan MET'lerin değerlendirilmesi ve çok ölçütlü karar verme metodu (ÇÖKVM) kullanılarak en uygun tekniklerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda MET'ler, İdeal Çözüme Benzerlik Yoluyla Sıralama Tercihi Tekniği (TOPSIS) kullanılarak 11 farklı değerlendirme kriterine göre önceliklendirilmiştir. Sonuç olarak eş-zamanlı sertlik sensörleri kullanımıyla rejenerasyon süreleri ve sıklıklarının optimize edilmesi katyonik iyon değiştirme reçine sistemleri için en öncelikli MET olarak belirlenmiştir.

Selection of Best Available Techniques for Water Softening/Ion Exchange Processes Employing TOPSIS Decision Making Model

Keywords

Best available techniques
(BAT),
Ion exchange,
Resin,
TOPSIS,
Water softening

Abstract: There is a need for different qualities of process water in the manufacturing industry, depending on the purpose of use, the process and its effects on the product. The most widely used process water preparation system is column systems using cationic ion exchange resins for hardness removal. Various best available techniques (BAT) can be applied to ion exchangers to reduce process water production costs and environmental impacts. In this study, it was aimed to evaluate the BATs presented in order to increase the environmental performance of cationic ion exchange resin systems and to determine the most appropriate techniques using the multi-criteria decision making method (MCDM). In this context, BATs were prioritized according to 11 different evaluation criteria using the Ranking Preference Technique by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS). As a result, optimizing regeneration durations and frequencies using online hardness sensors was identified as the top priority BAT for cationic ion exchange resin systems.

1. Giriş

Su, imalat sanayinin neredeyse tamamında önemli proses girdilerinden birini oluşturmaktadır. Türkiye'de, Türkiye İstatistik Kurumu'nun (TÜİK) son verilerine göre 2018 yılı için imalat sanayinde toplam 2,9 milyar m³ su tüketimi gerçekleşmiş ve bunun yaklaşık %17'si proses suyu olarak tüketilmiştir [1].

İmalat sanayide üretim ve proses özelliklerine bağlı olarak farklı miktarlarda ve kalitede su gereksinimleri bulunmaktadır. Endüstriyel tesislerde kireçle yumuşatma [2], selatlaştırma maddeleri ile yumuşatma [3], soda ile yıkama [4], aktif karbonla adsorpsiyon [4], distilasyon [4] ve ters osmoz yöntemi [5] gibi çok çeşitli proses suyu hazırlama sistemleri kullanılmaktadır. En yaygın kullanılan sertlik

*İlgili yazar: alperenkir@artvin.edu.tr

giderimi/su yumuşatma yöntemlerinin başında katyonik iyon değiştirme reçine sistemleri gelmektedir [6]. İyon değiştirme işlemi ile birlikte ham sudan kalsiyum, magnezyum, arsenik, baryum, nitrat ve radyum gibi kirleticiler uzaklaştırılmaktadır. Su yumuşatma sistemlerinin, özellikle katyonik iyon değiştirme reçinelerin kullanıldığı sistemlerin teknik açıdan verimli bir şekilde çalıştırılmaması durumunda bazı problemler ortaya çıkmaktadır. Bunlar genel olarak; rejenerasyon sonrası oluşan yüksek tuz konsantrasyonuna sahip atıksuların deşarj ortamındaki tuzluluk yükünü arttırması, kullanılan ham suyun kimyasal özelliklerine göre kolon işletim optimizasyonunun yeterli duyarlılıkta yapılamaması, rejenerasyon sürelerinin ve sıklığının optimize edilememesi, yıkama ve durulama sularının geri kullanımının dikkate alınmaması, manuel katyonik iyon değiştirme reçine sistemlerine sahip olan tesislerde fazla miktarda reçine ve tuzun kullanılması olarak sıralanabilir. Bu problemlerin sonucunda tesislerde su, elektrik ve kimyasal tüketimlerinde artışlar meydana gelmekte ve üretim maliyetlerine yansımaktadır.

Tatlı su kaynakları, endüstriyel faaliyetler sonucu kirlenmekte ve hızla tükenmektedir [7]. Bu nedenle su kaynaklarının sürdürülebilirliğinin sağlanması ve sınırlı kaynaklardan olan suyun verimli kullanımı büyük önem arz etmektedir [8]. Endüstrilerin çevresel performanslarının arttırılması, üretim maliyetlerinde tasarruf ve kaynak kullanımının azaltımı temiz üretim teknikleri ile sağlanabilir. Temiz üretim kaynak kullanımları ve kirlenmenin kaynakta önlenmesini amaçlayan proaktif bir çevre stratejisini ifade etmektedir. İmalat sanayide temiz üretim yapılandırmak ve sektörlerin temiz üretime geçişini kolaylaştırmak üzere Avrupa Birliği (AB) Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrolü (IPPC) bürosu tarafından 'Mevcut En İyi Teknikler (MET/BAT) Sektörel Referans Dokümanları (BREF)' hazırlanmıştır. Ancak proses suyu hazırlama sistemlerine özgü bir BREF dokümanı bulunmamaktadır. Sektörel BREF'lerin içerisinde proses suyu hazırlama sistemlerine dair MET'ler yer almaktadır. Ayrıca literatürde ve sahada su yumuşatma sistemlerine dair iyi uygulama örnekleri bulunmaktadır. Katyonik iyon değiştirme reçine sistemlerinde uygun tekniklerin/MET'lerin uygulanmasıyla su, kimyasal ve enerji tasarrufu sağlanabilmekte ve alıcı su ortamlarında tuzlanma ve proses suyu üretim maliyetleri azaltımı sağlanabilmektedir [9].

Temiz üretim uygulamalarının tümünde olduğu gibi katyonik iyon değiştirme reçine sistemlerinde istenen tasarruflara, teknik ve çevresel faydalara erişebilmek için hangi MET'lerin öncelikli olarak uygulanacağına ya da teknoloji-ekonomik açıdan en uygun MET'e karar vermek de oldukça önemlidir. Bu noktada çok ölçütlü karar verme metodları (ÇÖKVM) MET'lere karar vermede belirlenen kriterlere göre teknik bir sıralama sunabilmektedir. ÇÖKVM farklı alt kriterler göz önüne

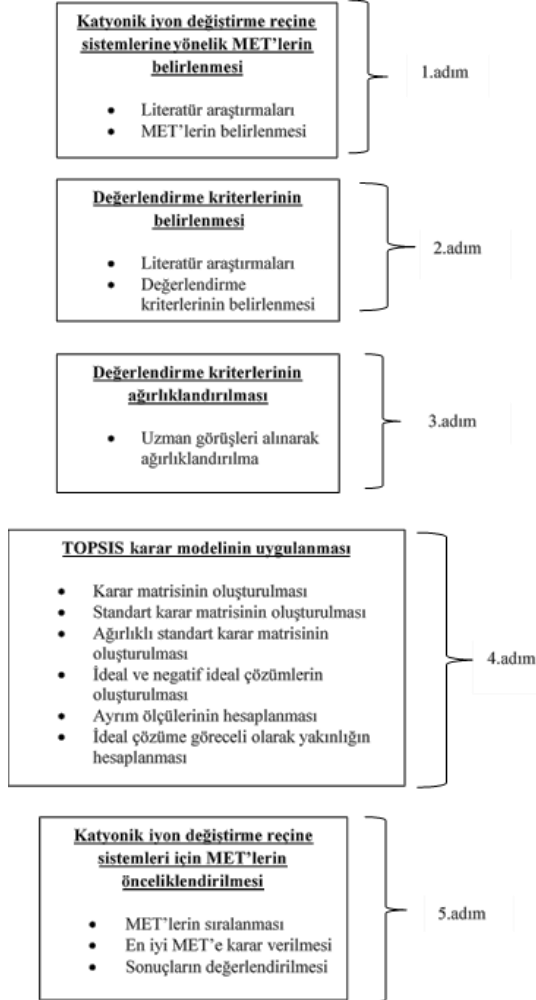
alınarak en iyi alternatiflerin belirlenmesinde kullanılan genel bir yöntemdir. Tercih Sıralaması Organizasyon Yöntemi (PROMETHEE), İdeal Çözüme Benzerlik Yoluyla Tercih Sıralama Tekniği (TOPSIS), Çok Ölçütlü Optimizasyon ve Uzlaşık Çözüm Tekniği (VIKOR), Karmaşık Oransal Değerlendirme (COPRAS) gibi birçok model bulunmaktadır [10,11]. TOPSIS modeli dünyadaki en önemli karar verme yöntemlerinden biri olarak kabul edilmektedir [12]. Örneğin maden yataklarının araştırılmasında kullanılan maden potansiyelinin haritalanmasında [13], şehirlerin tahliyesinde sabit deprem sığınakları yeri belirlemede [14], su yönetiminde [15] ve ürün tasarımı [16] gibi çok ölçütlü karar verme problemlerinin çözümünde ve endüstride birçok alanda başarıyla uygulanmıştır [17]. Bu bağlamda TOPSIS modeli ile birlikte diğer modeller birçok disiplinde karar verme süreçlerinde kullanılmaktadır [10,11].

Bu çalışmada ise katyonik iyon değiştirme reçine sistemlerine dair MET'ler/uygulamalar araştırılmış ve TOPSIS modeli kullanılarak en öncelikli MET'lere karar verilmesi amaçlanmıştır. ÇÖKVM'leri arasında TOPSIS modelinin seçiminde (i) kolay uygulanabilir ve kullanışlı olması, (ii) elde edilen sonuçların yorumlanabilir olması, (iii) yaygın kullanıma sahip olması, (iv) sonuçların ağırlık skorlarına göre sıralanmasına olanak sağlaması ve (v) puanlama ölçeği kullanıyor olması kriterleri göz önünde bulundurulmuştur. Literatür araştırmalarına göre bu çalışma katyonik iyon değiştirme reçine sistemlerinde temiz üretim ve verimlilik uygulamalarına dair nadir çalışmalardan biridir. Dolayısıyla geliştirilen değerlendirme kriterleri, uygulanan MET'ler ve elde edilen sonuçlar katyonik iyon değiştirme reçine sistemlerinde kaynak kullanımı ve çevresel performanslarının geliştirilmesi adına literatürdeki bir eksikliği giderecektir. Ayrıca bu çalışmada sunulan uygulama metodolojisi ve elde edilen sonuçlar bakımından araştırmacılara, operatörlere ve diğer paydaşlara bir yol haritası oluşturacaktır.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışma 5 temel aşamadan oluşmaktadır (Şekil 1). İlk aşamada katyonik iyon değiştirme reçine sistemler için literatürdeki temiz üretim uygulama örnekleri, temiz üretim kılavuz dokümanları ve IPPC BREF dokümanlarındaki MET'ler araştırılmıştır. İyon değiştirme reçine sistemlerine uygulanabilecek nitelikte olan 7 farklı MET belirlenmiştir. Bu teknikler, teknik uygulanabilirlik, maliyet, çevresel fayda, ekonomik tasarruf ve yan etkileşimler açısından incelenmiştir. İkinci aşamada, IPPC BREF dokümanlarında ve literatürde MET'lerin önceliklendirilmesinde kullanılan kriterler esas alınarak değerlendirme kriterleri belirlenmiştir. Üçüncü aşamada, uzman görüşleri alınarak belirlenen değerlendirme kriterlerinin ağırlıkları belirlenmiş ve değerlendirme kriterleri ayrı ayrı ağırlıklandırılmıştır.

Katılımcıların görüşlerinden yararlanılarak her bir değerlendirme kriterine göre belirlenen MET alternatiflerinin ağırlık puanları belirlenmiştir. Dördüncü aşamada TOPSIS karar modeli uygulanmıştır. Beşinci aşamada ise katyonik iyon değiştirme reçine sistemleri için MET'ler önceliklendirilmiştir.



Şekil 1. Çalışmanın uygulama metodolojisi

2.1. MET'lerin belirlenmesi

İyon değiştirme prosesi için temiz üretim etüt-analiz çalışmaları kapsamında tespit edilen verimsizliklerin giderimine yönelik MET listesi hazırlanmıştır. Bu MET listesinin hazırlanmasında büyük ölçüde IPPC BREF dokümanı, temiz üretim kılavuz dokümanları ve literatürdeki temiz üretim uygulamalarından yararlanılmıştır. MET listesi genel olarak; iyi yönetim uygulamaları, su atıksu yönetimi, enerji yönetimi, kimyasal minimizasyonu ve değişimi, emisyonların azaltılması ve katı atıklar çerçevesinde belirlenmiştir.

2.2. Değerlendirme kriterlerinin belirlenmesi

Değerlendirme kriterleri literatürde ve temiz üretim dokümanlarında MET'lerin değerlendirilmesinde kullanılan faktörler (maliyet, uygulanabilirlik, potansiyel tasarruf, çevresel fayda, yan etkileşim ve

referans işletmeler gibi) dikkate alınarak belirlenmiştir. Bu faktörler, literatür araştırmaları ve bu alanda çalışmalarını bulunan akademisyenlerin ve sektör uzmanlarının görüşleri alınarak detaylandırılmıştır. Sonuç olarak MET değerlendirmede toplam 11 kriterin uygulanmasına karar verilmiştir. Bu kriterler; uygulanabilirlik (K1), çevresel faydalar (K2), ekonomik tasarruf (K3), ilk yatırım maliyeti (K4), işletme ve bakım-onarım maliyeti (K5), yan etkileşimler (K6), etkili kullanım ömrü (K7), uzmanlık gereksinimi (K8), kolay işletme ve bakım (K9), personel gereksinimi (K10) ve geri ödeme süresinden (K11) oluşmaktadır.

2.3. Değerlendirme kriterlerinin ve MET'lerin ağırlıklandırılması

Karar verme çalışmalarında kullanılmak üzere her bir değerlendirme kriterinin ağırlık puanları (önem-öncelik değerlendirmesi) katılımcı görüşleri alınarak yüz yüze görüşme ve anket uygulamasıyla belirlenmiştir. Katılımcıya uygulanan anket formu (Ek A'da) sunulmuştur. Katılımcılar tarafından verilen ağırlık puanlarının ağırlıklı ortalaması alınarak her bir değerlendirme kriterinin nihai ağırlık puanı hesaplanmıştır. Uzmanların katılımıyla MET listesinde yer alan her bir MET belirlenen 11 değerlendirme faktörüne göre ağırlıklandırılmıştır. Katılımcılar tarafından verilen tüm ağırlık puanlarının ağırlıklı ortalamaları alınarak her bir MET'in değerlendirme kriterlerine göre ağırlık puanları belirlenmiştir.

2.4. TOPSIS karar modelinin uygulanması

TOPSIS modeli ÇÖKVM olması nedeniyle ve ölçütler arasında fayda-maliyet analizinin çok iyi bir şekilde yapılabilmesine olanak tanıdığı için bu çalışmada tercih edilmiştir. Bu bağlamda ilk adımda veri matrisi oluşturulmuştur. Böylece değerlendirme kriterleri ve alternatifleri ile bunların ağırlıkları belirlenmiştir. İkinci adımda, tercih değerlendirme kriterlerinin yapısını ve iç ilişkilerini gösteren kriterler için fonksiyonlar belirlenmiştir. Üçüncü ve dördüncü adımda, ortak tercih fonksiyonları ve tercih indeksleri belirlenmiş olup ideal ve ideal olmayan negatif ayrım ölçütleri hesaplanmıştır. Beşinci adımda ideal ve negatif ideal ayrım hesaplamaları yapılarak, altıncı adımda ideal ölçüme en yakın göreceli MET'ler belirlenmiştir. TOPSIS modelinin son aşamasında, karar seçeneklerinin tüm öncelikleri belirlenmiştir. Eşitlik 11 kullanılarak MET'ler öncelik sırasına göre büyükten küçüğe doğru sıralanmaktadır. Uygulama adımları, TOPSIS karar modeli ve her adımda kullanılan eşitlikler aşağıda alt başlıklar halinde sunulmuştur.

2.5. Katyonik iyon değiştirme reçine sistemleri için MET'lerin önceliklendirilmesi

Çalışmanın son aşaması olan bu bölümde; başlangıç MET listesinde yer alan MET'lerin ağırlık puanları ve

belirlenen her bir değerlendirme kriteri için verilen ağırlık puanlarından yararlanılarak TOPSIS modeli kullanılmıştır. TOPSIS modeli için yapılan hesaplamalar Microsoft Office Excel programında modelin işlem adımları dikkate alınarak yapılmıştır. Aşağıdaki başlıklar altında bu çalışmada kullanılan TOPSIS modeli ve kullanılan eşitlikler sunulmuştur.

2.6 Kriter ağırlıklandırma

ÇÖKVM, birden çok alternatifin diğer kriterlerle ve/veya birbirinden bağımsız değerlendirme kriterlerine göre analiz edilmesini sağlar. Bu sayede, en iyi alternatife karar verilebilmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken en önemli nokta ise, alternatiflerin ve değerlendirme kriterlerinin seçimi ve kriterlerin ağırlıklandırılmasıdır. Kriter ağırlıkları, katılımcılar tarafından 1-5, 1-9 arası puanlanmaktadır. Puanlama ölçeği kullanılarak ölçütlerin ağırlıkları belirlenebilmektedir. Böylelikle, kriterlerin ağırlıklarının hesaba katılması ve güvenilir olması mümkün olmaktadır. Kriterlerin sentezlenme aralığı Eşitlik 1'de sunulmuştur.

$$w_j = \frac{a_j \times \beta_j}{\sum_{j=1}^n a_j \times \beta_j} \quad j = 1, \dots, n \quad (1)$$

Yukarıda sunulmuş olan Eşitlik 1'de; α_j , Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) modeli ile elde edilen j. kriterin ağırlığı ve β_j , entropi yöntemi ile elde edilen j. kriterin ağırlığıdır. 1-5, 5-9 arası puanlama çalışması ile kriterler ağırlıklandırılmıştır.

2.7. TOPSIS modeli

TOPSIS modeli pozitif ideal çözüme en yakın veya negatif ideal çözüme en uzak mesafedeki seçeneği belirleyerek en iyi alternatifi sunma yöntemidir. Karar vericilerin, çözülecek sorunları organize etmelerine ve alternatiflerin analizlerini, karşılaştırmalarını ve sıralamalarını gerçekleştirmelerine yardımcı olmaktadır [18]. TOPSIS modeli dünyadaki en önemli karar verme yöntemlerinden biri olarak kabul edilmektedir [12].

TOPSIS modeli, en uygun tekniğin en uygun seçimini alternatif olarak kabul ettiğinden, tüm karar seçeneklerini sıralamaktadır. TOPSIS modeli, karmaşık algoritmalar ve matematiksel modeller içermeyen, pratik anlaşılması kolay ve yorumlanabilir bir yöntemdir [12]. TOPSIS modeli, bazı araştırmacılar tarafından arıtma tesislerinin verimli işletilebilmesine yönelik en iyi alternatiflerin belirlenmesinde kullanılmıştır [12].

TOPSIS modelinin uygulanabilmesi için en az iki karar seçeneğinin olması gerekmektedir. Bu bağlamda ilk olarak karar ölçütlerinin araştırılıp belirlenmesi gerekmektedir. Genel olarak TOPSIS uygulamasında ölçütler arasında fayda ya da maliyet ayrımı

yapılmaktadır [19]. TOPSIS modeli aşağıdaki basit 6 adımdan oluşmaktadır.

1. adımda karar seçenekleri ve değerlendirme ölçütleri belirlendikten sonra n adet ölçüt $K = (k_1, k_2, k_3, \dots, k_n)$ ve m adet karar seçeneğinden $(A = a_1, a_2, a_3, \dots, a_m)$ oluşan karar matrisi oluşturulur. Karar matrisinin oluşturulması, Eşitlik 2 kullanılarak gerçekleştirilmektedir.

$$D_{ij} = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & \dots & d_{1n} \\ d_{21} & d_{22} & \dots & d_{2n} \\ \vdots & \ddots & \dots & \vdots \\ d_{i1} & d_{i2} & \dots & d_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ d_{m1} & d_{m2} & \dots & d_{mn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

2. adımda karar matrisi oluşturulduktan sonra 3 ve 4 numaralı Eşitlikler kullanılarak standart karar matrisi oluşturulmaktadır.

$$\forall d_{ij} \neq 0: r_{ij} = \frac{d_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m d_{kj}^2}} \quad \forall i = 1, \dots, m \quad \forall j = 1, \dots, n \quad (3)$$

$$\forall d_{ij} = 0: r_{ij} = 0; \quad \forall i = 1, \dots, m \quad \forall j = 1, \dots, n \quad (4)$$

Normalizasyon işlemleri neticesinde standart karar matrisi R Eşitlik 5'te gösterildiği gibi olmaktadır.

$$R_{ij} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \vdots & \ddots & \dots & \vdots \\ r_{i1} & r_{i2} & \dots & r_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix} \quad (5)$$

3. adımda ağırlıklı standart karar matrisinin oluşturulması aşamasında, önceden belirlenen ölçütlerin ağırlıkları w_j , Eşitlik 6'da gösterildiği gibi R elemanları ile çarpılarak ağırlıklı standart karar matrisi (V) elde edilmektedir. Değerlendirme ölçütlerinin ağırlık değerleri toplamı 1 olmalıdır.

$$V_{ij} = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & \dots & w_n r_{1n} \\ w_2 r_{21} & w_2 r_{22} & \dots & w_n r_{2n} \\ \vdots & \ddots & \dots & \vdots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_1 r_{m1} & w_2 r_{m2} & \dots & w_n r_{mn} \end{bmatrix} \quad (6)$$

4. adım olan İdeal ve İdeal Olmayan (negatif) Çözümlerin Oluşturulmasında, değerlendirme ölçütleri fayda cinsinden A^* , V^* 'nin en iyi değerlerinden oluşurken; A^- en kötü değerlerinden oluşmaktadır. Değerlendirme ölçütleri maliyet cinsinden ise bu durumda A^* , V^* 'nin ölçüt değerlerinin en küçüklerinden oluşurken, A^- en büyük değerlerinden oluşmaktadır. İdeal çözümler 7 ve 8 numaralı Eşitliklerde sunulmaktadır.

$$A^* = \{ (max_i v_{ij} | j \in J), \{ (min_i v_{ij} | j \in J') i = 1, \dots, m \} \\ A^* = \{v_1^*, v_2^*, \dots, v_j^*, \dots, v_n^*\} \quad (7)$$

$$A^* = \{ (min_i v_{ij} | j \in J), \{ (max_i v_{ij} | j \in J') i = 1, \dots, m \} \\ A^* = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_j^-, \dots, v_n^-\} \quad (8)$$

$$J = \{j = 1, \dots, n | \text{ölçütler fayda türünden}\} \\ J' = \{j = 1, \dots, n | \text{ölçütler maliyet türünden}\} \\ J \cap J' = \emptyset \wedge J \cup J' = \{1, \dots, n\}$$

5. adım olan Ayrım Ölçülerinin Hesaplanmasında pozitif ideal ve negatif ideal çözüm değerlerine olan uzaklık değerleri elde edilmektedir. A_i için ideal ayırım S_i^* ve negatif ideal ayırım S_i^- olarak adlandırılan iki ayırım ölçüsü ortaya çıkmaktadır. J seçeneğinin ideal ölçüm noktasına olan uzaklığı S_i^* 9 numaralı Eşitlikte ve negatif ideal çözüme uzaklık S_i^- ise 10 numaralı Eşitlikte sunulmaktadır. Bu hesaplamalarda Öklid uzaklık yaklaşımından yararlanılmaktadır.

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{i=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2} \quad \forall i = 1, \dots, m \quad (9)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{i=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad \forall i = 1, \dots, m \quad (10)$$

6. adımda, İdeal Çözüme Göreceli Olarak Yakınlığın Hesaplanması işlemi gerçekleştirilerek ideal çözüme göre yakınlığı C_i^* , 11 numaralı Eşitliğe göre hesaplanmaktadır.

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^*} \quad 0 \leq C_i^* \leq 1 \quad \forall i = 1, \dots, m \quad (11)$$

C_i^* , $0 \leq C_i^* \leq 1$ aralığında bir değer alır ve $C_i^* = 1$, i . karar seçeneğinin ideal çözüm noktasında, $C_i^* = 0$ ise karar seçeneğinin negatif ideal çözüm noktasında bulunduğu anlamına gelmektedir.

3. Araştırma Bulguları

Bu bölümde IPPC Tekstil BREF Dokümanı verilerinden ve literatür çalışmalarından faydalanılarak, endüstrilerde katyonik iyon değiştirme reçine sistemlerine yönelik MET'ler incelenmiştir. Bu kapsamda katyonik iyon değiştirme reçine sistemlerine ilişkin toplam 7 MET alternatifi belirlenmiştir. Bunlara ilişkin bilgiler ve teknik detaylar aşağıda alt başlıklar altında sunulmuştur.

MET 1: Su yumuşatma öncesindeki kum filtresi geri yıkama sularının yeniden kullanılması

Kuyu suyu ve yüzeysel su kütlelerinden su temini yapıldığında mevsimsel şartlara, su kalitesine vb. bağlı olarak temin edilen su içerisinde katı maddeler (silt, kil vb.) olabilmektedir. Bu maddeler, su yumuşatma sisteminde tıkanma ve kirlenme risklerini önlemek amacıyla yumuşatma işlemi öncesinde kum filtresinde filtrelenmektedir. Filtre yatağındaki gözenekler dolduğunda geri yıkama suları genellikle atıksu

kanalına ya da alıcı su ortamlarına verilerek uzaklaştırılmaktadır. Böylelikle filtre geri yıkamasında kullanılan sularda kaybedilmektedir. Bu suların biriktirilip çöktürme sonrasında proses dışı alanlarda (yeşil alan sulama, toz kontrolü, açık alan zemin yıkaması vb.) geri kullanılması mümkün olabilir. Bu sayede %2-3 arasında su tasarrufu ve atıksu miktarlarında azalma sağlanabilir [20]. Tekniğin uygulanması ile elde edilebilecek çevresel faydalara bakıldığında, atıksu kanalizasyon sisteminin yükünün azaltılması, mevcut su kaynaklarının korunması ve atıksu arıtma maliyetlerinde azalma sağlanmasıdır. Uygulama için gerekli olan ilk yatırım maliyeti tesis bazlı olarak farklılık göstermektedir. Genel olarak geri ödeme süresinin şartlara bağlı olarak 1-3 yıl arasında olabileceği tahmin edilmektedir [9].

MET 2: İyon değiştirme reçine sistemi çıkış suyunda (proses suyu-yumuşatılmış su) eş-zamanlı sertlik izleme sensörleri kullanılması

Reçine kolon sistemlerinde, belirli bir süre işletimden sonra reçineler satüre olunca rejenerasyon yapılmaktadır. Rejenerasyonun amacı reçinelerde tutulan hedef iyonları sıyırmak ve reçineleri tekrar hedef iyonları tutacak hale getirmektir. Rejenerasyon sıklığı giriş su kalitesine ve su sertliğine bağlıdır. Katyonik iyon değiştirme reçine sistemi çıkış suyunda (proses suyu-yumuşatılmış su) eş-zamanlı sertlik izleme sensörlerinin kullanılmasıyla, çıkış suyunda istenilen sertlik değerinin (önceden set edilen) üstüne çıktığı an eş-zamanlı olarak yakalanabilir ve SCADA ("Supervisory Control and Data Acquisition" "Denetimli Kontrol ve Veri Toplama")'ya bağlı otomatik rejenerasyon başlatılabilir. Böylece rejenerasyon sıklığı optimize edilir su ve tuz tasarrufu sağlanır [21]. Proses suyu hazırlamada katyonik iyon değiştirme reçine sistemlerinin kullanıldığı tesislerde reçinelerin rejenerasyon sıklıkları; (i) reçine tedarikçisinin önerdiği süreler göre, (ii) operatörler veya reçine tedarikçisinin önerdiği debilere göre, (iii) belirli periyotlarda manuel olarak yumuşatılmış su çıkışından numune alarak sertlik analizi yapılarak belirlenmektedir. Bu yöntemler yaygın olarak kullanılsa da teknik, ekonomik ve çevresel açıdan yeterli olmamaktadır. Yumuşatılmış su çıkışına sertlik sensörü kurulmasıyla katyonik iyon değiştirme reçine sisteminden çıkan yumuşatılmış suda sertlik artmaya başladığından sistem otomatik olarak rejenerasyon yapmaktadır. Böylelikle tam zamanında bir rejenerasyon sıklığı en iyi şekilde optimize edilmiş olacaktır. Bu uygulamadan sonra diğer tüm olumsuzluklar ortadan kalkacaktır. Örnek olarak otomatik eş-zamanlı rejenerasyon sistemi kullanan bir tekstil tesisinde rejenerasyon sonrası deşarj edilen atıksuyun miktarı azalmıştır. Uygulanabilecek nitelikte olan otomatik rejenerasyon sisteminin uygulanması veya yenilenmesi ile bir tesisinin rejenerasyon atıksuyu oluşumu ve katyonik iyon değiştirme reçine sistemlerin rejenerasyonu için

tüketilen tuz (NaCl) miktarı %46 oranında azalmıştır [21]. İlk yatırım maliyeti olarak eş-zamanlı sertlik izleme sensörlerinin her birisi için birim maliyetleri 5.000-7.500 Euro arasında değişmektedir (diğer SCADA bağlantıları hariç). Sonuç olarak, katyonik iyon değişirme reçine sistemlerinin rejenerasyonu eş-zamanlı sertlik izleme sensörleri kullanılarak yapıldığı takdirde tesis açısından; su kaynaklarında, zamanda, enerjide, kimyasal kullanımında ve maliyette tasarruf sağlanabilecektir [22].

MET 3: Katyonik iyon değişirme reçine sistemlerinde rejenerasyon süresinin optimize edilmesi

Endüstriyel su yumuşatma sistemlerinde rejenerasyon sıklığı; giriş suyundaki sertlik değerlerine, reçine tür ve miktarına, istenilen çıkış suyu sertlik değerine göre değişmektedir. Bu nedenle rejenerasyon sıklığının eş-zamanlı sertlik ölçümü yapılarak optimize edilmesi çok faydalı olmaktadır. Diğer taraftan rejenerasyon süresinin de tespit edilmesinde eş-zamanlı sertlik sensörleri kullanılabilir. Bu durumda gereğinden fazla yıkama-durulama ya da tuzlu suyla rejenerasyon yapılmamış olur. Dolayısıyla su kullanımı ve atıksu miktarlarında %5'e varan oranlarda tasarruf sağlanabilir. Ayrıca ön yıkama ve son durulama sularının geri kullanımıyla ise %2-6 oranında su tasarrufu sağlanabilir [9]. Rejenerasyon proseslerinde sürelerin optimize edilmesiyle yaklaşık olarak 19-21 dakika zaman tasarrufu ile 6 m³/gün su tasarrufunun sağlanacağı bir tesis için belirtilmiştir [23]. Bir başka çalışmada ise rejenerasyon sürelerinin optimize edilmesiyle 16-20 dakika tasarruf ve toplam su tüketiminde yaklaşık olarak %2-3 oranında bir azalma elde edilebileceği rapor edilmiştir [20]. Uygulamanın geri ödeme süresinin kısa olacağı tahmin edilmektedir.

MET 4: Manuel işletim uygulanan tesislerde katyonik iyon değişirme reçine sistemlerinde rejenerasyon sıklığının ham su kalitesine göre optimize edilmesi

Katyonik iyon değişirme reçine sistemleri işletiminde yaygın olarak tedarikçi tarafından sisteme giren su miktarına göre verilen işletme programı uygulanmaktadır. Ancak ham su kalitesi ve sistemin performansı zamana bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir. Bu durumda istenilen kalitede proses suyu elde edilememekte ya da gereksiz rejenerasyon yapılmaktadır. Dolayısıyla ekstra su tüketimi, tuz tüketimi, enerji tüketimi, rejenerasyon atıksuyu oluşumu ve zaman kayıpları meydana gelebilmektedir. Operatörün rejenerasyon sıklığını belirlemesi amacıyla, yumuşatılmış sudan numune alınarak yumuşatılmış suda sertlik artmaya başladığında manuel kontrolle rejenerasyon yapmasıyla rejenerasyon sıklıkları optimize edilebilir. Bu uygulama ile rejenerasyon işleminde %30'a varan su ve tuz tasarrufu sağlanabileceği görülmektedir [23]. Bu uygulama için ilk yatırım maliyeti bulunmamakta ancak sertlik analizleri için analiz sarf giderleri olabilmektedir [22].

MET 5: Rejenerasyon sularının yüksek su kalitesi gerektirmeyen alanlarda ve/veya tesis içi temizlik işlemlerinde geri kullanılması

Yüksek iletkenliğe sahip rejenerasyon suları yüksek su kalitesi gerektirmeyen alanlarda geri kullanılabilir. Rejenerasyon suları tesis içi ve dışı alan temizliği, makine ve ekipman temizliği gibi farklı alanlarda kullanılabilir. Rejenerasyon sularının yüksek su kalitesi gerektirmeyen alanlarda geri kullanımıyla su tasarrufu ve enerji tasarrufu sağlanabileceği gibi bunların yanı sıra atıksu miktarlarında ve atıksuların taşıdıkları tuz yüklerinde önemli azalmalar sağlanabilmektedir. Literatürdeki bazı çalışmalarda rejenerasyon sularının geri kullanımıyla su tüketiminde ve atıksu miktarlarında %5-10 arasında azalmalar sağlanabileceği rapor edilmiştir [24].

MET 6: Katyonik iyon değişirme reçine sisteminde ön yıkama ve rejenerasyon sonrası yıkama/durulama sularının geri kullanımı

Ön yıkama, reçine kolonlarının bulunduğu sistemin alt tarafından su beslemesi yapılması sonucu gerçekleşmektedir. Sistemin çalışması ile birlikte küçük reçine tanecikleri kolonun üst tarafına taşınmakta ve sistem içerisinde birikmiş olan askıda katılar uzaklaştırılmaktadır. Durulama, rejenerasyon hızıyla aynı değerlerde beslenmekte olup yavaş durulama suyu ile reçine yatağındaki rejenerasyon kimyasal ortamdan uzaklaştırılmaktadır. Reçine ön yıkama ve son durulamaları için genellikle ham su kullanılmaktadır. Ön yıkama ve durulama suları ham suya göre nispeten biraz daha kirlidir çünkü içinde ön yıkamadan gelen askıda katı maddeler/kolloitler ve rejenerasyon sonrası son durulamadan gelen tuzlar bulunmaktadır. Son durulama rejenerasyon sonrası kolonda kalan tuzları sıyırmaktadır. Dolayısıyla, ön yıkama ve durulama suları içerdikleri su kalitesine göre yüksek su kalitesi gerektirmeyen alanlarda (bahçe sulaması, çevre temizliği vb.) yeniden kullanılabilir. Hatta bu suların kalitesi bazı tesislerde neredeyse ham su kalitesine çok yakın olmaktadır ve bu durumda bu sular direkt olarak ham su deposuna geri gönderilip paçallama yapılabilir.

Ön yıkama ve rejenerasyon sonrası yıkama/durulama sularının geri kullanılması ile birlikte toplam ham sudan yaklaşık olarak %10 civarında bir tasarruf elde edilebilmektedir [23]. Uygulamanın ilk yatırım maliyeti, tesisin proses suyu tüketim miktarına ve mevcut tesisat durumuna göre değişmektedir. Geri ödeme süresinin ise rejenerasyon ve ön yıkama sularının yeniden proses suyu olarak kullanılması ile bir yıldan daha kısa olacağı tahmin edilmektedir [9]. Dolayısıyla katyonik iyon değişirme reçine sisteminde ön yıkama ve rejenerasyon sonrası yıkama/durulama sularının geri kullanımı ile hem maliyet tasarrufu hem de su kaynaklarının korunumu kazanımları elde edilebilmektedir [9].

MET 7: Rejenerasyon sularının yüksek tuz gereksinimi olan uygun proseslerde geri kullanımı

Rejenerasyon işlemi sonrasında oluşan rejenerasyon atıksuları yüksek tuz içeriğine sahip olan sert sulardır. Bu sular, gıda ve tekstil endüstrisi gibi yüksek miktarda proses suyu kullanan sektörlerde toplam su tüketiminin yaklaşık %5-10'unu oluşturmaktadır. Bu su tüketimini azaltmak için rejenerasyon atıksuları ayrı bir tankta biriktirilerek yüksek tuz gereksinimi duyulan proseslerde proses suyu olarak değerlendirilebilir [20]. Bazı araştırmacılar sertliğin sorun oluşturmadığı durumlarda pamuklu kumaşların belirli koyu renklere boyanmasında geri kullanılabilirliğini belirtmişlerdir. Ayrıca maya endüstrisinde kalsiyum ve tuz kullanımının olduğu susuzlaştırma işlemlerinde dezenfeksiyon sağlandıktan sonra rejenerasyon atıksuları geri kullanılabilir [9]. Rejenerasyon atıksularının yeniden kullanılması su tüketiminde, enerji tüketiminde, atıksu miktarlarında ve atıksuların tuz içeriğinde yaklaşık %5-10 oranında azalmalar sağlanabilir. Diğer taraftan bu uygulamada suyla birlikte tuz geri kazanımı da olacağından tuz maliyetlerinde de önemli azalmalar sağlanabilir [24]. Bu uygulama için gerekli ilk yatırım maliyetlerini tesisat, pompa vb. mekanik ekipmanlar ve depolama tankları oluşturacağından geri ödeme süresinin bir yıldan kısa olacağı tahmin edilmektedir [9].

3.1. Kriter ağırlıklandırma

Kriter ağırlıklandırma adımı, TOPSIS modelinde bahsedildiği şekilde katılımcılar tarafından yapılmıştır. Kriterler arasında yer alan maliyet bölümü TOPSIS modelinde bahsedildiği gibi negatif ideal çözüm, geri kalan kriterler ise pozitif ideal çözüm olarak alınmıştır. Ölçüt ağırlıkları aşağıda Tablo 1'de sunulmuştur.

3.2. TOPSIS modeli

TOPSIS modeli pozitif ve negatif ideal çözüm olmak üzere iki temel noktaya dayanmaktadır. Yöntem pozitif ideal çözüme en yakın ve negatif ideal çözüme en uzak mesafedeki seçeneğin belirlenmesini amaçlamaktadır. Pozitif ideal çözüme en yakın olan ve negatif ideal çözüme en uzak olan alternatifleri sıralamaktadır [25]. TOPSIS modeli karmaşık algoritmalar ve matematiksel modeller içermeyen basit bir tekniktir. TOPSIS modeli temelde 6 uygulama adımından oluşmaktadır. Bu çalışmada bu adımlar sırasıyla uygulanmaktadır. Birinci adımda karar matrisi oluşturulmuştur (Tablo 2). İkinci adımda standart karar matrisi oluşturulmuştur. Üçüncü

adımda ağırlıklı standart karar matrisi oluşturulmuştur. Bu kapsamda dikkat edilmesi gereken en önemli nokta değerlendirme ölçütlerinin ağırlık değerleri toplamının 1 olmasıdır. Dördüncü adımda pozitif ve negatif ideal çözümlerin oluşturulması yapılmıştır. Beşinci adımda ayırım ölçütleri hesaplanmıştır. Altıncı ve son adımda ise ideal çözüme göreceli olarak yakınlıklar hesaplanmıştır. Böylelikle başlangıç MET listesindeki MET'ler önceliklerine göre sıralanabilmektedir.

TOPSIS analiz sonucuna göre, MET alternatiflerinin öncelik sıralaması sırasıyla MET 2, MET 7, MET 6, MET 3, MET 5, MET 4 ve MET 1 olmuştur (Tablo 3). Eş-zamanlı sertlik sensörlerinin kullanımı (MET 2) ile elde edilecek başlıca avantajlar, su kaynaklarının kullanımında azalma, zamanın verimli ve efektif kullanılması, enerji tasarrufu, kimyasal kullanımının azalması ve üretim maliyetlerinin düşürülmesi şeklinde olmaktadır. Rejenerasyon sularının yüksek tuz gereksinimi olan uygun proseslerde geri kullanımının (MET 7) uygulanması sonucu ham madde kullanımında ve üretim maliyetlerinde tasarruflar sağlanabilmektedir. Buna ek olarak çevresel fayda sağlanabilmekte ve uygulanabilirlik açısından iyi performans göstermektedir. Su yumuşatma öncesindeki kum filtresi geri yıkama sularının yeniden kullanılması (MET 1) ekonomik tasarruf, yan etkileşim, çevresel fayda, ilk yatırım maliyeti, işletme ve bakım-onarım maliyeti, uzmanlık gereksinimi, kolay işletme ve bakım, personel gereksinimi ve geri ödeme süresi açısından düşük önceliğe sahip olmaktadır. Uygulanabilirlik ve etkili kullanım ömrü açısından da yüksek önceliğe/avantaja sahip olmaktadır. Bu nedenle uygulanabilir ancak düşük öncelikli MET olarak belirlenmiştir.

4. Tartışma ve Sonuç

İyon değiştiricilerde, proses suyu üretim maliyetlerini ve çevresel etkileri azaltmak gerekmektedir. Çeşitli MET'ler kullanılarak azaltımlar sağlanabilir. Bu çalışmada, katyonik iyon değiştirme reçine sistemlerinin çevresel performanslarını arttırabilmek amacıyla uygulanabilecek nitelikte olan MET'lerin TOPSIS modeli kullanarak belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda 11 farklı değerlendirme kriteri kullanılarak literatüre katkı sağlanmıştır. Bu değerlendirme kriterleri, MET'lerin karar verme sürecinde önemli ölçüde çok yönlülük kazandırmıştır. Ayrıca karar vermenin farklı açılardan değerlendirilmesi sağlanmış ve daha fazla veri elde ederek karar verme daha hassas hale getirilmiştir. Bu değerlendirme kriterlerini farklı sektörler için geliştirmek veya değiştirmek mümkündür. Bu çalışma

Tablo 1. Ölçüt ağırlıkları

| | K ₁ | K ₂ | K ₃ | K ₄ | K ₅ | K ₆ | K ₇ | K ₈ | K ₉ | K ₁₀ | K ₁₁ |
|----------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|
| Puan | 9 | 7 | 8 | 7 | 7 | 6 | 7 | 6 | 6 | 6 | 7 |
| W_i | 0,118 | 0,114 | 0,128 | 0,104 | 0,107 | 0,101 | 0,114 | 0,090 | 0,101 | 0,087 | 0,111 |
| | 0,118 | 0,096 | 0,108 | 0,087 | 0,090 | 0,085 | 0,096 | 0,075 | 0,085 | 0,073 | 0,093 |
| Yön | + | + | + | - | - | + | + | + | + | + | + |

Tablo 2. Başlangıç karar matrisi

| | K ₁ | K ₂ | K ₃ | K ₄ | K ₅ | K ₆ | K ₇ | K ₈ | K ₉ | K ₁₀ | K ₁₁ |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|
| MET 1 | 8 | 7 | 6 | 7 | 7 | 6 | 8 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| MET 2 | 8 | 7 | 7 | 7 | 6 | 6 | 6 | 5 | 7 | 7 | 7 |
| MET 3 | 8 | 7 | 8 | 8 | 7 | 7 | 7 | 6 | 7 | 7 | 7 |
| MET 4 | 8 | 8 | 7 | 8 | 7 | 7 | 7 | 6 | 7 | 6 | 7 |
| MET 5 | 7 | 8 | 7 | 7 | 7 | 6 | 7 | 5 | 7 | 7 | 7 |
| MET 6 | 7 | 8 | 7 | 7 | 7 | 6 | 7 | 6 | 7 | 7 | 6 |
| MET 7 | 8 | 8 | 7 | 7 | 7 | 6 | 7 | 5 | 7 | 7 | 7 |
| Karesi | 398 | 406 | 362 | 352 | 330 | 280 | 364 | 231 | 348 | 339 | 343 |
| Karekök | 20 | 20,2 | 19 | 18,8 | 18,2 | 16,8 | 19,1 | 15,2 | 18,7 | 18,4 | 18,5 |

Tablo 3. Ayrım ölçüleri ve sıralama

| | Si ⁺ | | Si ⁻ | | Ci ⁺ | | Sıralama |
|-----------------------|-----------------|-----------------------|-----------------|-----------------------|-----------------|--------------|----------|
| S1⁺ | 0,1870 | S1⁻ | 0,0665 | C1⁺ | 0,2625 | MET 1 | 7 |
| S2⁺ | 0,0558 | S2⁻ | 0,1893 | C2⁺ | 0,7724 | MET 2 | 1 |
| S3⁺ | 0,1177 | S3⁻ | 0,1581 | C3⁺ | 0,5733 | MET 3 | 4 |
| S4⁺ | 0,1350 | S4⁻ | 0,1064 | C4⁺ | 0,4407 | MET 4 | 6 |
| S5⁺ | 0,1167 | S5⁻ | 0,1478 | C5⁺ | 0,5589 | MET 5 | 5 |
| S6⁺ | 0,1077 | S6⁻ | 0,1598 | C6⁺ | 0,5974 | MET 6 | 3 |
| S7⁺ | 0,1013 | S7⁻ | 0,1596 | C7⁺ | 0,6118 | MET 7 | 2 |

kapsamında TOPSIS modelinin kullanımı etkili sonuçlar vermiştir. Ancak farklı model kombinasyonları kullanılarak da daha etkili sonuçlar elde edilebilir. Bu çalışmada belirlenen değerlendirme kriterleri ve TOPSIS modeli kullanılarak katyonik iyon değiştirme reçine sistemi için önerilen 7 MET'in öncelik sıralaması yapılmıştır. Elde edilen önceliklendirme sonuçlarına dayalı olarak "İyon değiştirici reçine sistemi çıkış suyunda (proses suyu yumuşatılmış) eş-zamanlı sertlik izleme sensörleri kullanılması (MET 2)" en öncelikli MET olarak belirlenmiştir. İlk sırada yer almasının sebebi uygulanabilirlik, çevresel fayda ve ekonomik tasarruf gibi değerlendirme kriterleri açısından iyi performans göstermesidir. Böylelikle su kaynaklarının kullanımında azalma, enerji tasarrufu, kimyasal kullanımının azalması ve üretim maliyetlerinin düşürülmesi gibi avantajları bulunmaktadır. Önerilen tekniklerin birçok avantajı bulunmakta olup çevresel performansı arttırmaktadır.

Literatürde katyonik iyon değiştirme reçine sistemlerinin verimli çalışmasına yönelik kılavuzlar bulunmamaktadır. İmalat sanayinde proses suyu hazırlama sistemlerinin seçimi ve verimli işletimine yönelik önemli bilgi eksiklikleri mevcut olup eksikliklerin giderilmesi gerekmektedir.

Teşekkür

Bu çalışmaya katılımları, görüşleri ve paylaşımlarından dolayı değerli sektör uzmanlarına ve katılımcılara teşekkürlerimizi sunarız. Yazar Elif ŞİMŞEK, Yükseköğretim Kurulu (YÖK) 100/2000 doktora programı kapsamında "Sürdürülebilir Su Kaynakları" tematik alanında doktora bursiyeridir.

Etik Beyanı

Bu çalışmada, "Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi" kapsamında

uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin "Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler" başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederiz.

Kaynakça

- [1] Türkiye İstatistik Enstitüsü (TÜİK), 2018. Çevre Enerji İstatistikleri. <http://www.tuik.gov.tr> (Erişim Tarihi: 17.04.21).
- [2] Dabska, A. 2019. Hydraulic Conductivity of Compacted Lime-Softening Sludge Used as Landfill Liners. *Water Air Soil Pollution*, 230: 280.
- [3] Gitisa, V., Hankinsb, N. 2018. Water Treatment Chemicals: Trends and Challenges. *Journal of Water Process Engineering*, 25, 34–38.
- [4] Shahmirzadi, M.A.A., Hosseini, S.S., Luo, J., Ortiz, I. 2018. Significance, Evolution and Recent Advances in Adsorption Technology, Materials and Processes for Desalination, Water Softening and Salt Removal. *Journal of Environmental Management*, 215, 324-344.
- [5] Micari, M., Moser, M., Cipollina, A., Tamburini, A., Micale, G., Bertsch, V. 2020. Towards the Implementation of Circular Economy in The Water Softening Industry: A Technical, Economic and Environmental Analysis. *Journal of Cleaner Production*, 255, 120291.
- [6] Aragaw, T.A., Ayalew, A.A. 2019. Removal of Water Hardness Using Zeolite Synthesized from Ethiopian Kaolin by Hydrothermal Method. *Water Practice a Technology*, 14 (1), 145-159.
- [7] Vajnhandl, S., Valh, J.V. 2014. The Status of Water Reuse in European Textile Sector. *Journal of Environment Management*, 141, 29-35.
- [8] Mughees, W., Al-Ahmad, M. 2015. Application of Water Pinch Technology in Minimization of

- Water Consumption at a Refinery. *Computers & Chemical Engineering*, 73, 34-42.
- [9] Türkiye Bilimsel Ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK), 2016. Sanayide Temiz Üretim Olanaklarının ve Uygulanabilirliğinin Belirlenmesi Projesi. Maya Sektöründe Temiz Üretim El Kitabı, Kocaeli.
- [10] Dursun, M. 2015. An Integrated Approach for the Evaluation of Wastewater Treatment Alternatives. *Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science (WCECS)*, October 21-23.
- [11] Simsek, E., Demirel, Y. E., Ozturk, E., Kitis, M. 2021. Use of Multi-Criteria Decision Models for Optimization of Selecting The Most Appropriate Best Available Techniques in Cleaner Production Applications: A Case Study in A Textile Industry. *Journal of Cleaner Production*, 130311.
- [12] Ozturk, E. 2018. Applying Analytical Decision Methods for Determination of The Best Treatment Alternative to Remove Emerging Micropollutants from Drinking Water and Wastewater: Triclosan Example. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 30517-30546.
- [13] Pazand, K., Hezarkhani, A., and Ataei, M. 2012. Using TOPSIS Approaches for Predictive Porphyry Cu Potential Mapping: A Case Study in Ahar-Arasbaran Area (NW, Iran). *Computers & Geosciences*, 49, 62-71.
- [14] Chu, J., and Su, Y. 2012. The Application of TOPSIS Method in Selecting Fixed Seismic Shelter for Evacuation in Cities. *Systems Engineering Procedia*, 3, 391-397.
- [15] Srdjevic, B., Medeiros, Y.D.P., Faria, A.S. 2004. An Objective Multi-Criteria Evaluation of Water Management Scenarios. *Water Resources Management*, 18, 35-54.
- [16] Kwong, C.K., Tam, S.M. 2002. Case-Based Reasoning Approach to Concurrent Design of Lowpower Transformers. *Journal of Materials Processing Technology*, 128, 136-141.
- [17] Peters, M.L., and Zelewski, S. 2007. TOPSIS als Technik zur Effizienzanalyse. *Zeitschrift für Ausbildung und Hochschulkontakt*, 1-9.
- [18] Yue, Z. 2011. A Method for Group Decision-Making Based on Determining Weights of Decision Makers Using TOPSIS. *Applied Mathematical Modelling*, 35-4, 1926-1936.
- [19] Janic, M. 2003. Multicriteria Evaluation of High Speed Rail, Transrapid Maglev and Air Passenger Transport in Europa. *Transportation Planning & Technology*, 26(6), 491-512.
- [20] Ozturk, E., Karaboyacı, M., Yetis, U., Yigit, N.O., Kitis, M. 2016. Minimization of Water and Chemical Use in a Cotton/Polyester Fabric Dyeing Textile Mill. *Journal of Cleaner Production*, 130, 92-102.
- [21] Alkaya, E., Demirer G. N. 2014. Sustainable Textile Production: a Case Study From a Woven Fabric Manufacturing Mill in Turkey. *Journal of Cleaner Production*, 65, 595-603.
- [22] European Commission (EC), 2009. Reference Document on The Best Available Techniques in Energy Efficiency, Spain.
- [23] Öztürk, E. 2014. Tekstil Sektöründe Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrolü ve Temiz Üretim Uygulamaları. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Isparta.
- [24] Kiran, C.N. 2003. Reduction in Resource Consumption by Process Modifications in Cotton Wet Process. *Journal of Cleaner Production*, 11, 481-486.
- [25] Cheng, S., Chan, C.W., Huang, G. H. 2002. Using Multiple Criteria Decision Analysis for Supporting Decisions of Solid Waste Management. *Journal of Environmental Science Health, Part A*, 37(6), 975-990.

Ekler

Ek A. Proses suyu hazırlama sistemlerine yönelik belirlenen MET alternatiflerinin değerlendirilmesi için uzman görüşü formu

Ek A.

Bu çalışmada IPPC Tekstil ve Enerji Verimliliği BREF Dokümanları ile literatür araştırmaları sonucu, tesislerde uygulanabilecek olan Mevcut En İyi Tekniklerin (MET) çok ölçütlü karar verme yöntemi (ÇÖKVM) olan TOPSIS modeli ile belirlenmesi amaçlanmıştır. Aşağıda sorulara verilen yanıtlar, değerlendirme kriterlerinin ağırlık puanlarını ve her MET alternatifinin değerlendirme kriterlerine göre ağırlıklarını belirlemek için kullanılacaktır. Bu kapsamda tesislerdeki su, enerji ve kimyasal tüketiminin azaltılması konusunda uzman görüşlerinin işe yansıtılması hedeflenmektedir. Aşağıdaki sorulara verilen yanıtlar, değerlendirme kriterlerinin ağırlık puanlarını ve her MET alternatifinin değerlendirme kriterlerine göre ağırlıklarını belirlemek için kullanılacaktır.

1. Kriter ağırlıklandırma

Tablo A'da sunulan kriterleri önem derecesine göre 1-9 puan arasında puanlayınız.

- 1-2 puan: çok düşük öncelikli
- 3-4 puan: düşük öncelikli
- 5-6 puan: orta seviyede öncelikli
- 7-8 puan: öncelikli
- 9 puan: Yüksek öncelikli

Tablo A. Değerlendirme kriterlerinin ağırlıklandırılması

| No | Kriterler | Puanlar |
|----|----------------------------------|---------|
| 1 | Uygulanabilirlik | |
| 2 | Çevresel fayda | |
| 3 | Ekonomik tasarruf | |
| 4 | İlk yatırım maliyeti | |
| 5 | İşletme ve bakım-onarım maliyeti | |
| 6 | Yan etkileşimler | |
| 7 | Etkili kullanım ömrü | |
| 8 | Uzmanlık gereksinimi | |
| 9 | Kolay işletme ve bakım | |
| 10 | Personel gereksinimi | |
| 11 | Geri ödeme süresi | |

2. Alternatiflerin kriterlere göre ağırlıklandırılması

Aşağıda verilen Tablo B'de her bir değerlendirme kriterini esas alarak ilgili MET'leri (alternatifleri) ağırlıklandırınız. Ağırlıklandırmada, aşağıdaki Tablo C'de sunulan kılavuz tablodan yararlanınız.

Tablo B. Alternatiflerin (MET'lerin) değerlendirme kriterlerine göre ağırlıklandırılması

| Alternatifler (MET'ler) | Değerlendirme Kriterleri | | | | | | | | | | |
|--|--------------------------|----------------------|------------------------|----------------------|----------------------|------------------|----------------------------------|----------------------|-------------------|----------------|------------------|
| | Geri Ödeme Süresi | Personel Gereksinimi | Kolay İşletme ve Bakım | Uzmanlık Gereksinimi | Etkili kullanım ömrü | Yan etkileşimler | İşletme ve bakım-onarım maliyeti | İlk yatırım maliyeti | Ekonomik tasarruf | Çevresel Fayda | Uygulanabilirlik |
| Su yumuşatma öncesindeki kum filtresi geri yıkama sularının yeniden kullanılması | | | | | | | | | | | |
| İyon değiştirme reçine sistemi çıkış suyunda (proses suyu-yumuşatılmış su) eş-zamanlı sertlik izleme sensörleri kullanılması | | | | | | | | | | | |
| Katyonik iyon değiştirme reçine sistemlerinde rejenerasyon süresinin optimize edilmesi | | | | | | | | | | | |
| Manuel işletim uygulanan tesislerde katyonik iyon değiştirme reçine sistemlerinde rejenerasyon sıklığının ham su kalitesine göre optimize edilmesi | | | | | | | | | | | |
| Rejenerasyon sularının yüksek su kalitesi gerektirmeyen alanlarda ve/veya tesis içi temizlik işlemlerinde geri kullanılması | | | | | | | | | | | |
| Katyonik iyon değiştirme reçine sisteminde ön yıkama ve rejenerasyon sonrası yıkama/durulama sularının geri kullanımı | | | | | | | | | | | |
| Rejenerasyon sularının yüksek tuz gereksinimi olan uygun proseslerde geri kullanımı | | | | | | | | | | | |

Tablo C. Ağırlık kılavuz tablosu

| Uygulanabilirlik | Değerlendirme Puanı | Çevresel Fayda^a | Değerlendirme Puanı |
|--|----------------------------|---|----------------------------|
| Uygulanabilir | 6-9 | >20 | 8-9 |
| Kısmen uygulanabilir | 3-6 | 15-20 | 6-7 |
| | | 10-15 | 4-5 |
| Uygulanamaz | 1-3 | 5-10 | 2-3 |
| | | <5 | 1 |
| Ekonomik Tasarruf^b | Değerlendirme Puanı | İlk Yatırım Maliyeti | Değerlendirme Puanı |
| >40 | 8-9 | <1000\$ | 8-9 |
| 30-40 | 6-7 | 1000-3000\$ | 6-7 |
| 20-30 | 4-5 | 3000-5000\$ | 4-5 |
| 10-20 | 2-3 | 5000-10000\$ | 2-3 |
| <10 | 1 | >10000\$ | 1 |
| İşletme, bakım ve onarım maliyeti^c | Değerlendirme Puanı | Yan Etkileşimler^d | Değerlendirme Puanı |
| <1000\$/yıl | 8-9 | Yüksek pozitif etki | 8-9 |
| 1000-3000\$/yıl | 6-7 | Düşük pozitif etki | 6-7 |
| 3000-5000\$/yıl | 4-5 | Düşük negatif etki | 4-5 |
| 5000-10000\$/yıl | 2-3 | Yüksek negatif etki | 2-3 |
| >10000\$/yıl | 1 | Çok yüksek negatif etki | 1 |
| Etkili Kullanım Ömrü^e | Değerlendirme Puanı | Uzmanlık Gereksinimi^f | Değerlendirme Puanı |
| >10 | 8-9 | Uzmanlık gerektirmez | 6-9 |
| 5-10 yıl | 6-7 | Orta seviyede uzmanlık gerektiriyor | 3-6 |
| 3-5 yıl | 4-5 | | |
| 2-3 yıl | 2-3 | | |
| <2 yıl | 1 | Yüksek uzmanlık gerektiriyor | 1-3 |
| Kolay İşletme ve Bakım^g | Değerlendirme Puanı | Personel Gereksinimi^h | Değerlendirme Puanı |
| Kolay işletme ve bakım | 6-9 | Personel gerektirmez | 8-9 |
| Orta seviyede işletme ve bakım | 3-6 | Az sayıda personel gerektirir (1 ek personel) | 6-7 |
| | | Orta seviyede personel gerektirir (2-3 ek personel) | 4-5 |
| Zor işletim ve bakım gereksinimi | 1-3 | Yüksek sayıda personel gerektirir (4-10 ek personel) | 2-3 |
| | | Çok yüksek sayıda personel gerektirir (>10 ek personel) | 1 |
| Geri Ödeme Süresiⁱ | Değerlendirme Puanı | | |
| <1 | 8-9 | | |
| 1-3 | 6-7 | | |
| 3-5 | 4-5 | | |
| 5-10 | 2-3 | | |
| >10 | 1 | | |

^aÇevresel fayda; rejenerasyon atıksuyunda ve atıksuların tuz yükündeki azalmayı ifade etmektedir. ^bEkonomik tasarruf; su, kimyasal, enerji ve atık bertaraf maliyetlerindeki azalmaların toplamını ifade etmektedir. ^cİşletme, bakım ve onarım maliyeti; personel, su, enerji, kimyasal, bakım-onarım (yedek parça, reçine değişimi vb.), atık bertaraf birim maliyetlerinin toplamını ifade etmektedir. ^dYan etkileşimler; bir alternatifin uygulanmasının neden olduğu pozitif ya da negatif etkileri ifade etmektedir. (örneğin; enerji tüketiminde artış-negatif etki, tuz tüketimindeki azalmaya bağlı olarak atık bertaraf maliyetlerinde azalma-pozitif etki) ^eEtkili kullanım ömrü; uygulanacak sistem ya da teknolojinin istenilen faydayı sağlayabildiği maksimum süreyi ifade etmektedir. ^fUzmanlık gereksinimi; uygulanacak tekniği veya sistemi işletmek üzere kalifiye personel gereksinimini ifade etmektedir. ^gKolay işletme, bakım ve onarım; Tekniğin uygulanmasından sonra işletiminin kolaylığını, bakım ve onarımın ek insan gücüne ihtiyaç duyulmadan rahat bir şekilde yapılmasını ifade etmektedir. ^hPersonel gereksinimi; Tekniğin uygulanması için ihtiyaç duyulan personel sayısını ifade etmektedir. ⁱGeri ödeme süresi; ilk yatırım için harcanan toplam sermayenin ne kadar sürede geri alınabileceğini ifade etmektedir.

Bir Deniz Akvaryumu Su Alım Ünitesi Civarında Gözlemlenen Bazı Sucul Canlılar

Kemal GÖKOĞLU¹, Mete KUŞAT^{*1}

¹Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi, 32200, Isparta, Türkiye

(Alınış / Received: 04.10.2021, Kabul / Accepted: 16.12.2021, Online Yayınlanma / Published Online: 20.04.2022)

Anahtar Kelimeler

Trionychidae,
Cheloniidae,
Poliket,
Porifera,
Antalya körfezi

Özet: Bu çalışma, Antalya Körfezi'nin Konyaaltı'nda kurulmuş olan bir deniz akvaryumunun su alım ünitesinde 2018-2019 yılları arasında yapılmıştır. Tesis 2012 yılında inşa edilmiştir. Kıyıya dik bir şekilde yerleştirilmiş, deniz içerisinde 300 m kadar açığa, yaklaşık 23 m derinliğe kadar uzanan bu ünite, sucul canlılara yaşam alanı oluşturmaktadır. Bu çalışmada, yıpratıcı olmayan sualtında gözlem ve fotoğraf çekimi ile türler belirlenerek o bölgede var olan canlılar, öldürülmeden tanımlanması sağlanmıştır. Gözlemler süresince, Trionychidae familyasından bir tatlı su kaplumbağası olan ve denizde de yaşamını sürdürebilen Nil kaplumbağası (*Trionyx triunguis*), deniz kaplumbağalarından Adi deniz kaplumbağası (*Caretta caretta*) ve Yeşil deniz kaplumbağası (*Chelonia mydas*) tespit edilmiştir. Bu çalışmada deniz halkalı solucanlarından deniz çiyanı (*Hermodice carunculata*) ve kalkerli tüp Kurdu (*Serpula vermicularis*), hydroid (*Pennaria disticha*); süngerlerden *Spirastrella cunctatrix*, *Crambe crambe* ve *Sarcotragus spinosula* belirlenmiştir. Kafadan bacaklılar sınıfından ahtapot (*Octopus vulgaris*), kalamar (*Loligo vulgaris*), mürekkep balığının (*Sepia officinalis*) su alım ünitesini yaşam alanı olarak kullandığı görülmüştür.

Some Aquatic Creatures is Observed Around A Marine Aquarium Water Intake Unit

Keywords

Trionychidae,
Cheloniidae,
Poliket,
Porifera,
Gulf of Antalya

Abstract: This study was carried out in the water intake unit of a marine aquarium established in Konyaaltı, Antalya Bay, between 2018-2019. The facility was built in 2012. Located perpendicular to the shore, extending up to 300 m in the sea and up to a depth of 23 m, this unit acts as an artificial reef in the sea. In this study, species were determined by non-abrasive underwater observation and photographing, and the living creatures in that area were identified without being killed. During the observations, Nile Soft-shelled Turtle (*Trionyx triunguis*), which is a freshwater turtle and can survive in the sea, Loggerhead Seaturtle (*Caretta caretta*) and Green Seaturtle (*Chelonia mydas*) from sea turtles were observed. In this study, it is one of the marine ringed worms, known as bearded Fire worm (*Hermodice carunculata*) and calcareous tubeworm (*Serpula vermicularis*); Orange vented sponge (*Spirastrella cunctatrix*), Oyster sponge (*Crambe crambe*), *Sarcotragus spinosula* and feather hydroid (*Pennaria disticha*) were observed. It was observed that common octopus (*Octopus vulgaris*), European squid (*Loligo vulgaris*), common cuttlefish (*Sepia officinalis*) from the cephalopod used the water intake unit as an artificial reef. It has been observed that octopus (*Octopus vulgaris*), squid (*Loligo vulgaris*), squid (*Sepia officinalis*) from the cephalopod class use the water intake unit as their habitat.

1. Giriş

Denizel canlıları bir araya toplamak, popülasyonlarını arttırmak, yenilemek veya korumak için deniz tabanına yerleştirilen insan yapımı her türlü yapı "yapay resif" olarak adlandırılır [1]. Geniş bir anlamı olan bu tanım, deniz içindeki iskeleleri, mendirekleri, boru sistemlerini ve batıkları da kapsamaktadır.

Japonya günümüzde istiridye, ahtapot, kalamar, alg, denizkestanesi, demersal ve pelajik balık türleri gibi

birçok denizel canlıyı hedefleyen özel tasarımlı 100'den fazla farklı yapay resife sahiptir. Japonların yapay resiflerden bu olumlu sonuçları alması diğer bazı uzak doğu ülkelerini de yapay resif çalışmalarına teşvik etmiştir. Çin, Kore ve Japonya 1970'lerden bu yana yapay resifler için 3 milyar doların üzerinde yatırım yapmışlardır [2].

Yapay resifler sadece balıkçılığı destekleme amaçlı yapılmamaktadır. Bu amaçla yapılan yapay resifler, kıyı erozyonunu önlemenin yanı sıra sörf ve dalış

*İlgili yazar: metekusat@gmail.com

sporu, balık yavrularının barınması ve beslenmesi, sportif balıkçılığı desteklemeye de hizmet etmektedir. Yapay resif, ülkemiz için yeni bir konu olup bu konuda sınırlı sayıda çalışma yapılmıştır [3, 4]. Yine bu konuda ilk yasal düzenleme 1999 yılında yapılmış ve bununla ilgili bir kılavuz yayınlanmıştır. Yapay resif çalışmalarıyla ilgili her türlü düzenleme ve sorumluluk Tarım ve Orman Bakanlığı, Balıkçılık ve Su Ürünleri Genel Müdürlüğü'ne verilmiştir [5].

Antalya'da bir deniz akvaryumuna deniz suyu almak için kurulan bu ünitenin çevresinde, denizel canlıların geçen süre içerisinde ki gelişimi, bölgede doğal resif bulunmaması nedeniyle önem arz etmektedir. Bu bölgeyi yaşam alanı olarak seçen kaplumbağa, sünger, kafadan bacaklılar, deniz solucanlarının belirlenmesi çalışmanın amacını oluşturmaktadır.

2. Materyal ve Metot

Araştırma alanı, 2012 yılında Antalya Körfezi'nin Konyaaltı'nda tesis edilen bir deniz akvaryumunun deniz içerisindeki su alım ünitesi oluşturmaktadır. Çalışma 2018-2019 tarihleri arasında yapılmıştır. Denizde, kıyıya dik bir şekilde yerleştirilen bu ünite deniz içerisine 300 m kadar uzanmaktadır. Yaklaşık 23 m derinliğe kadar uzanan bu ünite deniz içerisinde bir yapay resif görevini üstlenmektedir (Şekil 1).



Şekil 1. Beton ağırlık ve YYPE boru üzerine tutunmuş ve etrafında denizel canlılar

Su alım ünitesi 0,5 m çapında, yüksek yoğunluklu polietilen boru (YYPE) ve bu borunun üzerine semer şeklinde oturtulan 100 adet beton ağırlıktan oluşmaktadır. Su alım ünitesi ayrıca 1,5m x 1,5m x 1,5 m boyutlarında biri su ünitesinin tam ortası, diğeri de sonunda olmak üzere küp şeklinde iki büyük beton tonozla zemine sabitlenmiştir.

Su alım ünitesinin yerleştirildiği Antalya Körfezi Konyaaltı bölgesinde doğal bir resif bulunmamaktadır. Su alım ünitesinin yerleştirildiği yerin dip yapısı çakıllı, kumlu-çakıllı bir özellik göstermektedir. Bu çalışmada kaplumbağa, poliketler, süngerler ve kafadan bacaklılar hedeflenmiş bu

gruplara ait türler tespit edilmeye çalışılmıştır. Araştırmada, tahrip edici/yıkıcı olmayan örnekleme yöntemi tercih edilmiştir [6]. Bu tercih yönteminde o bölgede var olan canlılar, öldürülmeden sualtı gözlem, çekim ve fotoğraf tekniği kullanılarak tanımlanmıştır.

Tercih edilen bu yöntemde SCUBA dalışları yapılmış ve sualtı fotoğraf çekim tekniğinden yararlanılarak türlerin belirlenmesi gerçekleştirilmiştir [6]. Sualtı çalışmaları borunun tümü taranacak şekilde planlanmıştır. Ancak deniz şartları, suda görüş mesafesi, kısıtlı dip zamanı ve hava miktarı fotoğraf çekim tekniğini sınırlayıcı faktörler olarak ortaya çıkmaktadır [1]. Bu olumsuzlukların yaşanmaması için dalışlarımızda genellikle denizin sakin olduğu sabah saatlerinde gerçekleştirilmiştir. Dalışlar devamlı aynı kişiler tarafından günün aynı saatlerinde (9:00-11:00) yapılmıştır. Araştırmamızda fotoğraf ve video çekimlerinde, Canon Powershot G-12 fotoğraf makinesi ve housing'inden yararlanılmıştır. Ayrıca gece dalışları ve fotoğraf çekimlerimiz için sualtı fenerleri kullanılmıştır.

Türlerin tespitinde ve isimlendirilmesinde değişik kaynaklardan yararlanılmıştır [7-11].

3. Bulgular

Araştırmamızda deniz kaplumbağaları, deniz halkalı solucanları, süngerler ve kafadan bacaklı türlerin su alım ünitesinde gözlenen ve fotoğrafları çekilen türler aşağıda açıklanmıştır.

3.1. Su iletim ünitesinde tespit edilen kaplumbağa türleri

Su iletim ünitesinde yaptığımız bu araştırma sırasında yaz aylarına rastlayan dalışlarımızda çok ender olarak rastlanan Nil kaplumbağası (*Trionyx triunguis* Forsskal, 1775) iki kez (Şekil 2) ve birer kez de Adi deniz kaplumbağası (*Caretta caretta* (L., 1758)) ve Yeşil kaplumbağa (*Chelonia mydas* (L., 1758)) görülmüştür (Şekil 3).



Şekil 2. Su iletim ünitesine dalışlarımızda ürkümüş Nil kaplumbağası (*Trionyx triunguis*)



Şekil 3. Su alım ünitesinde uyur durumda Yeşil deniz kaplumbağası (*Chelonia mydas*)

3.2. Su iletim ünitesinde tespit edilen deniz kurtları ve sünger türleri

Bu araştırmada poliketlerden Deniz çıyanı olarak bilinen, *Hermodice carunculata* (Pallas, 1766) (Şekil 4) ve Tüplü kurt (*Serpula vermicularis*, L., 1758), (Şekil 5), hydroid (*Pennaria disticha*, Goldfuss, 1820) (Şekil 6) belirlenmiştir.



Şekil 4. Boru üzerinde Deniz çıyanı, (*Hermodice carunculata*)



Şekil 5. Boru üzerinde poliket ailesinden Tüplü kurt *Serpula vermicularis*



Şekil 6. Beton ağırlık üzerinde Hydroid, *Pennaria disticha*

Süngerlerden (Porifera) *Spirastrella cunctatrix*, Schmidt, 1868 (Şekil 7), İstiridyeye süngeri (*Crambe crambe* (Schmidt, 1862) (Şekil 8) ve Siyah sünger (*Sarcotragus spinosula* Schmidt, 1862) tespit edilmiştir (Şekil 9). Süngerlerin biçimleri vazo, boru, ağaç dalı şeklinde olabilir, bu şekilleri içinde bulunduğu çevre koşullarına göre değişir. Gözlemlediğimiz süngerler orta büyüklükte, değişik şekillerdedir.



Şekil 7. Beton ağırlık üzerinde bir tür Sünger *Spirastrella cunctatrix*



Şekil 8. Boru üzerine yerleşmiş bir sünger türü *Crambe crambe*



Şekil 9. Boru ve beton ağırlık arasında yerleşmiş olan Siyah sünger (*Sarcotragus spinosula*)

3.3. Su iletim ünitesinde tespit edilen Cephalopod türleri

Araştırmalarımız sırasında beton ağırlıklar arası, boru ve tonoz altında çok sayıda ahtapot, *Octopus vulgaris* (Cuvier, 1797) yuvası tespit edilmiştir (Şekil 10).



Şekil 10. Boru altında ahtapot (*Octopus vulgaris*) yuvası

2018 yılı kış ve bahar aylarına rastlayan dalışlarımızda kalamar (*Loligo vulgaris* Lamarck, 1798) ve sisteme bağlı bulunan ipler üzerinde yumurtaları görülmüştür (Şekil 11, 12).



Şekil 11. Su alım ünitesi çevresinde kalamar



Şekil 12. Su iletim sistemine bağlı bir ip üzerinde kalamar yumurtaları

Su iletim sisteminin kurulumu sırasında, inşaatı yapanlar ağırlık yapması amacıyla sistemin üzerine kum çuvalarını yerleştirmişlerdir. Ocak-Şubat aylarındaki dalışlarımızda bu çuvaların olduğu kumlu bölgede mürekkep balıkları *Sepia officinalis* (Linnaeus, 1758) tespit edilmiştir. Dalışımız esnasında bu canlının bir bireyi, kendini kuma gömerek gizlenmeye çalışırken tespit edilmiştir (Şekil 13).



Şekil 13. Su alım ünitesi yakınında kendini kuma gömerek gizlemeye çalışan Mürekkep Balığı (*S. officinalis*)

4. Tartışma ve Sonuç

Araştırma alanı olan deniz akvaryumu su alım ünitesi 2012 yılında kurulmuş, bölgedeki sucul canlılar için bir yaşam ortamı oluşturduğu görülmüştür. Bu ortamda bulunan 3 tür deniz kaplumbağası, poliketlerden 2 tür, hydroidlerden 1 tür, 3 tür sünger, 3 tür cephalopod belirlenmiştir. Su alım ünitesi altı yıldır bölgesinde oluşturduğu etkiyle değişik sucul canlılara yapay resif ortamı sunmaktadır. Bu tesis bu bölgede bulunduğu sürece daha doğrusu yaşı arttıkça tür bolluğu ve birey sayısı açısından nasıl bir değişim göstereceğini zaman gösterecektir.

Denizel ekosistemde bazı canlılar gececedir (noktürnal) ve gece ortaya çıkarlar. Genellikle gündüzleri bu canlılar gizlenerek kendilerini saklama davranışı gösterirler. Su alım ünitesindeki bu

noktürnal canlıların tespiti için araştırmamızda gece dalışı da yapılmıştır. Yapay resiflerde türlerin belirlenmesi ve sayılması çalışmalarında birçok tekniğin kullanıldığı bildirilmektedir [1, 12, 13]. Bu teknikler içerisinde yaygın olarak kullanılan metot görsel sayım tekniğidir. Diğer metotlarda ya ekolojik olarak doğaya zarar verilmekte (öldürerek örnekleme) veya sağlıklı sonuçlar alınamamaktadır [6].

Çalışılan alanda su alım ünitesine ulaşım kolaydır. Derinlik 0-23 m arasında değişmekte, denizin sakin ve suda görüşün iyi olduğu dönemlerde dalışları yapmamız, sistemin doğrusal bir hat üzerinde olması, yedek hava kaynağı taşımamız, dalış eğitimlerimizi burada yapmamız ve daha önceden buradaki biyolojik çeşitliliği kısmen tanımamız bize çok büyük kolaylıklar sağlamış ve sağlıklı verilerin alınmasına yardımcı olmuştur.

Yaptığımız bu araştırma sırasında su alım sistemi üzerinde, iribaş kaplumbağa *C. caretta* ve yeşil kaplumbağa olarak bilinen *C. mydas* ile birer kez karşılaşmıştır. Bu türlerin yanı sıra su alım ünitesinde iki kez de Nil Kaplumbağası (*T. triunguis*) görülmüştür.

Dünyada bilinen 8 deniz kaplumbağası türü vardır. Bu türler içerisinde *C. caretta* ile *C. mydas* kıyılarımızda yaşamını sürdürmekte ve kıyı kumullarımıza yumurta bırakmaktadır. Antalya Körfezi'ndeki Çıralı, Lara, Belek, Boğazkent ve Manavgat'ta bulunan kumullar bu türlerin önemli yumurtlama alanlarını oluşturmaktadır [14]. Tatlısu kaplumbağası olan ve denizde de yaşamını sürdürebilen, Nil Kaplumbağası popülasyonu bölgede hemen hemen yok olma aşamasındadır. Ayaklarında üç adet keskin tırnakları olan bu tür, adını da bu üç tırnaktan almıştır. Eskiden Belek Acısu, Köprüçayı Irmağı, Aktaşlar Deresi, Manavgat Irmağı, Aksu ve Beşgöz derelerinin ağız kısımlarına girip çıktığı ve bu bölgelerde beslendiği bilinmektedir. Ancak günümüzde türün bölgemizdeki popülasyonu yok olma aşamasına kadar gelmiştir. Türün varlığının bu araştırma ile tekrar Antalya Konyaaltı'ndan bildirilmesi oldukça önemlidir. Çok bulunduğu dönemlerde iyi bilindiği için halk bu türü Sini Kaplumbağa, Teknebağa ve Sivri Burun olarak adlandırmıştır [14].

Su alım ünitesinde bu kaplumbağaların görülme nedeninin yem olabilecek canlıların resif çevresinde varlığından kaynaklandığını ve beslenmek amacıyla bu canlıların bölgede bulduklarını düşünmekteyiz. Su alım ünitesini yaşam alanı olarak kullanan poliketlerden, Deniz Lalesi olarak bilinen *S. vermicularis*, Deniz Çıyanı *H. carunculata*, bir hydroid olan *P. disticha*, Poriferalardan *S. cunctatrix*, *C. crambe* ve sünger *S. spinosula* tespit edilmiştir. Akdeniz ekosisteminde bu organizmalar genellikle sert substratlar üzerinde yaygın olarak bulunan türlerdir [15, 16]. Bu türler yapay resifler inşa edildikten sonra

resiflere ilk yerleşen sesil organizmalar arasında yer alırlar [13].

Araştırmalarımız sırasında beton ağırlıklar arası, boru ve tonoz altında çok sayıda ahtapot (*O. vulgaris*) yuvası tespit edilmiştir. Ahtapotların genellikle iki beton ağırlık arasına yuva yaptığı görülmüştür. Ahtapotların yuva tercihinde en önemli kriterlerin ortamdaki yiyecek bolluğu ve korunma içgüdüsüne bağlı saldırgan düşman baskısı olduğu belirtilmektedir [17].

Ahtapot yuvaları kısmen iri çakıl taşlarıyla çevrilmiş ve yuvanın çevresinde ahtapotun besin olarak tükettiği midye, istiridye ve salyangoz kabukları yer almaktadır. Ahtapotların yuva girişlerini çeşitli taşlar ve kabuklu artıklar ile daralttıkları bilinmektedir. Ahtapot için yuva içi hacminin daha etkili olduğu belirtilmiştir. Araştırmalarda çok küçük girişe sahip yuvalarda büyük ahtapotların bulunduğu görülmüştür. Bu durum ahtapotun yuvaya girdikten sonra yuva girişini daraltması ve kapatması olarak açıklanabilmektedir. Yuva giriş genişliği ile yuvanın bulunduğu su derinliği arasında doğrusal bir ilişki olduğu, su derinliği arttıkça yuva giriş genişliğinin arttığı tespit edilmiştir. Daha derin suları tercih eden büyük ahtapotların yuva girişlerini çok daraltmadıkları belirlenmiştir [17].

Dalışlarımız sırasında suda görüşün bozuk olduğu dönemlerde bazen bu yuvalarda ahtapotların bulunmadığı tespit edilmiştir. Bu durumun, bulanıklık nedeniyle ahtapotun aktif olduğu ve geçici olarak besin bulmak için yuvasını terk ettiğinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Kış ve bahar aylarında dalışlarımızda da sisteme bağlı bulunan ipler üzerinde kalamar (*L. vulgaris*) yumurtaları tespit edilmiştir. Dalışlarımızda zaman zaman boru altındaki kum zemine mürekkep balığı (*S. officinalis*) kendini gömerek gizlemeye çalıştığı saptanmıştır.

Bilindiği üzere ahtapotlar yuva olarak kullandığı kovukların duvar ve tavanlarına yumurtalarını bırakırken, kalamarlar daha çok dipten yükselen ip, yosun, sünger, ağaç dalları alg ve bitkilere yumurta paketlerini bırakmaktadır [18]. Türkiye sularında 3 kalamar türü yaşamaktadır. Bunlar; *L. vulgaris*, *Todarodes sagittatus*, *Illex coindetti*' dir. Kalamar, yumurtalarını bir kapsül içinde mağara tavanları veya yüzen yapılaraya yapıştırma davranışı sergilemektedir. Denizde çeşitli amaçlar için kullanılan şamandıra ve iplere bırakılan kalamar yumurtaları deniz ortamında bu alanların eksikliğini göstermektedir. Kalamar, aktif avcı olarak beslenen canlıdır. Genç kalamar esas olarak kabuklular (crustase) ile beslenirken erginler özellikle balık ve diğer kafadanbacaklılar ile beslenirler [19].

Mürekkap balıkları ise yumurtalarını zeminde bulunan benzer objelere yapıştırılmaktadır [18]. Bu organizmaların resif çevresinde bulunmalarının beslenme ve yumurta bırakma amaçlı olduğunu düşünmekteyiz.

Sonuç olarak, Konyaaltı Plajı'nda deniz akvaryumu su alım ünitesi üzeri ve çevresinde 6 yıl gibi bir süre içerisinde zengin bir biyolojik çeşitliliğin olduğu çalışmada tespit edilmiştir. Su alım ünitesini yaşam alanı olarak seçen çok sayıda canlının olması, o bölgede zayıf balıkçılık alanlarının yapay resif çalışmalarıyla zenginleştirilebileceğini göstermektedir.

Ülkemizde yapay resiflerle ilgili yapılan bilimsel çalışmaların tamamı, resiflere yerleşen balık türleriyle ilgilidir. Bu çalışmada olduğu gibi yapay resiflerde makro düzeydeki hayvansal orjinli organizmaların tespitine dönük bir çalışma bulunmamaktadır. Bu nedenle araştırmamızın, balıkçılık açısından ülkemizin diğer denizel alanları ve Antalya Körfezi'nde planlanacak yapay resif çalışmalarına pozitif bir katkı sağlayacağını düşünmekteyiz.

Teşekkür

Bu çalışma yüksek lisans tezinden türetilmiştir.

Etik Beyanı/

Bu çalışmada, "Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi" kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin "Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler" başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederiz.

Kaynakça

- [1] Özgül, A. 2016. Akustik Konumlandırma Sistemlerinin Yapay Resif Alanlarında Kullanımı. Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 33(4), 405-411.
- [2] FRDC (Fisheries Research & Development Cooperation). 2017. Artificial Reefs in Australia: A Guide to Developing Aquatic Habitat Enhancement Structures, Northside Drive : Hillarys.
- [3] Lök, A., Gül, B. 2005. Evolution of Fish Fauna Associated with Experimental Artificial Reefs in Hekim Island in İzmir Bay (Aegean Sea, Turkey), E. Ü. Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 22(1-2), 109-114.
- [4] Lök, A. 2014. Yapay Resiflerle Ne Yapılabilir? Ne Yapılamaz?, Ege Denizi Balıkçılığı ve Balıkçılarımız Çalıştayı, 13-14 Mayıs, Foça, İzmir, 140 s. Ege Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi.
- [5] Aydın, M., Altaş, S. 2015. Ordu Bölgesi'nde Yapay Habitat Alanlarının Belirlenmesi ve Ön Deneme

- Çalışmaları, Turkish Journal of Maritime and Marine Sciences, 1(2), 124-134.
- [6] Ulaş, A., Düzbastılar, F. O., Lök, A., Metin, C. 2007. Yapay Resiflerde Balık Örneklem Yöntemlerinin Etkinliğinin Belirlenmesi Üzerine Bir Ön Çalışma, E.Ü. Su Ürünleri Dergisi, 24(3-4), 287-293.
- [7] Mısırlıoğlu, M., Toper, R. 2020. Deniz Kaplumbağası (*Caretta caretta*, *Chelonia mydas*) İzleme ve Koruma Çalışmaları: Gökusu Deltası Örneği, Doğanın Sesi, 3(6), 28-43.
- [8] Anonim, 2021. Poliketler, <http://www.marinespecies.org/polychaeta>. [Erişim Tarihi: 22.09.2021]
- [9] Rützler, K. 2002. Family Spirastrellidae Ridley & Dendy, 1886. in Systema Porifera: A Guide to the Classification of Sponges, ss 220-223. Hooper, J. N.A., van Soest, R.W.M., ed. 2002. New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers.
- [10] Anonim, 2021. Octopus vulgaris, https://animaldiversity.org/accounts/Octopus_vulgaris/. (Erişim Tarihi: 22.9.2021)
- [11] Hanlon, R. T., Smale, M. J., Sauer, W. H. H. 1994. An Ethogram of Body Patterning Behavior in the Squid *Loligo vulgaris reynaudii* on Spawning Grounds in South Africa, Biol. Bull., 187(3), 363-372.
- [12] Bortone, S. A., Kimmel, J. J., Bundrick, C. M. 1989. A Comparison of Three Methods for Visually Assessing Reef Fish Communities: Time and Area Compensated, Northeast Gulf Science, 10(2), 85-96.
- [13] Fabi, G., Scarcella, G., Spagnolo, A. Bortone, S. A., Charbonnel, E., Goutayer, J. J., Haddad, N., Lök, A., Trommelen, M. 2015. Practical Guide Lines for the Use of Artificial Reefs in the Mediterranean and the Black Sea, No. 96, Studies and Reviews, General Fisheries Commission for the Mediterranean, 85s., Rome.
- [14] Kaska, Y., Sözbilen, D., Sarı, F. 2008. Köyceğiz-Dalyan Özel Çevre Koruma Bölgesi, Dalyan (İztuzu) Kumsal Alanında 2008 Yılı için Deniz Kaplumbağaları (*Caretta caretta*, *Chelonia mydas*) ve Nil Kaplumbağası (*Trionyx triunguis*) Popülasyonlarının Korunması ve İzlenmesi Projesi, T.C. Orman ve Çevre Bakanlığı, Özel Çevre Koruma Kurumu Başkanlığı, 52s., Ankara.
- [15] Terlizzi, A., Anderson, M. J., Frascchetti, S., Cecchi, L. B. 2007. Scales of Spatial Variation in Mediterranean Subtidal Sessile Assemblages at Different Depths, Marine Ecology Progress Series, 332(5), 25-39.
- [16] Evcen, A., Çınar, M. E. 2017. Sponge Species Associated with *Posidonia Oceanica* Meadows along the Coast of the Aegean Sea (Turkey), 10th. World Sponge Conference, 25-30 June, Galway Ireland, 210-213.

- [17] Ulaş, A. 2001. Doğal Ortamlardaki Ahtapot (*Octopus vulgaris* Cuvier, 1797) Yuvalarının Özellikleri Üzerine Bir Araştırma, E.Ü. Su Ürünleri Dergisi, 18(3-4), 474-482.
- [18] Vidal, E. G., Villanueva, R., Andrade, J. P., Gleadall, I. G., Iglesias-Estevez, J., Koueta, N., Rosas, C., Segawa, S., Grasse, B., Franco-Santos, R. M., Albertin, C., Caamal-Monsreal, C., Edsinger-Gonzales, E., Gallardo, P., Le Pabic, C., Pascual, C., Roubledakis, K., Wood, J. 2014. Cephalopod Culture: Current Status of Main Biological Models and Research Priorities, *Advances in Marine Biology*, 67, 1-98.
- [19] Ulaş, A., Lök, A., Metin, C., Düzbastılar, O., Özgül, A., Şen, H. 2013. Kalamar (*Loligo vulgaris* Lamarck, 1798) Türüne Yönelik Yapay Yumurtlama Alanlarının Oluşturulması ve Aquakültür Denemeleri. Yükseköğretim Kurumları Destekli Proje (2010-2013), Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma, İzmir.

Katı Atık Depo Alanlarında Bulunan Atıklardan Biyogaz Enerjisi Üretme Potansiyelinin Değerlendirilmesi; Van İli Örneği

Dilara ÖZTÜRK¹ , Ayşe ÖZGÜVEN^{*1} 

¹Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 65080, Van, Türkiye

(Alınış / Received: 09.10.2021, Kabul / Accepted: 07.03.2022, Online Yayınlanma / Published Online: 20.04.2022)

Anahtar Kelimeler

Depo gazı,
Enerji üretimi,
Evsel katı atık,
Van

Özet: Bu çalışmanın amacı kentsel katı atık (KKA) bertaraf yöntemleri ve yenilenebilir enerji üretimi için Van ili KKA depolama alanında bulunan atıklardan enerjiye (WTE) dönüşüm teknolojilerinin durumunu yerinde incelemektir. Ayrıca oluşan depo gazını etkileyen parametreleri ortaya koymak amacıyla katı atık karakterizasyonu da yapılmıştır. Atığın %34.34 'ünün organik, %42.41'inin ise sabit madde içerdiği tespit edilmiştir. Ayrıca atığın C/N oranının %31.67 olduğu ve biyogaz üretimi için yeterli olduğu tespit edilmiştir. Depo gazı analiz sonuçlarına göre depo gazının yaklaşık %50-60'ı Metan (CH₄)' dan oluşmakta ve elde edilen enerji miktarı Ağustos ve Eylül aylarında yaklaşık 3000 kWh civarında iken Kasım ile başlayıp Haziran ayına kadar devam eden soğuk geçen aylarda ise enerji üretim miktarı 2000-3000 kWh aralığına düşmüştür. Depolama alanında biriken CH₄ gazını elektrik enerjisine dönüştürmek için Van Büyükşehir Belediyesi tarafından kurulan elektrik enerjisi üretim tesisi 2019 yılı başında faaliyete girmiştir ve yaklaşık 5000 hanenin enerji talebini karşılamaktadır. Elektrik üretim tesisinde saatte ortalama 2000 kWh elektrik üretimi yapılmakta ve ortalama 1150 m³ CH₄ gazı tesise çekilmektedir. Sıfır atık sistemine tam adaptasyon ile tesisin enerji üretim verimliliğine etki edecek parametrelerden biri olan atık kompozisyonunun biyolojik aktiviteyi sınırlayacak atıklardan arınmış ve CH₄ eldesini artıracak bir yapıda olacağı kanatındeyiz.

Evaluation of The Potential of Producing Biogas Energy From Wastes in Landfills; Van Province Example

Keywords

Landfill gas
Energy production,
Municipal solid waste,
Van,

Abstract: The aim of this study is to examine on-site the state of waste-to-energy (WTE) conversion technologies for municipal solid waste (MSW) disposal methods and renewable energy production in the MSW landfill of Van province. In addition, solid waste characterization was also carried out in order to reveal the parameters affecting the landfill gas formed. It has been determined that 34.34% of the waste contains organic and 42.41% of it contains fixed substances. In addition, it has been determined that the C/N ratio of the solid waste is 31.67% and it is sufficient for biogas production. According to the results of the landfill gas analysis, approximately 50-60% of the landfill gas consists of Methane (CH₄), while the amount of energy obtained was about 3000 kWh in August and September, the amount of energy production decreased to the range of 2000-3000 kWh in the colder months starting from November and continuing until June. To convert the methane gas accumulated in the landfill into electrical energy, the electrical power generation facility, established by the Van Metropolitan Municipality, was put into operation at the beginning of 2019 and meets the energy demand of approximately 5000 households. An average of 2000 kWh electricity is produced per hour at the electricity generation facility and 1150 m³ of methane gas is drawn into the facility. With full adaptation to the zero waste system, we believe that the waste composition, which is one of the parameters that will affect the energy production efficiency of the facility, will be free from wastes that will limit biological activity and in a structure that will increase the production of CH₄.

1. Giriş

KKA üretimi, nüfus artışına paralel olarak kentleşme ve ekonomik gelişme ile birlikte tüketim alışkanlıklarının değişiminin bir sonucu olarak çarpıcı bir şekilde arttığından dolayı önemli çevresel sorunlara neden olmakta ve dolayısıyla KKA yönetimi, dünya çapında büyük bir zorluk haline gelmektedir [1-2]. KKA üretiminin dünya çapında 2025 yılına kadar 2.2 milyar tona ve 2050 yılına kadar ise 4.2 milyara kadar ulaşması beklenmektedir ve KKA yönetimi gelişmekte olan ülkelerdeki belediye yetkilileri için zor bir görevdir [3]. Bunun nedeni, katı atık miktarı ve çeşitliliğindeki artış, oluşan atığın bertarafı için teknolojilerin ve belediye katı atık yönetmeliklerinin yetersiz olmasıdır [4].

Vahşi depolama, katı atıkların gelişi güzel depolandığı, su, toprak ve hava kirliliği gibi pek çok çevresel problemlere neden olan bir yöntemdir [5]. Düzenli depolama ise katı atıkların bertarafı için nispeten basit ve ucuz bir tekniktir. Katı atıkların düzenli depolama alanlarındaki yetersiz yönetimi, katı atıklardan toksik bileşenlerin sızıntı suları birlikte çevresel ortamlara karışmasına (toprak, su ve atmosferin kirlenmesi) ve insan sağlığının olumsuz etkilenmesine neden olmaktadır. Yapılan birkaç çalışmada düzenli depolama alanı civarında yaşayan toplumlarda önemli doğum kusurları ve kanser gibi hastalık risklerinin olduğu belirtilmiştir [6-8]. KKA' lar genel olarak termal dönüştürme, biyolojik arıtma ve depolama gibi üç farklı yöntemle bertaraf edilebilir. KKA' ların termal dönüşümü, KKA hacmini azaltmak ve biyoyakıt oluşturmak için ısı enerjisini kullanmak temeline dayanır. KKA' ların biyolojik olarak bertarafında ortak biyolojik prosedürler kullanılmaktadır ve bu da yalnızca biyolojik olarak parçalanabilen organik materyallerin üzerinde yoğunlaşıldığı anlamına gelmektedir. Katı atıkların düzenli depolanması, endüstrileşmiş ülkelerde ve dünyada en iyi bilinen, uygun maliyetli metotlardan biridir. Günümüzde, düzenli depolama alanlarının, uygun şekilde çalıştırılmaları koşuluyla, doğal olarak tatmin edici bir atık bertaraf yöntemi olması amaçlanabilir. Türkiye'de biyokütle, hidrolik, rüzgâr, güneş, jeotermal gibi yenilenebilir enerji kaynakları için yüksek potansiyele sahip olan enerji kaynaklarının mevcut kullanım oranı çok düşüktür. Bu yenilenebilir enerjiler, fosil yakıt tüketiminin azalmasına neden olabilir.

KKA' lar tarafından sağlanan enerji, özellikle yerel enerji ihtiyaçlarının karşılanmasında büyük bir potansiyele sahiptir. Enerji üretmek için evsel katı atıkların yakılması, çöp sahasına daha az atık gömülmesi anlamına gelir. Ancak bu durum kimyasalların ve malzemelerin havaya salınarak havanın kirlenmesine neden olacaktır. Günümüzde katı atıkların bertarafında enerji potansiyellerinin değerlendirilmesi için farklı teknolojiler geliştirilmekte ve mevcut teknolojilerin iyileştirilmesi için çalışmalar yapılmaktadır. Düzenli depolama

alanları yalnızca atık deposu olarak değil, aynı zamanda önemli yenilenebilir enerji kaynakları olarak da hizmet vermektedir. Düzenli depolama alanları, CH₄ emisyonlarının ana kaynağıdır ve hedeflenen atık yönetimi stratejilerinin, politikalarının ve düzenlemelerinin uygulanması, çöp sahalarından kaynaklanan CH₄ emisyonlarının azaltılmasına veya enerji uygulamaları için CH₄'ün yakalanmasına ve kullanılmasına yardımcı olabilir [9]. Dünya çapındaki düzenli depolama alanları, toplam antropojenik CH₄ emisyonlarının %10'unun daha fazlasından sorumludur [10]. Ayrıca, üretilen biyogazın kullanılmasıyla birlikte düzenli depolama, özellikle gelişmekte olan ülkelerde atık yönetiminin önemli bir parçası haline gelmiştir [11-12]. Teknolojinin ilerlemesine bağlı olarak enerji ihtiyacının artması, sınırlı fosil yakıtlar ve enerji ihtiyacında ülkelerin dışa bağımlılığı gibi sorunlar nedeniyle yeni enerji kaynakları arayışları tüm dünyada devam etmektedir. Çakır vd. [13], İzmir ili Harmandalı katı atık depolama sahasında düzenli olarak depolanan belediye katı atıklarından elde edilen elektrik ve potansiyel enerji olarak depolama gazının kullanımını tahmin modelleriyle araştırmışlardır. Singh vd. [14], çalışmalarında ulusal ölçekte çöplüklerden kaynaklanan potansiyel CH₄ emisyon tahmin çalışmaları yapmışlardır. Bu çalışmada, Hindistan'daki düzenli depolama alanlarından yıllık net CH₄ emisyonunun 2015 yılında 1084 Gg olduğunu gözlemlemişlerdir. Depo gazı, düzenli depolama sahalarında kentsel katı atıkların anaerobik biyolojik bozunmasının bir sonucu olarak üretilen CH₄ ve karbondioksitten (CO₂) oluşan sera gazını temsil etmektedir ve CH₄ (%50), CO₂ (%45), azot (N₂), hidrojen sülfür (H₂S) ve metan olmayan organik bileşikler (NMOC' ler) (5 %) gibi diğer elementlerden oluşur [15].

CH₄ ve CO₂ gibi tehlikeli olabilecek bazı sera gazlarının atmosfere salınması mümkün olduğunca engellenmeli veya sınırlandırılmalıdır. Bu amaçla gaz toplama sistemleri kullanılmaktadır. Depo gazı, katı atık sahasına açılan ve boru sistemi ile bağlanan birkaç kuyudan oluşan bir sistem kullanılarak toplanır. Depo gazı, bir ısı-enerji kaynağı olarak doğrudan bir kazanda yakılabilir veya bir içten yanmalı motorda veya gaz türbinleri ile elektrik üretimi için kullanılabilir [16-18]. Depo gazı aynı zamanda küresel ısınma etkisine rağmen yüksek CH₄ içeriği nedeniyle yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Bu durum depo gazının hem enerji hem de hammadde üretimi için uygun bir yakıt kaynağı olduğu anlamına gelir [19]. CH₄ toplama sistemi ekonomik olarak verimli olmasa bile, CH₄'ün doğrudan atmosfere salınmasını önlemek amacıyla kontrollü bir şekilde toplanmalı veya yakılmalıdır. Gaz toplama sistemleri, CO₂ ve diğer sera gazı emisyonlarının azaltılmasına önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır. Ayrıca bu sistemler, düzenli depolama sahalarında oluşacak çöp gazı miktarının ve içeriğinin belirlenmesinde de oldukça etkilidir.

Elektrik, kombine ısı ve güç üretimi gibi çeşitli enerji projeleri için depo gazı kullanmak mümkündür. Ayrıca bir ısı-enerji kaynağı olarak doğrudan bir kazanda yakılabilir ve alternatif bir araç yakıtı olarak kullanılabilir. Daha temiz bir yakıt kaynağı olarak depo gazının kullanılması, ozon tabakasına, flora ve faunaya zarar veren kirletici maddeler yayan fosil yakıtların etkisini en aza indirecektir [20]. Çöp gazı AB Direktifi 2009/28/EC' de "temiz yenilenebilir enerji kaynakları" olarak belirtilmiştir [21].

Günümüzde hem sera gazı emisyonlarını hem de enerjinin dışa bağımlılığını azaltmak, ayrıca enerji arzı ve güvenliğini sağlamak için enerji kaynaklarının çeşitliliğini artırmak için düzenli depolama alanlarını ve üretilen depo gazını verimli bir şekilde yönetmek gerekli hale gelmiştir. Türkiye'de düzenli depolama sahalarında evsel katı atıklardan enerji üretimi miktarı her geçen gün artmaktadır. Türkiye'de 2016 yılı sonunda çöp sahalarında elektrik üretimi kurulum kapasitesi 225.369 MWe'dir. Depo gazından enerji geri kazanım projelerinin fizibilitesi, planlaması ve tasarımı ile ilgili en kritik konu, üretilen depo gazı miktarının belirlenmesidir. Elektrik üretiminde depo gazı enerji projeleri için en yaygın kullanılan teknolojiler içten yanmalı motorlar ve gaz türbinleridir.

Bu çalışmada 2020 yılında Van ilindeki vahşi depolama alanına kurulan ana hat gaz toplama kuyusundan aylık olarak kayıt altına alınan depo gazını, bileşenlerini ve bu depo gazının enerjiye dönüşüm oranı incelenmiştir. Oluşan depo gazını etkileyen parametreleri daha net ortaya koymak amacıyla katı atık kompozisyonu ve karakterizasyonu da yapılmıştır. Van ilindeki KKA yönetimi, uygulanan mevcut WTE teknolojisi ile incelenmiştir ve KKA yönetiminde gelecekteki uygulamalar için bazı açıklamalar ve öneriler verilmektedir. Yazarların farkında olduğu kadarıyla Van ili için KKA'nın enerjiye dönüşüm potansiyelini inceleyen ve ortaya koyan bir çalışma yoktur. Bu çalışmadan elde edilen sonuçların CH₄ gazı toplama sistemlerinin tasarlanması ve düzenli depolama sahalarında sera gazı emisyonunun kontrol edilmesi için şehir yetkilileri ve diğer paydaşlar için bir rehber olarak kullanılabilmesi ve ileride yapılacak olan katı atık yönetimi ile ilgili çalışmalara kaynak olabileceği düşünülmektedir. Çalışma Van ilinde bulunan KKA depolama alanında 2020 yılında bir yıllık süre boyunca yapılmıştır. Laboratuvar ve analiz çalışmalarının bir kısmı Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, Çevre Kimyası laboratuvarında gerçekleştirilmiş, bir kısmı Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Bilim Uygulama ve Araştırma merkezinde gerçekleştirilmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Çalışma Alanı

Beyüzümü mahallesi, Özalp yolu üzerinde kurulu olan Vahşi depolama sahası, 32.6 hektar alanda 43° 25'

15.4" doğu boylamları ile 38° 32' 46,7" kuzey enlemleri arasında yer almaktadır. Vahşi Depolama alanı Şekil 1' de gösterilmiştir. Van merkez ve civar ilçelerinden günlük yaklaşık 600 ton katı atık girişi olmaktadır. Tesis çalışanlarından edinilen bilgiye göre atıklar belediye tarafından toplanıp vahşi depolama alanına atık transfer araçları ile getirilmektedir. Atıklar büyük çoğunlukla evsel nitelikli olup, işlem görmemiş tıbbi atık girişi yapılmamaktadır. Tıbbi atıklar tesise gelmeden önce tıbbi atık sterilizasyon tesisinde sterilize edilip evsel nitelik taşıdıktan sonra vahşi depolama sahasına getirilmektedir. Tesis yetkililerinden alınan bilgilere göre tesiste 34 personel çalışmaktadır. Tesiste çalışan personel ve vardiya durumuna ilişkin bilgiler aşağıda yer almaktadır.



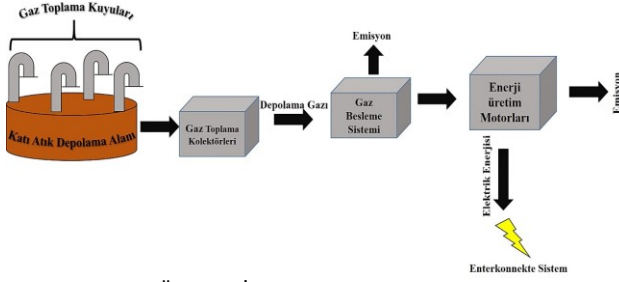
Şekil 1. Vahşi Depolama Alanı

Tesiste Çalışan Personel Sayısı: 34
Enerji Santralinde Çalışan Personel Sayısı:15
Vahşi Depolama Alanında Çalışan Personel Sayısı: 19
Vardiya Sayısı:2 vardiya (8 saat)
Yıllık Çalışma Süresi: 300 gün

Tesis içerisinde bulunan elektrik üretim sahası 1602 m² alanda yer almaktadır. Enerji üretim santrali binası iç görünümü Şekil 2'de gösterilmiştir. Elektrik üretim tesisinde saatte ortalama 2300 kW elektrik üretimi yapılmakta ve ortalama 1150 m³ CH₄ gazı tesise çekilmektedir. Enerji üretimi iş akış şeması Şekil 3'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Enerji Üretim Santrali Binası İç Görünümü



Şekil 3. Enerji Üretimi İş Akış Şeması

2.2. Katı Atık Kompozisyonunun Belirlenmesi

Katı atıkların kompozisyonu atıkların alındığı ilçelerin ekonomik durumuna göre değişkenlik gösterdiği için kompozisyonun belirlenmesi işlemi farklı lokasyonlardan gelen atıklarla depolama alanında gerçekleştirilmiş olup ortalama değerleri alınmıştır. Kompozisyonun belirlenmesi işleminde hassas kantar ve araç kantarları kullanılmıştır. Atıkları karıştırmak için naylon branda ve sabit hacimli (1m³) bir kap kullanılmıştır. Tartım işlemleri için büyük hacimli (yaklaşık 70 lt) plastik kova kullanılırken, atıkların naylon branda içerisinde homojen karıştırılması için kürek ve tırmık kullanılmıştır. Diğer taraftan kişisel güvenlik önlemleri kapsamında eldiven, maske, çizme, baret ve gözlük kullanılmıştır. Atıklar Van'ı temsil etmesi açısından farklı ilçelerden (İpekyolu, Tuşba, Edremit, Gevaş, Özalp, Muradiye) gelen atık araçlarından analiz yapılacak alana taşınmıştır. Araçlardan analiz yapılacak alan üzerine dökülen atıklar eşit bir şekilde yayılmıştır ve alan her 50 cm' de bir bölüm olmak üzere eşit parçalara bölünerek atıklar her bir bölümden sabit hacimli kaplara alınmış ve ağırlıkları kantarda ölçülmüştür. Tartılan atıklar naylon branda üzerinde yayılarak darası alınan plastik kovalarda atık türüne göre gruplandırılarak hassas kantarda ağırlıkları ölçülmüştür. Kış ayları için yapılan ölçümlerde ısınma atığı olan taban külünün bulunması durumuna karşılık her bir plastik kova tartım esnasında elenerek eleklerin üzerinde kalan atıklar tekrar kovalara alındıktan sonra tekrar tartılarak kül miktarı da kaydedilmiştir.

2.3. Nem Tayini, Uçucu Katı Madde ve Sabit Katı Madde Analizi

Çöp depolama sahasından alınan katı atık numuneleri American Society for Testing and Materials Standard Test Metoduna ASTM D5231-92 göre [22] analiz edilmiştir.

2.4. Karbon ve Azot Analizi

Sahanın dört farklı noktasından toplanan katı atık numuneleri homojen bir şekilde karıştırılmış, öğütücülerde öğütülmüş ve porselen krozeler yardımıyla etüvde (Mommert Marka, UN110 model) nemi uçurulmuştur (yaklaşık 105°C). Nem'i uçurulan atıklar Thermo Scientific marka Flash 2000 model Elementel analiz cihazı ile analiz edilmiştir.

2.5. Depo Gazı Analizi

Anaerobik faaliyetler sonucu oluşan gazın konsantrasyonları enerji santrali giriş hattından ve yerinde BIOGAS 5000 marka cihaz ile ölçülmüştür (Şekil 4). Gaz analizleri toplamda 4 farklı sahadan ve 4 anahat' tan gelen tüm gazların birleştiği Enerji tesisi giriş hattından aylık olarak yapılmıştır. Sahalara ait rigol sayıları Tablo 1'de gösterilmiştir.



Şekil 4. Enerji Tesisi Giriş Ana Hattı

Tablo 1. Ölçüm alanlarına göre rigol sayıları

| Ölçüm Alanı | Rigol Sayısı | Anahat sayısı |
|-----------------------------|--------------|---------------|
| 1.Saha | 17 | 1 |
| 2.Saha | 8 | 1 |
| 3.Saha | 12 | 1 |
| 4.Saha | 8 | 1 |
| Enerji Santrali Giriş Hattı | - | 1 |

3. Bulgular

3.1. Katı Atık Analiz Sonuçları

Katı atık numunelerine ait sonuçlar Tablo 2'de gösterilmektedir. Veriler 3 tekrarlı yapılarak ortalamaları alınmıştır.

Tablo 2. Katı atık analiz sonuçları

| Parametre | Ağırlıkça bulunma miktarı (%) |
|---------------------|-------------------------------|
| Nem içeriği | 11.04 |
| Karbon (C) | 23.75 |
| Azot (N) | 0.75 |
| C/N | 31.67 |
| Uçucu Madde Miktarı | 42.41 |
| Sabit Madde Miktarı | 34.34 |

Anaerobik koşullarda biyogaz oluşumu, atığın uçucu katı madde içeriğine ve biyolojik aktiviteye bağlı olarak geniş bir aralıkta salınır. Tablo 2' de görüleceği üzere ağırlıkça nem içeriği, bağlı karbon, uçucu ve sabit madde yüzdeleri verilmiştir. Toplam katı atığın yaklaşık %42.41'ini temsil eden uçucu katı madde organik muhteviyatı temsil etmekte olup, katı atığın anaerobik ayrışma ile CH₄' e dönüşme potansiyelinin büyük kısmını göstermektedir. Özellikle C/N oranları CH₄ üretimini etkilemektedir. Depolama alanlarında biyogaz oluşum için optimum C/N oranı genellikle 30-35/1 olarak kabul edilmektedir [23]. İlkılıç ve Deviren

[24] çok yüksek C/N oranında karbonun gaz oluşumunda sınırlayıcı olduğunu, C/N oranının düşük olması durumunda ise azot' un gaz oluşumunda sınırlayıcı olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca düşük C/N durumunda sistemde amonyak oluşumunun gerçekleştiğini ve artan amonyak konsantrasyonunun bakteriler üzerinde toksik etki yaptığını belirtmişlerdir. Tablo 2' de ki verilere göre biyogaz üretimi için C/N oranının yeterli olduğu görülmektedir.

Nem içeriği katı atık depolama tesislerinde olumlu etki gösteren parametrelerden biridir. Nem içeriği biyolojik aktivitenin devamlılığı açısından önemlidir. Azalmış nem miktarı biyokimyasal reaksiyonları olumsuz etkiler. Nem içeriği biyokimyasal reaksiyonu devam ettirmek için kontrol altında tutulmalıdır. Değerlerinin altına düşen nem içeriği durumunda sızıntı suyu yaz aylarında depolama alanı içine geri devredilebilir. Kış aylarında sızıntı suyu sıcaklığı anaerobik bakteriler için uygun olan sıcaklığı düşürebileceği için geri devir önerilmez. Optimum sıcaklık asit bakterileri için 30 °C, metan bakterileri için ise 35–37°C'dir [25].

%34.34 orana sahip sabit katı madde yanmayan, biyolojik olarak parçalanmayan, hafriyat atıkları, taban külü, pil, akü vb gibi atıkları temsil etmektedir. Bu atıkların miktarının azalması kentte sıfır atık sistemine tam adaptasyonun sağlanması mümkün olabilir. Böylece atıklar kaynağında ayrı bir şekilde ayrıştırılarak sadece depo gazı oluşturabilecek potansiyeldeki atıkların tesise gelmesi sağlanmış olacaktır. Türkiye' de yapılan Uşak ili katı atık depolama alanı fizibilite çalışmasında [26] atığa karışan kül (ısınma atığı) miktarı yerinde ayrı toplanıp, ayrı bir şekilde tesise getirildiğinde geri dönüştürülebilir nitelikteki atıkların daha kolay bir şekilde ayrıldıklarını rapor etmişlerdir. Katı atık karakteristikleri incelendiğinde tesise ait geri dönüştürülebilir atık miktarının toplam atık miktarının yaklaşık %18 'ine denk geldiği görülmektedir. Isınma atığı, inşaat hafriyatları, seramik, tehlikeli atıklar gibi organik olarak ayrışamayan atıkların yerinde ayrı toplanıp, ayrı bir şekilde bertaraf edilmesi geri dönüştürülebilir nitelikteki atıkların daha kolay bir şekilde ayrılmasını sağlayabilir. Organik maddelerin CH₄ gazına dönüşmesinde en önemli parametrelerden biri de atığın kompozisyonudur. Katı atık bileşimi, çöp gazı üretim oranını önemli ölçüde etkilemektedir. Yüksek miktarda organik ve gıda atığı, depolama alanında gaz emisyonunun artmasına neden olabilir [27].

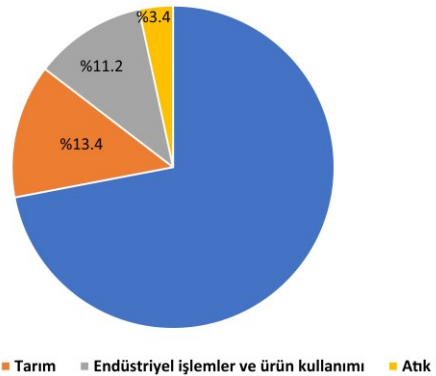
Tesise ait atık kompozisyonu ve bulunma yüzdeleri Tablo 3'de verilmiştir. Şekil 5' de sahadaki atık kompozisyonu görülebilir. Şekil 5' den görüleceği üzere atıkların çoğunluğu poşetler içerisinde yer alan evsel nitelikli atıklar (yiycek atıkları, tekstil atıklar, plastik atıklar) olmakla birlikte inorganik atıklarda mevcuttur. İnorganik atıkların büyük bir çoğunluğunu

ısınma atıkları oluştururken, diğer kısmını ise elektronik, metal, pil gibi atıklar oluşturmaktadır. Şekil 5' de görüldüğü gibi yeşil ve mavi renkli torbalarda evsel ısınma faaliyetleri sonucu oluşan soba külü (taban külü) yer almaktadır.



Şekil 5. Katı atık depolama tesisinde organik atıklar ile karışmış inorganik atıklar

Fosil bir yakıt olan kömürün ısınma ihtiyacının karşılanması için yakılması ile oluşan kül inorganik bir yapıda olup uçucu olmayan sabit katı madde sınıfına girmektedir. Kül yüksek sıcaklıklarda (> 550 °C) yakma işlemi sonucu kaybolmayıp inert bir durumdadır. Katı atık depolama sahaları gibi anaerobik faaliyet ile (organik maddelerin parçalanması sonucu) elde edilen biyogazın değerlendirildiği proseslerde katı atığın organik muhteviyatı CH₄ gazı üretim kapasitesini etkileyen bir faktördür. Organik muhteviyat (Uçucu katı madde) ne kadar yüksek ise CH₄ gazı konsantrasyonunda o oranda artması öngörülür. Elde edilen veriler ışığında inert katı maddenin toplam atığın %34.33' ünü oluşturduğu görülmektedir (bknz. Bölüm 3.2).



Şekil 6. Sektörlere göre sera gazı emisyonu [29]

Ülkemizde, sanayileşme ve hızlı nüfus artışının enerjiye olan ihtiyacı giderek arttırması fosil yakıtların enerji kaynağı olarak kullanılmasına neden olmaktadır. Katı atıkların toplanarak depo alanlarına getirilmesi ve burada bertaraf edilmesi sürecinde büyük miktarda sera gazı emisyonu oluşmaktadır [28]. Sera gazı emisyon envanteri sonuçlarına göre,

2019 yılında 506.1 milyon ton (Mt) CO₂ eşdeğeri olarak hesaplanmıştır. 2019 yılı emisyonlarında CO₂ eşdeğeri olarak en büyük payı %72 ile enerji kaynaklı emisyonlar ve bunu sırasıyla %13.4 ile tarımsal faaliyetler, %11.2 ile endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı, %3.4 ile atık takip etmiştir (Şekil 6). Türkiye’de 2019 yılı için kişi başı CO₂ eşdeğer emisyonu 6.1 ton/kişi, sera gazı emisyonu yoğunluğu ise 0.14 kg CO₂ eşd./GSYH (TL) olarak belirlenmiştir [29].

Tablo 3. Atık kompozisyonu değerleri

| Atık Bileşenleri | Ağırlıkça Ortalama Bulunma Miktarı (%) |
|--|--|
| Yiyecek Atıkları | 44.16 |
| Kağıt-Karton | 6.24 |
| Bahçe Atığı | 2.92 |
| Tekstil Atıkları | 3.08 |
| Ahşap Ürün Atıkları | 0.12 |
| Nylon, Plastik ve Lastik (Poşet, pet şişe, ömrünü tamamlamış lastikler vb) | 9.14 |
| Cam | 1.05 |
| Tehlikeli Atık (Pil,kimyevi temizlik ürünleri atıkları vb.) | 1.02 |
| Atık Elektronik Eşyalar | 0.45 |
| Metal | 0.55 |
| Kül (Isınma atığı) | 29.24 |
| Diğer İnorganik Atıklar (yanmazlar) (Taş, Seramik vb.) | 2.03 |
| TOPLAM | 100 |

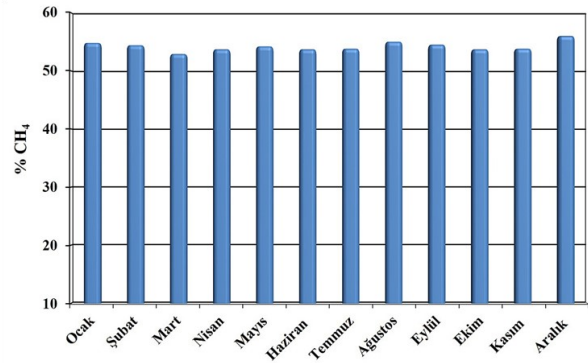
Tablo 3’ten görüleceği üzere atıkların büyük çoğunluğunun yiyecek atıklarından kaynaklandığı anlaşılmaktadır. Bu tür atıklar hızlı bir şekilde ayrıştığı için CH₄ üretim hızına etkileri de yüksek olmaktadır. Yiyecek atıklarından sonra en yüksek bulunma yüzdesine sahip olan inorganik madde, ısınma atığı olan taban külü’dür. Bulunma yüzdelere göre poşet, pet şişe, ömrünü tamamlamış lastikler ve kâğıt- karton atıkları ise sırasıyla %6.24 ve % 9.14 olarak kül atıklarından sonra gelmektedirler. Kış mevsiminde kömür ile ısınan konutlarda ısınma kaynağı olarak kâğıt ve benzeri atıkların da kullanılması ve şehirde kâğıt-karton benzeri ürünleri çöp konteynerlerinden toplayan toplayıcıların olması sebebi ile bu atıkların oranının kentin kâğıt-karton atık potansiyelini tam olarak yansıtmadığı düşünülmektedir. Bir şehrin atık karakterizasyonu ve hatta mahallelerin atık kompozisyonu orada yaşan halkın sosyo ekonomik durumu, barınma ve ısınma şekilleri, coğrafya şartları vb gibi birçok durumdan etkilenebilir. Sakarya ilinin genel atık bileşimini %41 organik atıklar, %10 yanıcı atıklar, %32 geri kazanılan atıklar ve %17’si inorganik atık ve diğer atıklar oluşturmaktadır [30-31]. Polonya da yapılan evsel katı atık kompozisyon çalışmasında genelde atıkların çok fazla kâğıt ve karton içerdiği (ortalama %34.5 kütle), ortalama %6.1 cam, %6.8 plastik ve %8.5 tekstil, %37.8 biyolojik olarak parçalanabilen organik atık ve %1.4 diğer organik bileşenler ve %7.1 mineral bileşenler içerdiği tespit edilmiştir [32].

3.2. Depo Gazı Analiz Sonuçları

Depo gazının ana bileşenleri, anaerobik koşullar altında doğal olarak oluşan bakterilerin etkisiyle, genellikle evsel atık biçimindeki organik malzemenin ayrışmasının yan ürünleridir [33]. Biyogaz, CH₄, CO₂, hava, amonyak, karbon monoksit, hidrojen, kükürt gazları, azot ve oksijenden oluşur. Gaz bacalarının yerleştirilmesindeki problemler, sızıntı ve yağmur suyu drenaj sistemlerindeki aksaklıklar gibi durumlar oluşacak depo gazı miktarlarını etkileyebilir [34]. Van ili vahşi depolama alanındaki depo gazı içeriğinde bulunan gaz bileşenlerinin ortalama hacimsel değerleri Tablo 4’ de verilmiştir. CH₄ ve CO₂ üretilen gaz hacminin yaklaşık %90’ ını oluşturduğu görülmektedir. Depo gazının ana bileşenleri olan CH₄ ve CO₂ ’nin her ikisi de küresel ısınmaya büyük katkıda bulunur. Depolama sahalarının içeriklerinin çok değişken olması nedeniyle, depolama gazlarının bileşenleri büyük ölçüde değişmektedir. Çevreye CH₄ salınımının depo gazı projeleri ile önlenebileceği gibi, elde edilecek olan elektrik enerjisi ile diğer fosil kaynaklı enerji kaynaklarının da kullanımı azaltılmış olacaktır [35].

Tablo 4. Van ili depolama alanı depo gazı içeriğinde bulunan bileşenlerinin ortalama hacimsel değerleri

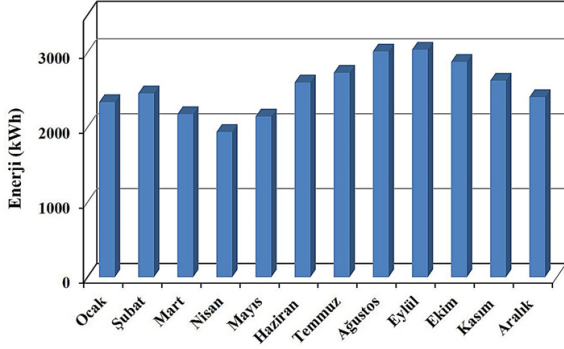
| Bileşen | Kimyasal Formül | İçerik |
|-----------------|------------------|---------------|
| Metan | CH ₄ | 50-60 (%) |
| Karbondioksit | CO ₂ | 30-40 (%) |
| Oksijen | O ₂ | <1 (%) |
| Hidrojen sülfür | H ₂ S | 1000-1500 ppm |



Şekil 7. Van ili kentsel katı atık enerji tesisinde üretilen depo gazındaki 2020 yılına ait aylık CH₄ içeriği

2020 yılı aylık dağılıma göre depo gazındaki CH₄ yüzdesi Şekil 7’de gösterilmektedir. Şekilden de görülebileceği gibi, CH₄ ’ün ortalama hacimsel yüzdesi yaklaşık 50-60 arasındadır. Bir ton karışık atık başına Kentsel katı atığın beklenen toplam biyogaz üretim potansiyeli, yaklaşık %50 oranında CH₄ civarındadır [36]. Tablo 4’de ve Şekil 7’ de verilen üretilen CH₄ miktarlarına bakıldığında üretilen CH₄ miktarının %50 civarında seyrettiği anlaşılmaktadır. Akış hızı, çalışma basıncı ve sıcaklık verileri, proses boru hattı boyunca 4 hat ve bir anahat istasyonunda ölçülür. Depo gazının hacimsel akış hızı, ana boru hattı boyunca 29.28 m³/dak olarak ölçülmüştür. Tesiste

depo gazındaki H₂S içeriğinin düşürülmesinden sonra, elektrik üretmek için jeneratörlerle (Leroy Sommers) birleştirilmiş üç adet 1.4 MW Janbacher-4.20 tipi gaz motoruna pompalanmaktadır. Bir motorun çalışma kapasitesi (maksimum üretebileceği enerji) 1414 kWh'dir. Şekil 8, elektrik santralinde kWh cinsinden aylık enerji üretimini göstermektedir. Elektrik üretim tesisinde ortalama 2000 kWh elektrik üretimi yapılmaktadır bu da Van'da yer alan yaklaşık 5000 hanenin enerji talebini karşılamaktadır.



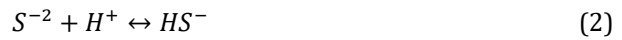
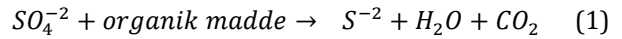
Şekil 8. Van KKA enerji tesisinde 2020 yılına ait aylık enerji üretimi miktarları

Van katı atık vahşi depolama sahasında toplanan KKA' lar dan aylık bazda elektrik üretimi miktarları Şekil 8'de gösterilmektedir. Üretilen elektrik miktarının yaz aylarının dışındaki aylarda çok daha düşük olduğu görülmektedir. Bu durum depolama alanındaki sıcaklıktaki azalma nedeniyle anaerobik bakteriler tarafından CH₄ üretimi için gerekli olan ısının sağlanamamasına atfedilebilir. Öte taraftan CH₄ gazı üretimine, dolayısıyla enerji üretimine etki edebilecek diğer bir parametre ise inorganik atıklardır. Bu inorganik atıklar arasında elektronik atıklar ve piller sayılabilir. As, Cd, Hg gibi ağır metaller metanojenik bakterilerin faaliyetlerini inhibe ederek üretilen CH₄ konsantrasyonuna etki etmektedir. Öztürk [1], Van ilindeki tehlikeli atık potansiyelini belirlediği çalışmada Van ilinde atık elektrikli ve elektronik eşyalar ile pil ve akümülatörler için bir geri dönüşüm tesisin olmadığını belirtmiştir. Ancak bu atıkların elektronik eşya satan firmalar tarafından toplanması, bu atıklar içerisindeki kıymetli malzemeleri ayrıştıran esnafın toplaması ve halkın bilinçlenmesi ile atık toplama kumbaralarının konulması sonucu bu atık materyallerin toplanmasında artış olduğunu belirtmiştir. Tablo 3 incelendiğinde tehlikeli atık (Pil, kimyevi temizlik ürünleri atıkları vb.), atık elektronik eşyalar ve metal atıkların toplam atığın %2.02'ini oluşturduğu görülmektedir. Bu oran düşük olsa da kentte sıfır atık sistemine tam geçişin sağlanması ile tesise gelen inorganik atık miktarı azalmış olacak ve böylece CH₄ gazı miktarı artacaktır. CH₄ oluşumuna pH, sıcaklık, nem, ayrışabilir organik madde miktarı, anaerobik bakterilerin konsantrasyonu, ağır metaller, KOİ vb. gibi başka birçok parametre etki etse de atık kompozisyonu etki eden önemli faktörlerdendir. Ayrıca, kış aylarında gözlemlenen nispeten düşük CH₄ üretimi kış aylarında miktarı artan ısınma amaçlı

kullanılan yakıt atıklarından kaynaklanmış olabilir. Kömürün ısınma amaçlı kullanımı ile ortaya çıkan taban külü Tablo 3'de de görüleceği üzere toplam atıkların %29.24'ünü oluşturmaktadır.

Kömürde sülfat kükürdü magnezyum, kalsiyum, bakır sülfat ve demir tuzları şeklinde ve kristaller biçimde bulunur. Sülfat kükürtlü kömürlerde az miktarda bulunmasına karşın yanma olayı sonrasında yüzeysel bozunmalarla miktarı artabilmektedir. Sülfat kükürdü organik kükürt gibi yanma özelliğine sahip değildir [35]. Kömür içerisinde ayrıca piritik kükürt mevcuttur 550-600 °C'de hızlı bir şekilde bozulan piritik kükürt FeS ve diğer kükürt bileşiklerine dönüşür. Kömürün evsel ısınma amaçlı yanması sonucu oluşan ve atık olarak depo sahasına gelen taban külü sülfat içermektedir [38]. Sülfatların anaerobik ortamda sülfat indirgeyici bakteriler tarafından kullanılarak organik maddeleri ayrıştırması sonucu oluşan kükürdün hidrojen ile reaksiyonu sonucu H₂S oluşur (Eş. 1-3). Ayrıca sülfat evsel organik atıklardan ve atıksu arıtma tesislerinin çamurlarından kaynaklanabileceği gibi alçıpan gibi malzemelerden de kaynaklanabilmektedir [39]. 2019 yılında yapılan bir çalışmaya göre Van merkezde doğal hattı çekimleri genel olarak tamamlanmış olup ilçelere hat çekilmesi işlemleri devam etmektedir [40]. Bu durum kent halkının ısınma amaçlı doğal gaz kullanımına yönelmesiyle birlikte depolama alanına gelen taban külü miktarının azalacağı anlamına gelmektedir.

Yüksek konsantrasyonlardaki korozif özellikli H₂S, depo gazının enerji dönüşümü miktarına negatif etki etmektedir. Depo gazı içerisinde bulunan H₂S, uçucu organometalik bileşikler, merkaptanlar ve yağ motorunun az miktarda yanması sonucunda oluşan parçacıklar yüksek sıcaklık ve basınç altında motor yüzeyinde birikerek motorun çalışma performansını etkilemektedir [41]. Bu durumun bir sonucu olarak enerji üretimi olumsuz etkilenebilmektedir.



Depo gazında bulunan yüksek konsantrasyondaki H₂S' in giderimi için alternatiflerde mevcuttur. Bunlardan biri biyogaz içindeki CO₂, H₂S gibi gazlar basınçlı su içine absorpsiyonla giderilebilirler [42]. Bu uygulamada CH₄ ile birlikte diğer gazlar da su içerisinde çözünür. CH₄'ün su içindeki çözünürlüğünün düşük olmasına bağlı olarak az kayıp olur. Bu yöntemle temizlenen gaz, su ile doymuş halde olduğundan sıkıştırılmadan veya gaz nakil hattına verilmeden önce kurutulmalıdır [42]. Ayrıca H₂S Giderimi için başka uygulamalarda mevcuttur. Bunlar; Demir talaş içerisinde biyogazın geçirilmesi, besleme materyaline demir klorür (FeCl₂) katılması, biyogazın demir oksit paletlerden geçirilmesi ve aktif karbon uygulamalıdır [42]. FeCl₂ beslemesi işleminde

FeCl₂'nin pahalı olması, reaktör içindeki bakterilerin ölüm riski, klorun korozyona sebep olması, bu uygulamayı sınırlamaktadır [43]. Depo gazının demir yonga içeren toprak içinden geçirilmesi işlemi uygulanması kolay ve ucuz yöntemlerdendir [42].

CH₄ gazı üretimini artıracak diğer bir yöntem ise metan bakterilerinin konsantrasyonunu artırmak ve uygun ortamı sağlamaktır. Bu hususta karbonca zengin organik yük artırılarak depolama sahasında bulunan atıkların bu atıklar ile (hayvan çiftliği, organik endüstriyel atıklar gibi) karıştırılması biyogaz eldesini ve enerji üretimini artırabilir [44].

Elektrik enerjisi cinsinden CH₄ gazının eşdeğeri 10 kWh/m³ tür [45-46]. Depo gazının %50' sinin CH₄ olduğu kabulüyle, depo gazının enerji eşdeğeri 5 kWh/m³ alınabilir. Tablo 5' de çeşitli deponi alanı elektrik santrallerinde kWh cinsinden üretilen aylık enerji üretiminin bir karşılaştırılması gösterilmiştir.

Tablo 5. Çeşitli deponi alanı elektrik santrallerinde kWh cinsinden üretilen aylık enerji üretiminin karşılaştırılması

| Materyal | Çalışma Alanı | Enerji miktarı (kWh) | Referans |
|-----------------------------|----------------|----------------------|-------------------|
| Evsel katı atık | Pakistan | 1512 | [47] |
| Katı atık depo alanı | Sivas, Türkiye | 2947 | [48] |
| Evsel katı atık | Nijerya | 5555 | [49] |
| Evsel ve tarımsal katı atık | Bangladeş | 2652 | [50] |
| Katı atık depo alanı | Van, Türkiye | 2000 | Bu çalışma |

Şentürk ve Yıldırım [48], Sivas kentsel katı atık enerji tesisinde üretilen depo gazı miktarının elektrik üretimi için kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Üretilen en yüksek enerji miktarının 2030 yılında 2947 kWh olarak tahmin edildiğini ve Sivas çöp gazı santrali' nin işletme ömrünün 2060 yılından sonra ekonomik anlamda neredeyse sona ereceğini gözlemlemişlerdir. Bu nedenle modelleme çalışmalarının yapılmasının belediyelere ve yatırımcılara yol göstermesi açısından önemli olduğunu vurgulamışlardır. Murphy vd. [51], anaerobik çürütme işleminden üretilen 1 m³ biyogazın, %35 dönüşüm verimliliği ile 2.04 kWh elektrik üretebileceğini bildirmiştir. Mevcut teknolojide 1 m³ biyogaz 6.7 kWh enerjiye dönüştürülebilmektedir [50].

4. Tartışma ve Sonuç

Katı atık depolama sahaslarından elde edilen depo gazı ile üretilen elektrik ve ısının belirli bir miktarının ise yenilenebilir enerji yasası kapsamında satılması ve bir miktarının tesisin kendi iç enerjisini temin etmek için kullanılması büyük öneme sahiptir. Böylece düzenli depo alanlarındaki tüm atıkların çevre dostu bir teknoloji ile ülke ekonomisine kazandırılmış olması sağlanacaktır. Bu çalışmada Van merkez ve civar ilçelerinden günlük yaklaşık 600 ton katı atık girişi

olan vahşi depolama tesisine ait ana hat gaz toplama hattından 2020 yılına ait aylık depo gazı analizi ve katı atık kompozisyonu belirlenerek ve katı atık karakterizasyonu yapılarak katı atıklardan enerji eldesine etki eden parametreleri belirlemek ve enerji potansiyelini ortaya koymak amaçlanmıştır. Depo gazı analizi sonuçlarına göre depo gazının yaklaşık %50-60' ı CH₄'den oluşmakta ve elde edilen enerji miktarı Ağustos ve Eylül aylarında yaklaşık 3000 kWh arasında iken Kasım ile başlayıp Haziran ayına kadar devam eden mevsim şartları itibariyle soğuk geçen aylarda ise enerji üretim miktarı 2000-3000 kWh aralığında düşüş göstermiştir. Bu düşüşlerin sebebinin soğuk geçen aylarda inorganik yanma ürünü atıkların depo alanına gelmesi ve sıcaklık düşüşü sebebiyle CH₄ oluşumunda etkin bakterilerin olumsuz etkilenmeleri ile olduğu düşünülmektedir. Depo alanındaki CH₄ gazının kullanılmasıyla tesiste ortalama 2000 kWh elektrik üretimi yapılmaktadır ve Van'daki 5000 hanenin enerji talebi karşılanmaktadır. Daha fazla depo gazı üretimi için Van ili ve bütün civar ilçelerinden KKA' lar depolama sahasında toplanmalıdır. Van ili için yapımına devam edilen düzenli depolama tesisine geçişle birlikte daha yüksek miktarlarda enerji üretimi olacağı kanaatindeyiz. Enerji üretim miktarına katkı sağlayacak önemli unsurlardan biri olan sıfır atık sistemine tam geçişin sağlanmasıyla birlikte düzenli depolama sahasına getirilen atıkların depo gazı üretiminde görev alan metanojenik bakterileri inhibe edecek türden olmaması, evsel organik atıkların inorganik atıklardan ayrılması daha fazla enerji üretimine neden olacaktır. WTE teknolojilerinden elektrik üretim potansiyeli yalnızca yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretimine katkıda bulunmakla kalmayıp, aynı zamanda depo alanlarının maliyetini ve buna bağlı olarak çevre sorunlarını da azaltacaktır. Nüfus artışı ile birlikte gelecek yıllardaki KKA hacmindeki artış nedeniyle düzenli depolama sahasına bir alternatif olarak diğer WTE teknoloji uygulamaları da düşünülmelidir. Ayrıca bu çalışmada Van ili için katı atık karakterizasyonunun yapılması ve atıkların enerjiye dönüştürülmesi sırasında elde edilen veriler katı atık yönetimi hususunda çalışmak isteyenler için bir kaynak teşkil edecektir.

Teşekkür

Yazarlar, çalışmaya katkılarından dolayı Van Büyükşehir Belediyesi'ne ve Çevre Koruma Kontrol ve Katı Atık Şube Müdürü Murat Türü' ye ve Panda Alüminyum A.Ş.' ye teşekkür eder.

Etik Beyanı

Bu çalışmada, "Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi" kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin "Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler" başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederiz.

Kaynakça

- [1] Öztürk, D. 2019. "Van İlindeki Tehlikeli Atıkların Mevcut Potansiyelinin Belirlenmesi. Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 34(3), 271-282.
- [2] Ho, W.S., Hashim, H., Lim, J.S., Lee, C.T., Sam, K.C., Tan, S.T. 2017. Waste Management Pinch Analysis (WAMPA): Application of Pinch Analysis for greenhouse gas (GHG) emission reduction in municipal solid waste management. *Applied Energy*, 185, 1481-1489.
- [3] Gu, T., Yin, C., Ma, W., Chen, G. 2019. Municipal solid waste incineration in a packed bed: A comprehensive modeling study with experimental validation. *Applied Energy*, 247, 127-139.
- [4] Fidelis, R., Marco-Ferreira, A., Antunes, L.C., Komatsu, A. K. 2020. Socio-productive inclusion of scavengers in municipal solid waste management in Brazil: Practices, paradigms and future prospects. *Resources, Conservation and Recycling*, 154, 104594.
- [5] Gökçe, G.F., Aydemir, P.K., Hasanoğlu, P., Özbay, M. 2015. Katı Atık Düzenli Depolama Sahalarının ve Vahşi Depolama Alanlarının İslahı ve Bitkilendirilmesi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 3(1), 258-271.
- [6] Rushton, L. 2003. Health hazards and waste management. *British Medical Bulletin*, 68, 183-197.
- [7] Giusti, L. 2009. A review of waste management practices and their impact on human health. *Waste Management*, 29(8), 2227-2239.
- [8] Hoornweg, D., Bhada-Tata, P. 2012. *What A Waste, A Global Review of Solid Waste Management*, Washington DC, USA: World Bank, 26s.
- [9] Kumar, S., Nimchuk, N., Kumar, R., Zietsman, J., Ramani, T., Spiegelman, C., Kenney, M. 2016. Specific model for the estimation of methane emission from municipal solid waste landfills in India. *Bioresource Technology*, 216, 981-987.
- [10] Tercan, S.H., Cabalar, A.F., Yaman, G. 2015. Analysis of a landfill gas to energy system at the municipal solid waste landfill in Gaziantep, Turkey. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 65(8), 912-918.
- [11] Menikpura, S.N.M., Sang-Arun, J., Bengtsson, M. 2016. Assessment of environmental and economic performance of Waste-to-Energy facilities in Thai cities. *Renewable Energy*, 86, 576-584.
- [12] Tozlu, A., Özahi, E., Abuşoğlu, A. 2016. Waste to energy technologies for municipal solid waste management in Gaziantep. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 809-815.
- [13] Cakir, A.K. Gunerhan, Hepbasli, H.A. 2016. A comparative study on estimating the landfill gas potential: Modeling and analysis. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 38(16), 2478-2486.
- [14] Singh, C.K., Kumar, A., Roy, S. S. 2018. Quantitative analysis of the methane gas emissions from municipal solid waste in India. *Scientific Reports*, 8, 2913,
- [15] Ahmed, S. I., Johari, A., Hashim, H., Mat, R., Lim, J. S., Ngadi, N., Ali, A. 2015. Optimal landfill gas utilization for renewable energy production. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 34(1), 289-296.
- [16] Rada, E. C., Ragazzi, M., Ionescu, G., Merler, G., Moedinger, F., Raboni, M., Torretta, V. 2014. Municipal Solid Waste treatment by integrated solutions: Energy and environmental balances. *Energy Procedia*, 50, 1037-1044.
- [17] Munster, M., Lund, H. 2010. Comparing Waste-to-Energy technologies by applying energy system analysis. *Waste management*, 30(7), 1251-1263.
- [18] United States Environmental Protection Agency (EPA). Landfills, [Online]. Available: http://www.epa.gov/osw/nonhaz/municipal/c_ombustion.html (Date of Access: 20 October 2014).
- [19] Bekkering, J., Broekhuis, A. A., Van Gemert, W. J. T. 2010. Optimisation of a green gas supply chain. *Bioresource technology*, 101(2), 450-456.
- [20] Noor, Z. Z., Yusuf, R. O., Abba, A. H., Hassan, M. A. A., Din, M. F. M. 2013. An overview for energy recovery from municipal solid wastes (MSW) in Malaysia scenario. *Renewable and sustainable energy reviews*, 20, 378-384.
- [21] Can, A. 2020. The statistical modeling of potential biogas production capacity from solid waste disposal sites in Turkey. *Journal of Cleaner Production*, 243, 118501.
- [22] ASTM (American Society for Testing and Materials). 2003. D5231 - 92.
- [23] Bilgili, M. S. 2006. Katı atık düzenli depo sahalarında atıkların aerobik ve anaerobik ayrışması üzerine sızıntı suyu geri devrinin etkileri. *Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul*.
- [24] İlkiliç, C., Deviren, H. 2011. Biyogazın Üretimi ve Üretimi etkileyen faktörler. 6 th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), 16-18 Mayıs, Elazığ,
- [25] Werner, U., Stöhr, U., Hees, N. 1989. Biogas plants in animal husbandry. *Deutsches Zentrum für Entwicklungstechnologien-GATE*.

- [26] Akıncı, G., Onargan, T., Danışman M.A., Küçük, K., Güven, D., Gök, G., Bilgin, M. 2010. Uşak Belediyesi Katı Atık Yönetimi Fizibilite Raporuna Esas Sondajlı Atık Sahası Karakterizasyonu Belirlenmesi ve Gaz Varlığının Araştırılmasına Yönelik Ar-Ge Projesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Türkiye.
- [27] Hosseini, S. S., Yaghmaeian, K., Yousefi, N., Mahvi, A. H. 2018. Estimation of landfill gas generation in a municipal solid waste disposal site by LandGEM mathematical model. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 4(4), 493-506.
- [28] Demirarslan, K. O. 2020. Katı Atık Yönetiminden Meydana Gelebilecek Sera Gazları ile Matematiksel Tahminleri Üzerine Literatür Araştırması. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8(1), 363-38.
- [29] TÜİK, 2021. Sera gazı Emisyon İstatistikleri, 1990-2019. TÜİK Haber Bülteni, Sayı: 37196.
- [30] Sakarya Valiliği Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, 2015. Sakarya Büyükşehir Belediyesi Entegre Katı Atık Bertaraf Tesisi ÇED Raporu," Duru Çevre Teknolojileri ve Lab. Hiz Müh. Müş. İnş. Taah. San ve Tic. Ltd. Şti, Ankara.
- [31] Yay, A. S. E. 2017. Yaşam döngüsü analizinin ambalaj atıklarının yönetiminde kullanılması. *Sakarya University Journal of Science*, 21(5), 1008-1017.
- [32] Den Boer, E., Jędrzak, A., Kowalski, Z., Kulczycka, J., Szpadt, R. 2010. A review of municipal solid waste composition and quantities in Poland. *Waste Management*, 30(3), 369-377.
- [33] Demirbas, A. 2006. Biogas production from the organic fraction of municipal solid waste. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 28(12), 1127-1134.
- [34] Çakır, A.K., Gunerhan, H. 2012. İzmir Harmandalı Deposindeki Metan Gazı Potansiyelinin Belirlenmesi, Bertaraf ve Değerlendirme Seçeneklerinin Araştırılması. *TMMOB MMO Mühendis ve Makina Dergisi*, 53(631), 24-34.
- [35] Öztürk, G. 2010. Katı Atık Yönetimi ve AB Uyumlu Uygulamaları, 3. Baskı, İstanbul, Türkiye: İSTAÇ, 9-62.
- [36] Baran, A., Arıkan, O., Yıldız, Ş., Demir, İ., Sarı, H., Altıntaş, M., Balahorli, V. 2015. Katı Atık Düzenli Depolama Tesisleri İşletimi El Kitabı. İstanbul: İSTAÇ, 5-6s.
- [37] İpekoğlu, R.A.B. 2012. Kömürlerdeki Kükürdün Kademeli Olarak Uzaklaştırılması. *İstanbul Yerbilimleri Dergisi*, 9, 1-2.
- [38] Çağlar, G.A. 2007. Endüstriyel atık malzemelerin karayollarında kullanımı, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi, İstanbul.
- [39] Ko, J. H., Xu, Q., Jang, Y. C. 2015. Emissions and control of hydrogen sulfide at landfills: a review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 45(19), 2043-2083.
- [40] Öztürk, D., Bayram, T. 2019. Van İli Kent Merkezinde Hava Kirliliği. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8(3), 1142-1153.
- [41] Sevimoğlu, O., Östürk, Ö. 2019. Kömürçüoda Katı Atık Depolama Sahasında Çöp Gazından Enerji Üretiminde Kullanılan Gaz Motorlarında Oluşan Depozitin Elementel Karakterizasyonu. *Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(10), 1-9.
- [42] İlkılıç, C., Deviren, H. 2011. Biyogazın Oluşumu ve Biyogazı Saflaştırma Yöntemleri. 6 th International Advanced Technologies Symposium, 16-18 Mayıs, Elâzığ, 150-155.
- [43] Boyd, R. "Internalising Environmental Benefits of Anaerobic Digestion of Pig Slurry in Norfolk, University of East Anglia," [Online]. Available: <http://www.green-trust.org/%20PigSlurryADProject.pdf> (Date of Access: 14 April 2019).
- [44] Gujer, W., Zehnder, A. J. 1983. Conversion processes in anaerobic digestion. *Water science and technology*, 15(8-9), 127-167.
- [45] Coşkuner, M.C. 2015. Eysel Atıktan Enerji Üretimi: Gaziantep Örneği, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.
- [46] Cuzin, N., Farinet, J. L., Segretain, C., Labat, M. 1992. Methanogenic fermentation of cassava peel using a pilot plug flow digester. *Bioresource technology*, 41(3), 259-264.
- [47] Korai, M. S., Mahar, R. B., Uqaili, M. A. 2014. Assessment of power generation potential from municipal solid wastes: A case study of Hyderabad city, Sindh, Pakistan. *Pakistan Journal of Analytical & Environmental Chemistry*, 15(1), 10.
- [48] Şentürk, İ., Yıldırım, B. 2020. A study on estimating of the landfill gas potential from solid waste storage area in Sivas, Turkey. *Scientific Journal of Mehmet Akif Ersoy University*, 3(2), 63-76.
- [49] Ibikunle, R. A., Titiladunayo, I. F., Akinnuli, B. O., Dahunsi, S. O., Olayanju, T. M. A. 2019. Estimation of power generation from municipal

solid wastes: A case Study of Ilorin metropolis, Nigeria. *Energy Reports*, 5, 126-135.

- [50] Hasan, A. M., Ammenberg, J. 2019. Biogas potential from municipal and agricultural residual biomass for power generation in Hazaribagh, Bangladesh—a strategy to improve the energy system. *Renewable Energy Focus*, 29, 14-23.
- [51] Murphy, J. D., McKeogh, E., Kiely, G. 2004. Technical/economic/environmental analysis of biogas utilisation. *Applied Energy*, 77(4), 407-427.

Energy and Exergy Analysis of a Shell and Tube Heat Exchangers Having Smooth and Corrugated Inner Tubes

Ali CELEN 

Erzincan Binali Yıldırım University, Faculty of Engineering and Architecture,
Department of Mechanical Engineering, 24100, Erzincan, Turkey

(Alınış / Received: 11.10.2021, Kabul / Accepted: 03.02.2022, Online Yayınlanma / Published Online: 20.04.2022)

Anahtar Kelimeler

Heat exchanger design,
Exergy analysis,
Heat transfer enhancement,
Corrugated tubes

Abstract: Shell and tube heat exchangers are one of the most used heat exchanger types in applications and it is important to predict heat transfer capacity and pressure loss in both design stage. Heat transfer capacity of a heat exchanger can be enhanced by using tubes having enhanced surfaces instead of smooth ones. In this study, the usage of corrugated tubes in a shell and tube heat exchanger is investigated by using ϵ -NTU method, energy/exergy analysis. The impact of the usage of corrugated tubes on hot and cold fluid outlet temperatures, energy/exergy efficiencies, entropy generation and total exergy destruction are researched for various operation conditions. The results revealed that the difference between fluid outlet temperatures can be decreased by using tubes having corrugated surfaces instead of smooth ones because of fluid mixing and secondary flows obtained by means of the corrugations. Overall heat transfer coefficient of heat exchanger is enhanced up to 8% with the usage of corrugated tube in considered operation conditions. It is exhibited that the energy and exergy efficiencies of heat exchanger can be improved up to 18% and 16% with the usage of corrugated tubes instead of one having smooth tubes. Moreover, the entropy generation because of heat transfer and pressure loss and total exergy destruction of considered heat exchangers are determined to reveal the impact of corrugated tubes.

Pürüzsüz ve Koruge İç Borulara Sahip Bir Gövde Borulu Isı Değiştiricisinin Enerji ve Ekserji Analizi

Keywords

Isı değiştiricisi tasarımı,
Ekserji analizi,
Isı transferi iyileştirilmesi,
Koruge borular

Özet: Gövde borulu ısı değiştiricileri uygulama en çok kullanılan ısı değiştirici türlerinden biridir ve tasarım aşamasında ısı transferi kapasitesi ve basınç kaybının tahmin edilmesi önemlidir. Bir ısı değiştiricisinin kapasitesi pürüzsüz yüzeyler yerinde iyileştirilmiş yüzeye sahip borular kullanılarak arttırılabilir. Bu çalışmada, koruge boruların bir gövde borulu ısı değiştiricisinde kullanımı ϵ -NTU method, enerji/ekserji analizleri kullanılarak araştırılmıştır. Koruge boru kullanımının sıcak ve soğuk akışkan çıkış sıcaklıklarına, enerji/ekserji verimlerine, entropi üretimine ve ekserji yıkımına etkisi farklı çalışma şartları için incelenmiştir. Sonuçlar koruge yüzeyler kullanılarak elde edilen akışkan karışması ve ikincil akışlar sebebiyle pürüzsüz yüzeyler yerine akışkan çıkış sıcaklıkları arasındaki farkın azaltılabileceğini ortaya çıkarmıştır. Göz önüne alınan çalışma şartlarında toplam ısı transfer katsayısı koruge borular kullanılarak %8'e kadar iyileşmiştir. Pürüzsüz boru yerine koruge boru kullanımıyla ısı değiştiricisinin enerji ve ekserji verimlerinin sırasıyla %18 ve %16'ya kadar arttırılabileceği ortaya konmuştur. Ayrıca, göz önüne alınan ısı değiştiricilerinin ısı transferi ve basınç kaybı kaynaklı entropi üretimi ve ekserji yıkımı koruge boru kullanımının etkisini açığa çıkarmak için belirlenmiştir.

1. Introduction

Heat exchangers (HEXs) are defined as equipments used for transferring heat between two or more fluids and they are used in many fields such as refrigeration, power production, air conditioning, heat recovery etc. They are generally categorized by construction, fluid number, flow arrangement, etc. [1]. Among the classification according to construction, tubular HEXs are generally preferred because of their high operating pressure/temperature resistance, installation cost and ease of maintenance [2]. In application, it is important to design a HEX having higher heat transfer capacity for constant size so it is necessary to obtain higher overall heat transfer coefficients (HTCs) by considering active and passive heat transfer improvement methods. In active heat transfer improvement methods, it is essential to use an external power such as electric, vibration or acoustic so the usage of this method is not suitable in HEXs because of power consumption. In passive heat transfer enhancement methods, it is necessary to use special geometries (such as extended, rough, coated etc.) or additives for working fluid (such as nanofluid) and this method is generally used in HEX applications [3]. One of the special geometries can be used in tubular HEXs is corrugated tubes which have corrugations on the surface. It is known that the heat transfer improvement accompanied by higher pressure loss can be obtained with the usage of corrugated tubes instead of smooth ones. It is expected that corrugations make possible to mix boundary layers, reduce thermal boundary layer thickness, generate secondary flows, intensify and increase wet perimeters which are very important parameters in heat transfer enhancement [4]-[7]. With these contributions to fluid flows, corrugated tubes can be used in order to design HEX having smaller size and better thermal performance compared to ones comprised of smooth tubes.

In application, the most used tubular HEX type is shell and tube heat exchangers (STHEX) and their design and thermal performance are generally evaluated with heat transfer and first law of thermodynamics analyses. In these analyses, overall HTC, tube/shell side HTCs, fluid temperatures are determined and design of HEX is generally made by using various methods. In addition, Dincer [8], Bejan et al. [9] and Kotas [10] proposed that second law of thermodynamics, exergy, irreversibility and entropy generation can be used as a good tool for evaluation of thermal system design and equipments such as HEXs. It is known that exergy is not conserved like energy and irreversibilities result in destruction of it. It is also known that heat transfer and pressure loss are causes entropy generation and irreversibilities in HEXs. Some studies on second law analyses of HEXs are given as follows:

Mert and Reis [11] conducted experiments in order to specify performance of a STHEX and performed exergy-based analysis. The variation of tube/shell side exergy, inlet/outlet temperature of fluids and exergy efficiency of HEX with flow rate is investigated. In addition, exergy destruction rates are examined for various flow conditions. Their study showed that exergy efficiency of HEX rises with increment of hot fluid inlet temperature. Sensitivity analysis also revealed that the efficiency of HEX is significantly related to flow rate and temperature. They pointed out that it is necessary to consider exergy analysis for better design of a thermal system.

Naphon [12] presented an experimental study in order to research entropy generation, exergy loss and heat transfer of concentric tube HEX. The impact of hot fluid inlet temperature (40-50°C), cold fluid inlet temperature (15-20°C), hot/cold fluid flow rate (0.02 and 0.20 kg/s) on heat transfer characteristics, entropy generation and exergy loss are investigated and it is observed that entropy generation and exergy loss increase with increasing hot fluid flow rate and inlet temperature. A mathematical model for determination of these parameters is developed. The results of the mathematical model are compared with experimental one and it is seen that this model can predict experimental data for test operation conditions.

Dizaji et al. [13] conducted experiments to research the usage of corrugated tubes in inner and shell sides of a HEX by using exergy analysis as an evaluation method. They considered the tubes having convex and concave corrugations, various diameters and constant corrugation pitch and height. Their study showed that exergy loss increases up to 31% and 81% with the usage of corrugated tube as inner and inner/shell ones, respectively. The HEXs comprised of concave corrugated shell and convex corrugated tube have higher exergy loss results compared to other HEXs tested. It also was observed that number of transfer unit increases up to 19% and 60% with the usage of corrugated tube as inner tube and inner/shell tube compared to HEX having smooth inner/shell tubes, respectively.

Hajabdollahi et al. [14] presented exergy-based optimization study for a one shell two passes HEX by determining exergy efficiency and cost as objective functions. They aimed to specify best and optimum design parameters of considered HEX by using genetic algorithm. According to performed analysis, it can be understood that exergy destruction is an essential parameter in design of a HEX and the efforts for reduction of it increase cost. They also stated that the improvement in exergy efficiency of a STHEX results in cost increment. As another result of the study, tube layout has not significant parameter for HEX design compared to other ones.

Wang et al. [15] experimentally researched the usage of sealer in STHEX in order to minimize shell-baffle leakage flow. They used oil in shell side and water in tube side, respectively. The experiments showed that overall and shell side HTC's can be increased up to 19.7% and 25.5% with the usage of sealers in application, respectively. Although the pressure loss of shell side fluid is higher up to 48.8% compared to design having no sealer, they stated that it is reasonable increment compared to heat transfer improvement. In addition, it is pointed out that exergy efficiency of considered HEX can be improved up to 14.4%.

Esfahani and Languri [16] investigated the impact of usage graphene oxide/water nanofluid in a STHEX, experimentally. They specified thermal conductivity and viscosity of nanofluid for weight concentration of 0.01% and 0.1% and determined exergy loss of nanofluid for various flow rates and temperatures. The experiments revealed that the nanofluid thermal conductivity is increased 9% and 20% for weight concentration of 0.01% and 0.1% compared to distilled water. In addition, a HEX operated with distilled water and graphene/water nanofluid having weight concentration of 0.01% and 0.1% is compared and it is seen that with usage of nanofluid instead of distilled water augments exergy loss up to 109% in tested conditions.

Pethkool et al. [17] researched heat transfer of smooth and nine corrugated tubes having various geometrical specifications for single phase flow conditions. In the study, a concentric tube HEX is used and water is selected as working fluid both sides of it. The experiments revealed that the Nusselt number (Nu) and friction factor can be increased up to 3.01 and 2.14 times with usage of corrugated tube instead of smooth one, respectively. It is also noted that these parameters increase with rise of the rib-height ratio and pitch ratio. As another result of the study, they developed Nu and friction factor correlation having deviations of 9% and 4%, respectively.

Shirvan et al. [18] experimentally studied effectiveness of STHEX having corrugated inner tube by using means of response surface methodology. In this methodology, various cold water flow rates (11-19 L/min), hot water flow rates (7-11 L/min), wavy wavelengths (0-80 mm) and wavy starting lengths (0-120 mm), are considered and it is aimed to achieve the highest values of the overall HTC and effectiveness. It is seen that overall HTC and effectiveness reduces with improvement of the wavy starting lengths. The levels of cold-water flow rates, hot water flow rates, wavy and wavy starting lengths for maximization of HEX effectiveness and HTC are determined. Moreover, they defined new sustainability index by means of

exergy efficiency and it concluded that the smooth tube is less sustainable than corrugated one.

Dizaji et al. [19] researched heat transfer characteristics and effectiveness of concentric tube HEX having corrugated tubes in various wall tube configurations which smooth, convex and concave. In conducted experiments, they kept inlet temperatures of hot and cold water at 40°C and 8°C, respectively. They observed the heat transfer characteristics of a HEX is significantly affected with the usage of concave and convex profile corrugated tubes and HEX made of concave corrugated outer tube and convex corrugated inner tube has maximum effectiveness. In addition, they stated that friction factor and Nu increases up to 117% and 254% with the usage of the tube having corrugated profile in both side of HEX.

The main aim of the current study is to perform energy and exergy analysis of two STHEXs each of them having inner smooth and corrugated tubes. In literature, the performance of this type HEXs is generally determined with first law of thermodynamics and conducted for DPHEXs. In this study, two STHEXs having smooth and corrugated tubes are designed and the impact of hot and cold flow rates on HTC, pressure loss, outlet temperatures and energy efficiency is studied in the view of first law of thermodynamics. Moreover, the variation of exergy efficiency, exergy destruction, entropy generation due to temperature difference and pressure loss and with flow fluid rates are investigated by using the Engineering Equation Solver Software [20]. Since there are limited number of studies on evaluation of the usage of corrugated tubes in STHEX by using second law of thermodynamics, it is expected that current investigation will fill the gap in the literature.

2. Design Methodology

In the analysis, one shell and one pass STHEXs are considered and the geometric dimensions of it given in Table 1. It should be noted that HEX is operated for the various hot fluid flow rates (12-24 kg/s), hot fluid inlet temperature (90-70°C) cold fluid flow rate (in the range of 12-24 kg/s), and cold fluid inlet temperature (30-50°C). To improve thermal performance of these HEXs, smooth and corrugated tube having equivalent outside/inside diameter of 28.5/24 mm and length of 6 m are selected. The schematic representation of corrugated tube can be seen Figure 1 and it can be seen that corrugation pitch (p), corrugation height (e), helix angle (θ), outside diameter (Do) and inside diameter (Di) are the main geometric parameters of a corrugated tube. Schematic representation of considered STHEX, tube arrangement, and isometric view of are given as a in Figure 2a), Figure 2b) and Figure 2c), respectively.

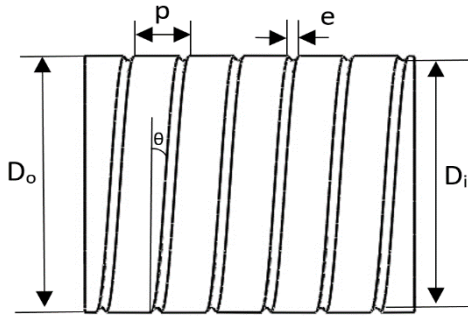


Figure 1. The schematic representation of corrugated tube

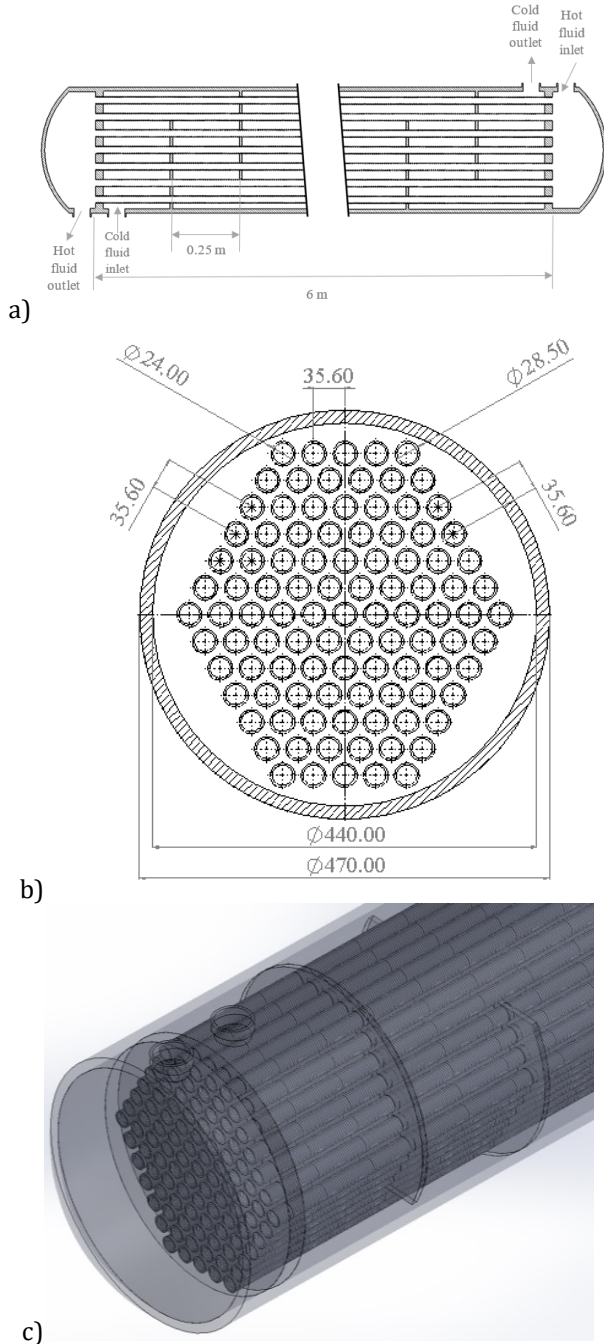


Figure 2. Schematic representation of a) considered STHEX, b) tube arrangement, and c) isometric view of STHEX

The design procedure of considered STHEX is obtained from [21], the equations are used in the calculations given as follows:

The heat transfer capacity of a HEX is estimated as follows:

$$\dot{Q} = \varepsilon \dot{Q}_{\max} \quad (1)$$

The maximum heat transfer capacity of a HEX can be estimated as follows:

Table 1. Geometric specifications of the considered HEX

| Parameter | Value |
|---|-----------------------------|
| Smooth tube outside diameter | 28.5 mm |
| Smooth tube inside diameter | 24 mm |
| Corrugated tube outside diameter | 28.5 mm |
| Corrugated tube inside diameter | 24 mm |
| Corrugation pitch | 5.5 mm |
| Rib height | 1 mm |
| Number of tubes | 101 |
| One tube length | 6000 mm |
| Tube side fouling factor | 0.000176 m ² K/W |
| Shell side fouling factors | 0.000176 m ² K/W |
| Distance between tube center | 0.03563 |
| Baffle distance | 250 mm |
| Inner surface area increment of tube compared to smooth one | %120 |
| Outer surface area increment of tube compared to smooth one | %133 |

$$\dot{Q}_{\max} = C_{\min}(T_{h,i} - T_{c,i}) \quad (2)$$

The heat capacities of hot and cold fluids are calculated as follows:

$$C_h = \dot{m}_h c_{p,h} \quad (3)$$

$$C_c = \dot{m}_c c_{p,c} \quad (4)$$

Minimum and maximum heat capacities are determined by using calculated values of hot and cold fluid heat capacities.

The energy efficiency (effectiveness) of a STHEX is calculated as follows:

$$\varepsilon = \frac{2}{1 + C + (1 + C^2)^{1/2}} \frac{1 + \exp(-NTU(1+C^2)^{1/2})}{1 - \exp(-NTU(1+C^2)^{1/2})} \quad (5)$$

The heat capacity ratio is calculated as follows:

$$C = \frac{C_{\min}}{C_{\max}} \quad (6)$$

Number of transfer unit is calculated as follows:

$$NTU = \frac{U_o A_o}{C_{\min}} \quad (7)$$

Overall HTC is calculated as follows:

$$\frac{1}{U_o A_o} = \frac{1}{h_i A_i} + \frac{R_{fi}}{A_i} + \frac{\ln(D_o/D_i)}{2\pi L_{\text{total}} k_{\text{tube}}} + \frac{R_{fo}}{A_o} + \frac{1}{h_s A_o} \quad (8)$$

HTC of hot water flowing in smooth tube is estimated as follows:

$$h_{i,smooth} = \frac{\left(\frac{f_{smooth}}{8}\right) Re_{i,smooth} Pr_i}{1.07 + 12.7 \left(\frac{f_{smooth}}{8}\right)^{0.5} (Pr_i^{2/3} - 1)} \frac{k}{D_i} \quad (9)$$

In the Eq. (9), friction factor and Reynolds numbers are determined as follows:

$$f_{smooth} = (0.79 \ln Re_{i,smooth} - 1.64)^{-2} \quad (10)$$

$$Re_{i,smooth} = \frac{\rho_i V_i D_i}{\mu_i} \quad (11)$$

HTC of hot water flowing in corrugated tube is estimated by using correlation of Pethkool et al. [7] and given as follows:

$$h_{i,corrugated} = 1.579 Re_{i,corrugated}^{0.639} Pr_i^{0.3} \left(\frac{e}{D_i}\right)^{0.46} \left(\frac{p}{D_i}\right)^{0.35} \frac{k}{D_i} \quad (12)$$

HTC of shell side estimated as follows:

$$h_{shell} = 0.36 Re_{shell}^{0.55} Pr^{1/3} \left(\frac{\mu_b}{\mu_{shell}}\right)^{0.14} \frac{k}{D_e} \quad (13)$$

Reynolds number is determined as follows:

$$Re_{shell} = \frac{G D_e}{\mu_{shell}} \quad (14)$$

The equivalent diameter of shell is estimated for triangular pitch tube layout as follows:

$$D_e = \frac{4 \left(\frac{P_T^2 \sqrt{3}}{4} - \frac{\pi D_o^2}{8}\right)}{\frac{\pi D_o}{2}} \quad (15)$$

Mass flux is determined as follows:

$$G = \frac{\dot{m}}{A_{shell}} \quad (16)$$

Shell side area is calculated as follows:

$$A_{shell} = \frac{D_{shell}(P_T - D_o)B}{P_T} \quad (17)$$

Shell diameter of HEX is estimated as follows:

$$D_{shell} = 0.637 \sqrt{\frac{CL}{CTP} \left[\frac{A_o (P_T/D_o)^2 D_o}{L} \right]^{0.5}} \quad (18)$$

In Eq. (18), CTP is equal to 0.93, 0.90, 0.85 for HEX having one, tube and three passes, respectively. Also, CL is equal to 1 and 0.87 for tube layout 45°-90° and 30°-60°, respectively.

Outlet temperature of both fluids are estimated as follows:

$$T_{h,o} = \frac{\dot{Q}}{\dot{m}_h c_{p,h}} - T_{h,i} \quad (19)$$

$$T_{c,o} = \frac{\dot{Q}}{\dot{m}_c c_{p,h}} + T_{c,i} \quad (20)$$

Tube side pressure loss for smooth tube is calculated as follows:

$$\Delta P_{i,smooth} = \left(4 f_{smooth} L \frac{N_p}{D_i} + 4 N_p\right) \rho \frac{V_i^2}{2} \quad (21)$$

Tube side pressure loss for corrugated tube is calculated as follows:

$$\Delta P_{i,corrugated} = \left(4 f_{corrugated} L \frac{N_p}{D_i} + 4 N_p\right) \rho \frac{V_i^2}{2} \quad (22)$$

Friction factor of fluid flowing in corrugated tube by using correlation of Pethkool et al. [7] and given as follows:

$$f_{corrugated} = 1.15 Re^{-0.239} \left(\frac{e}{D_H}\right)^{0.179} \left(\frac{P}{D_H}\right)^{0.164} \quad (23)$$

Shell side pressure loss is calculated as follows:

$$\Delta P_{shell} = \frac{f_{shell} G^2 (N_b + 1) D_{shell}}{2 \rho_{shell} D_e \phi} \quad (24)$$

In Eq. (18), friction factor is estimated as follows:

$$f_{shell} = \exp(0.576 - 0.19 \ln(Re_{shell})) \quad (25)$$

The performance evaluation criteria (PEC) is determined as follows:

$$PEC = \frac{(Nu_{i,corrugated}/Nu_{i,smooth})}{(f_{corrugated}/f_{smooth})} \quad (26)$$

Flow exergy of hot fluid inlet, hot fluid outlet, cold fluid inlet and cold fluid outlet is estimated as follows, respectively:

$$\dot{E}x_1 = \dot{m}_h((h_1 - h_0) - T_0(s_1 - s_0)) \quad (27)$$

$$\dot{E}x_2 = \dot{m}_h((h_2 - h_0) - T_0(s_2 - s_0)) \quad (28)$$

$$\dot{E}x_3 = \dot{m}_c((h_3 - h_0) - T_0(s_3 - s_0)) \quad (29)$$

$$\dot{E}x_4 = \dot{m}_c((h_4 - h_0) - T_0(s_4 - s_0)) \quad (30)$$

Exergy efficiency is calculated as follows:

$$\eta_{ex} = \frac{E_{x4} - E_{x3}}{E_{x1} - E_{x2}} \quad (31)$$

Entropy generation because of heat transfer for both fluids is estimated as follows, respectively [22]:

$$S_{gen,ht,h} = \dot{m}_{hot} c_{p,hot} \ln \frac{T_{h,o}}{T_{h,i}} \quad (32)$$

$$S_{gen,ht,c} = \dot{m}_c c_{p,c} \ln \frac{T_{c,o}}{T_{c,i}} \quad (33)$$

Entropy generation because of pressure loss for hot and cold fluids is estimated as follows, respectively [22]:

$$S_{gen,\Delta P,h} = \frac{\dot{m}_h}{\rho_h} \Delta P_h \quad (34)$$

$$S_{gen,\Delta P,c} = \frac{\dot{m}_c}{\rho_c} \Delta P_c \quad (35)$$

Total entropy generation is estimated as follows [22]:

$$S_{gen,total} = S_{gen,ht,h} + S_{gen,ht,c} + S_{gen,\Delta P,h} + S_{gen,\Delta P,c} \quad (36)$$

Exergy losses both fluids are determined as follows:

$$EX_{loss,h} = (S_{gen,ht,h} + S_{gen,\Delta P,h}) T_0 \quad (37)$$

$$EX_{loss,c} = (S_{gen,ht,c} + S_{gen,\Delta P,c}) T_0 \quad (38)$$

Total exergy loss of HEX is calculated as follows:

$$EX_{loss,t} = EX_{loss,h} + EX_{loss,c} \quad (39)$$

3. Results and Discussion

In HEX design, the usage of the tubes having enhanced surfaces are preferred in order to improve thermal performance of HEX. For this purpose, it is necessary to increase HTC of working fluids with various active and passive heat transfer enhancement methods. The analysis of a HEX is generally presented with the consideration of the first law of thermodynamics with the calculation of fluid temperatures and pressure losses. In addition, it is very important to take into consideration of irreversibilities or entropy generation in the view of the second law of thermodynamics. It should be noted that temperature difference, fluid mixing and pressure loss are the main reasons of entropy generations for a HEX [1]. In the evaluation of a HEX performance, it is also important to determine these parameters by means of second law of the thermodynamics. To determine thermal performance of a STHEX having smooth and corrugated inner tubes, various parameters such as HTCs, pressure loss, efficiency, entropy generation due to heat transfer/pressure loss and exergy losses are estimated by using equations given previous paragraphs.

Figure 3a) shows the variation of tube side HTC of inner smooth and corrugated tubes for various hot fluid flow rates which are corresponding to Reynolds number of 17969-35397. Tube side HTC of smooth and corrugated tubes are estimated by using Eq. (9) and Eq. (12), respectively. It should be noted that cold fluid flow rate and velocity is kept constant as 18 kg/s and 0.87 m/s, respectively. It is observed that HTC augments with increment of fluid flow rate because of rise in the fluid velocity. Also, it can be concluded that tube HTC rises in the range between 38%-53% with increasing flow rate and with the usage of corrugated inner tube instead of smooth one. This increment can be explained with fluid mixing and secondary flows obtained by means of the corrugations. Also, Figure 3b) represents the impact of hot fluid flow rate overall HTC of HEX. It is determined by considering outer diameter area of tubes and by means of Eq. (8).

Since tube side HTC is improved with the usage of corrugated tube instead of smooth one, overall HTC is also increased with the rise of hot fluid flow rate. The improvement in overall HTC has the maximum value of 9% for the lower hot fluid flow rate.

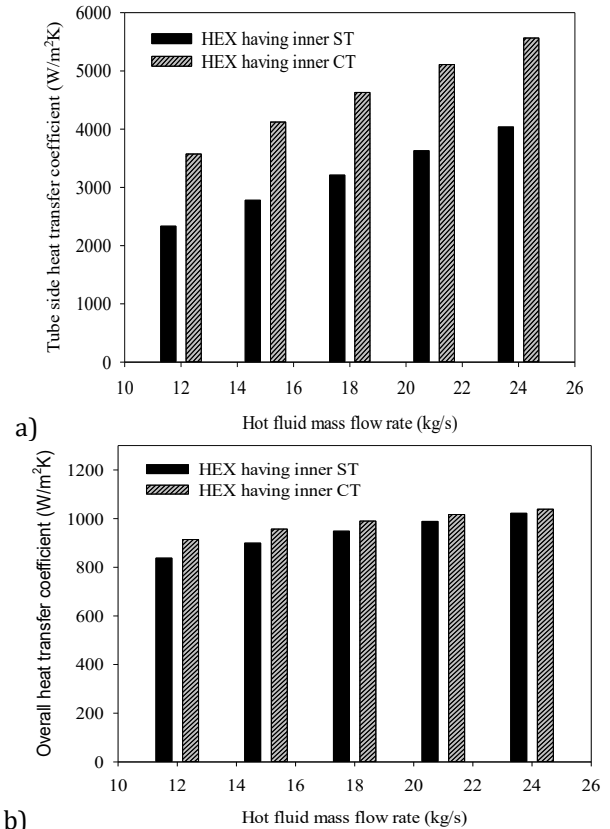


Figure 3. The impact of hot fluid flow rate on tube side convective HTC and overall HTC for HEX operation conditions of a) $m_c=18$ kg/s, $T_{c,i}=30^\circ\text{C}$, $m_c=18$ kg/s, b) $m_c=18$ kg/s, $T_{h,i}=90^\circ\text{C}$, $m_c=18$ kg/s

Figure 4 illustrates the variation of tube side pressure loss of inner smooth and corrugated tubes for various hot fluid flow rates. Tube side pressure loss for smooth and corrugated tubes are calculated by means of the Eq. (21) and Eq. (22), respectively. It is shown that the

usage of corrugated inner tube instead of smooth one is resulted in higher pressure loss and it increases with the increment of flow rate. It is specified that pressure loss of corrugated tube has 1.6 times higher pressure loss compared to smooth one for the highest flow rate because of increased friction surfaces of corrugation where the cold fluid pressure loss is constant value of 32 kPa.

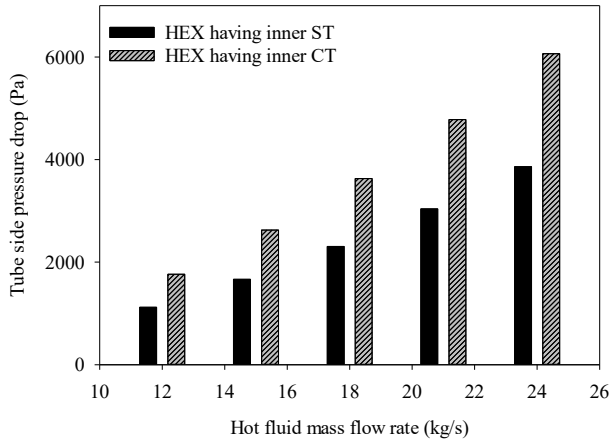
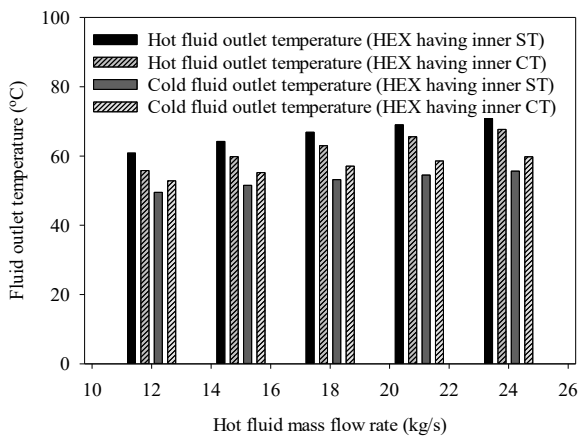
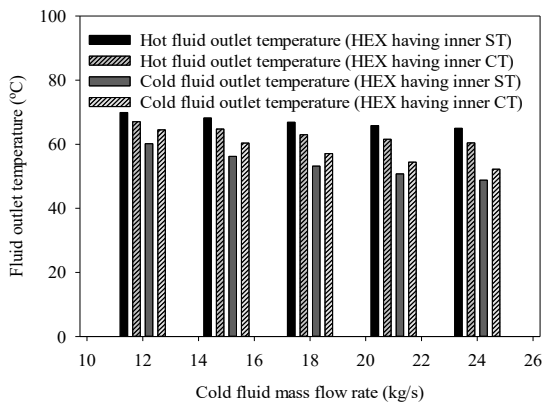


Figure 4. The impact of hot fluid flow rate on tube side pressure drop for HEX operation conditions of $m_c=18\text{ kg/s}$, $T_{c,i}=30^\circ\text{C}$, $m_c=18\text{ kg/s}$



a)



b)

Figure 5. The impact of fluid inlet temperatures on fluid outlet temperature for HEX operation conditions of a) $m_c=18\text{ kg/s}$, $T_{c,i}=30^\circ\text{C}$, $m_c=18\text{ kg/s}$, b) $m_c=18\text{ kg/s}$, $T_{h,i}=90^\circ\text{C}$, $m_c=18\text{ kg/s}$

Figures 5a) and 5b) compare the influence of flow rates on fluid outlet temperatures HEXs working

constant hot fluid inlet temperature of 90°C and cold fluid inlet temperature of 30°C , respectively. In order to reveal the impact of corrugated tube usage on outlet temperature of HEX, the outlet temperatures of fluids for the HEX having inner smooth and corrugated tubes are determined by means of the Eq. (19) and Eq. (20), respectively. According to Figure 5a), the outlet temperature of hot fluid decreases up to approximately 5°C the usage of corrugated tube instead of smooth one where the outlet temperature of cold fluid rises nearly 4°C for various flow rates of hot fluid. Figure 5b) depict that the outlet temperature of hot fluid decreases up to approximately 4.5°C the usage of corrugated tube instead of smooth one where the outlet temperature of cold fluid rises nearly 4.3°C for various flow rates of cold fluid. It is revealed that the difference between inlet and outlet temperatures reduces with the increment of flow rate for both HEX having smooth and corrugated tubes. These results imply that the energy efficiency of a STHEX can be improved with the usage of corrugated tubes instead of smooth ones.

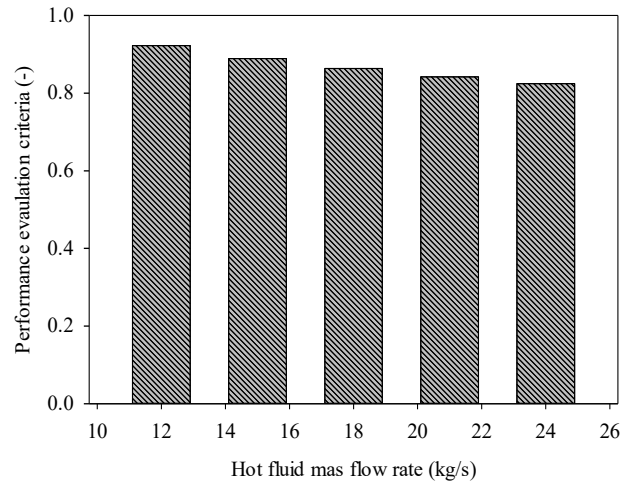


Figure 6. The variation of PEC with hot fluid mass flow rate

Figure 6 depict the variation performance evaluation criteria, which is estimated by using Eq. (26), with hot fluid mass flow rate and it is reduced with rise of mass flow rate. Since the increment of smooth and corrugated tube friction factor ratio value is higher than smooth and corrugated tube HTC ratio for higher mass flow rates, it is decreased from 0.92 to 0.82.

Figures 7a) and 7b) show the impact of fluid flow rates on HEX energy efficiency, respectively. The energy efficiency value is estimated by using Eq. (5) and it can be observed from these figures that the energy efficiency of a HEX is significantly affected by fluid flow rates. In Figure 7a), the energy efficiencies of both HEXs having smooth and corrugated tubes is compared and it is seen that the highest energy efficiency values are determined for the hot fluid flow rate of 12 kg/s and obtained as 48% and 56% for HEX having inner smooth and corrugated tubes, respectively.

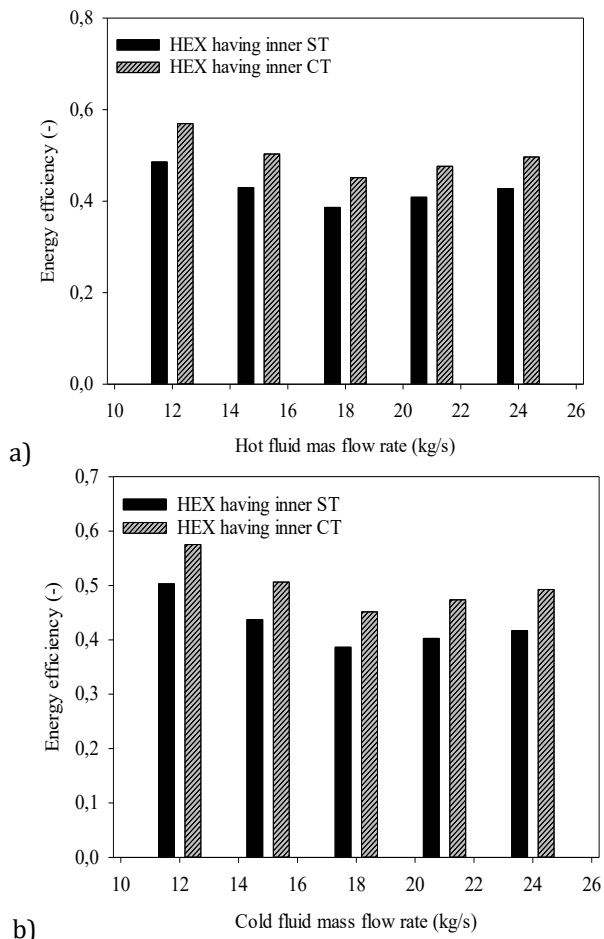


Figure 7. The impact of fluid flow rates on energy efficiency for HEX operation conditions of a) $m_c = 18$ kg/s, $T_{c,i} = 30^\circ\text{C}$, $m_c = 18$ kg/s, b) $m_c = 18$ kg/s, $T_{h,i} = 90^\circ\text{C}$, $m_c = 18$ kg/s

The impact of cold flow rate on energy efficiencies of both HEXs having smooth and corrugated tubes are also evaluated in Figure 7b) and it is observed that the highest energy efficiency values are determined for the cold fluid flow rate of 12 kg/s and obtained as 50% and 57% for HEX having inner smooth and corrugated tubes, respectively. These enhancements can be explained with hot fluid outlet temperature reduction and cold fluid outlet temperature increment in all cases.

Figures 8a) and 8b) represent exergy efficiency of considered HEXs having inner smooth and corrugated tubes, respectively. The exergy efficiency value is estimated by using Eq. (31) and it can be understood from the figures that energy and exergy efficiencies of HEX is increases with the usage of corrugated tube instead of smooth one because of heat transfer improvement. In Figure 8a), the highest values of exergy efficiency are obtained for the hot fluid flow rate of 12 kg/s and obtained as 32% and 37% for HEX having inner smooth and corrugated tubes, respectively. In Figure 8b), the highest values of exergy efficiency are obtained for the cold fluid flow rate of 12 kg/s and obtained as 40% and 45% for HEX having inner smooth and corrugated tubes, respectively.

Figures 9a) and 9b) show the impact of flow rates on entropy generation of fluids due to heat transfer for HEXs for constant hot and cold fluid inlet temperatures, respectively. Entropy generation because of heat transfer is calculated by using Eq. (32) and Eq. (33) for fluids flowing in smooth and corrugated tubes, respectively. These figures show that entropy generation of HEXs due to heat transfer and increases with the usage of corrugated tube compared to smooth one since secondary flows formed by corrugations. The entropy generation because of heat transfer of HEXs having smooth and corrugated tubes is increased up to 5% and 6%, respectively. This augmentation is the result of variation of outlet temperatures since secondary flows help to reduce thermal boundary layer thickness.

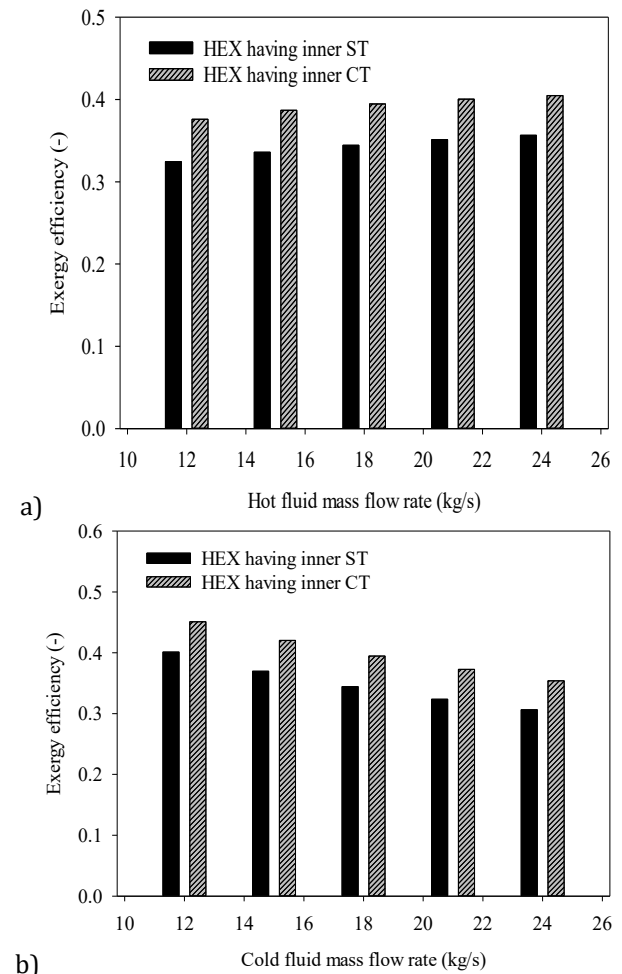


Figure 8. The impact of fluid flow rates on exergy efficiency for HEX operation conditions of a) $m_c = 18$ kg/s, $T_{c,i} = 30^\circ\text{C}$, $m_c = 18$ kg/s, b) $m_c = 18$ kg/s, $T_{h,i} = 90^\circ\text{C}$, $m_c = 18$ kg/s

The variation of the entropy generation of fluids due to pressure loss for considered HEXs is given in Figure 10a) and 10b) for various flow rates of hot and cold fluids, respectively. Entropy generation due to pressure loss is determined by using Eq. (34) and Eq. (35) for fluids flowing in smooth and corrugated tubes, respectively. These figures show that entropy generation of both hot and cold fluid due to pressure

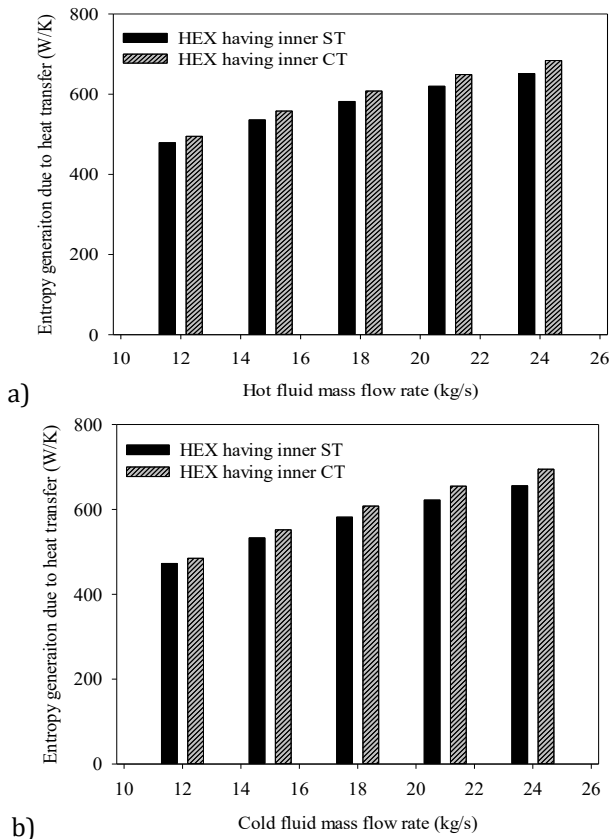


Figure 9. The effect of fluid flow rates on exergy efficiency for HEX operation conditions of a) $m_c= 18$ kg/s, $T_{c,i}=30^\circ\text{C}$, $m_c= 18$ kg/s, b) $m_c= 18$ kg/s, $T_{h,i}=90^\circ\text{C}$, $m_c= 18$ kg/s

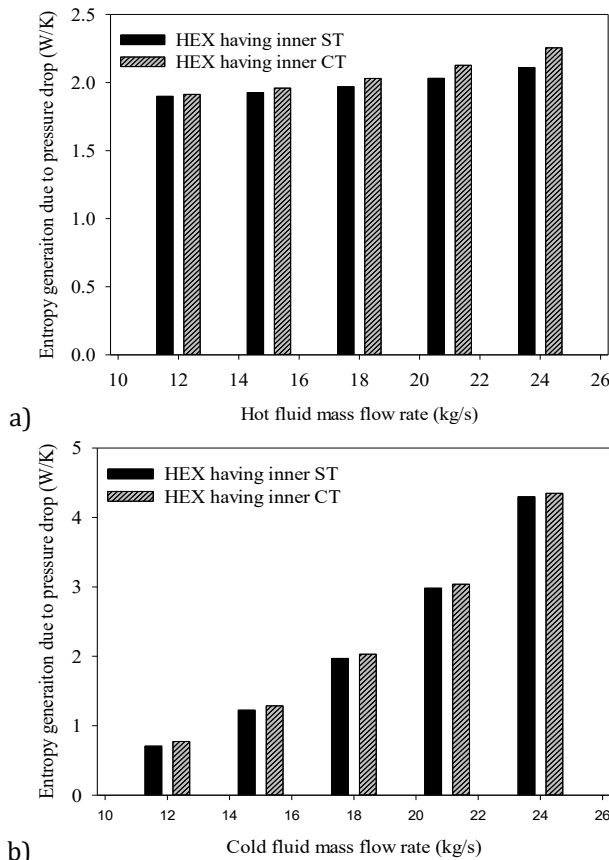


Figure 10. The effect of fluid flow rates on entropy generation due to a) heat transfer and b) pressure drop for HEX operation conditions of a) $m_c= 18$ kg/s, $T_{c,i}=30^\circ\text{C}$, $m_c= 18$ kg/s, b) $m_c= 18$ kg/s, $T_{h,i}=90^\circ\text{C}$, $m_c= 18$ kg/s

loss augments with the usage of corrugated tube compared to smooth one since corrugations contribute turbulence and mixing flow. It is seen that entropy generation of hot and cold fluids due to pressure loss increases up to 7% and 9%, respectively. It also can be understood that entropy generation due to pressure loss is much lower than entropy generation due to heat transfer so it can be neglected in the second law analyses of HEXs.

Figures 11a) and 11b) depict the impact of fluid flow rates on total exergy destruction for HEXs for constant hot and cold fluid inlet temperatures, respectively. It is determined by using Eq. (39) and considering entropy generation due to heat transfer and pressure loss of hot and cold fluids. These figures present that total exergy destruction of HEX increases with the usage of corrugated tubes instead of smooth ones and it can be explained with the higher entropy generation results for corrugated tubes. In addition, the impact of fluid inlet temperature on total exergy destruction results are given in Table 2.

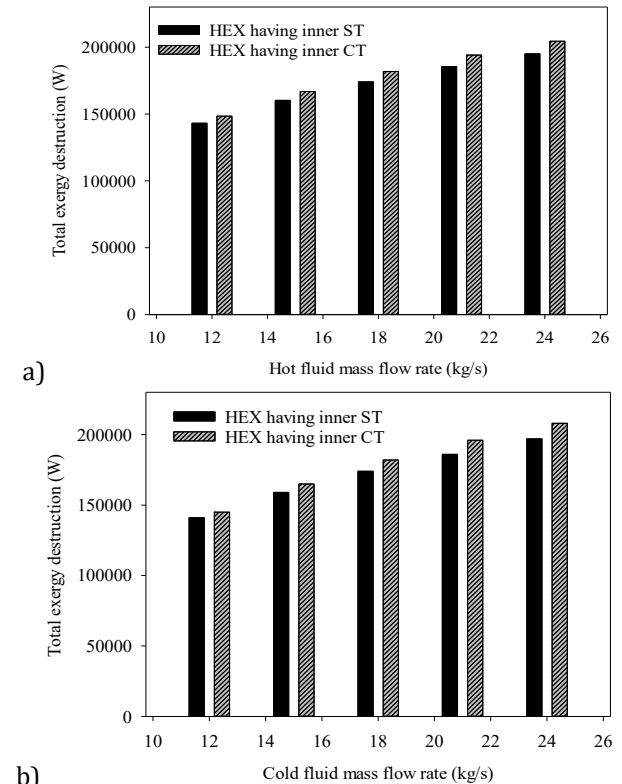


Figure 11. The impact of fluid flow rates on exergy destruction for HEX operation conditions of a) $m_c= 18$ kg/s, $T_{c,i}=30^\circ\text{C}$, $m_c= 18$ kg/s, b) $m_c= 18$ kg/s, $T_{h,i}=90^\circ\text{C}$, $m_c= 18$ kg/s

4. Conclusion

In HEX design and sizing, it is important to use tubes having enhanced surfaces in order to reduce HEX size and effectiveness. Besides calculations heat transfer characteristics, exergy analysis can be used as key parameter in the performance determination of a HEX. In the current study, the usage of corrugated tubes, which is one of the tubes having enhanced surfaces, in a STHEx is parametrically investigated. The points

which can be concluded from current study given as follows:

- The HEX having corrugated tubes has 1.53 times higher tube side HTC compared to smooth ones since fluid mixing and secondary flows obtained by means of the corrugations.
- The HEX having corrugated tubes has 1.6 times higher tube side pressure loss compared to smooth ones.
- The difference between hot and fluid outlet temperature of HEXs having both smooth and corrugated inner tubes are compared and it is observed that the difference can be diminished with the application of corrugated tubes instead of smooth ones.
- The performance evaluation criteria value is determined between 0.92 and 0.82 and it can be increased by using corrugated tubes having higher heat transfer area and lower friction factor value.
- Both the energy and exergy efficiencies of the HEX can be improved up 17% and 18%, respectively.
- The improvements in heat transfer, energy and exergy efficiencies of considered HEXs can be explained with the fluid mixing and secondary flows obtained by means of the corrugations rather than heat transfer area increment.
- The entropy generation due to pressure loss can be ignored in the second law analysis of HEXs.
- The total exergy destructions of HEXs having smooth and corrugated tubes are compared and it is seen that the HEX having corrugated tubes has higher the total exergy destruction compared to smooth ones.
- Although higher entropy generation and total exergy destruction results of the HEX having corrugated tubes, it is very important to use enhanced surfaces since they decrease difference between hot and cold fluid outlet temperatures which is directly related to performance of it.

Nomenclature

| | |
|---------------|---|
| A_o | Heat transfer surface area based on outside diameter of tube, m^2 |
| B | Baffle distance, m |
| C | Heat capacity ratio |
| $c_{p,c}$ | Specific heat capacity of hot fluid, J/kgK |
| $c_{p,h}$ | Specific heat capacity of hot fluid, J/kgK |
| C_c | Heat capacity of cold fluids, W/K |
| C_h | Heat capacity of hot fluids, W/K |
| C_{min} | Minimum heat capacity of fluids, W/K |
| Do | Smooth tube outside diameter, m |
| Di | Smooth tube outside diameter, m |
| De | Corrugated tube equivalent diameter, m |
| Ds | Shell side diameter, m |
| Ex | Exergy of fluid, W |
| $Ex_{loss,h}$ | Exergy loss of hot fluid, W |
| $Ex_{loss,c}$ | Exergy loss of cold fluid, W |
| $Ex_{loss,t}$ | Total exergy loss of heat exchanger, W |

| | |
|---------------------------|---|
| e | Rib height, m |
| f_{smooth} | Friction factor for smooth tube |
| f_{shell} | Friction factor for shell side |
| $f_{corrugated}$ | Friction factor for corrugated tube |
| G | mass flux, kg/m^2s |
| h | enthalpy of fluid, J/kg |
| h_i | Tube side heat transfer coefficient, W/m^2K |
| $h_{i,corrugated}$ | Tube side heat transfer coefficient for corrugated tube, W/m^2K |
| $h_{i,smooth}$ | Tube side heat transfer coefficient for smooth tube, W/m^2K |
| h_{shell} | Shell side heat transfer coefficient, W/m^2K |
| k_{tube} | Thermal conductivity of tube, W/mK |
| L | One tube length, m |
| L_{total} | Total tube length, m |
| \dot{m}_c | flow rate of cold fluid, kg/s |
| \dot{m}_h | flow rate of hot fluid, kg/s |
| $Nu_{i,smooth}$ | Nusselt number of smooth tube |
| $Nu_{i,corrugated}$ | Nusselt number of corrugated tube |
| N_p | number of pass of heat exchanger |
| n | Number of tubes |
| $Re_{i,smooth}$ | Tube side Reynolds number of flow for smooth tube |
| Re_{shell} | Shell side Reynolds number of flow |
| p | Corrugation pitch, m |
| Pr_i | Tube side Prandtl number of fluid |
| P_T | Distance between tube center, m |
| R_{fi} | Tube side fouling factor, m^2K/W |
| R_{fo} | Shell side fouling factor, m^2K/W |
| s | entropy, J/kgK |
| \dot{Q} | Heat transfer capacity of a HEX, kW |
| \dot{Q}_{max} | Maximum heat transfer capacity of a HEX, kW |
| $S_{gen,ht,h}$ | Entropy generation due to heat transfer hot fluid, W/K |
| $S_{gen,ht,c}$ | Entropy generation due to heat transfer hot fluid, W/K |
| $S_{gen,\Delta P,h}$ | Entropy generation due to pressure loss for hot fluid, W/K |
| $S_{gen,\Delta P,c}$ | Entropy generation due to pressure loss for cold fluid, W/K |
| $S_{gen,total}$ | Total entropy generation, W/K |
| $T_{c,i}$ | Cold fluid inlet temperature, $^{\circ}C$ |
| $T_{c,o}$ | Cold fluid outlet temperature, $^{\circ}C$ |
| $T_{h,i}$ | Hot fluid inlet temperature, $^{\circ}C$ |
| $T_{h,o}$ | Hot fluid outlet temperature, $^{\circ}C$ |
| U_o | Overall heat transfer coefficient based on outside area of tube |
| V_i | Velocity of tube side fluid, m/s |
| ϵ | Effectiveness of HEX |
| ρ_i | density of tube side fluid, kg/m^3 |
| ρ_{shell} | density of shell side fluid, kg/m^3 |
| η_{ex} | Exergy efficiency |
| μ_b | Viscosity of tube side fluid for bulk temperature, Ns/m^2 |
| μ_i | Viscosity of tube side fluid, Ns/m^2 |
| μ_{shell} | Viscosity of shell side fluid, Ns/m^2 |
| $\Delta P_{i,smooth}$ | Tube side pressure loss for smooth tube, Pa |
| $\Delta P_{i,corrugated}$ | Tube side pressure loss for corrugated tube, Pa |
| ΔP_{shell} | Shell side pressure loss, Pa |
| ΔP_h | Pressure loss of hot fluid, Pa |
| ΔP_c | Pressure loss of cold fluid, Pa |

Declaration of Ethical Code

In this study, we undertake that all the rules required to be followed within the scope of the "Higher Education Institutions Scientific Research and Publication Ethics Directive" are complied with, and that none of the actions stated under the heading "Actions Against Scientific Research and Publication Ethics" are not carried out.

References

- [1] Shah, R. K., Sekulić, D. P. 2003. Fundamentals of Heat Exchanger Design. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- [2] Serth, R. W. 2007. Process heat transfer: Principles and applications. Amsterdam: Elsevier Academic Press.
- [3] Ralph L Webb, L. R. 1994. Principles of enhanced heat transfer, Wiley New York.
- [4] Laohalertdecha, S., Wongwises, S. 2010. The effects of corrugation pitch on the condensation heat transfer coefficient and pressure drop of R-134a inside horizontal corrugated tube. International Journal of Heat and Mass Transfer, 53(13-14), 2924-2931
- [5] Kareem, Z. S., Jaafar, M. M., Lazim, T. M., Abdullah, S., Abdulwahid, A. F. 2015. Passive heat transfer enhancement review in corrugation. Experimental Thermal and Fluid Science, 68, 22-38.
- [6] Ajeel, R. K., Salim, W. I., Hasnan, K. 2018. Thermal and hydraulic characteristics of turbulent nanofluids flow in trapezoidal-corrugated channel: Symmetry and zigzag shaped. Case Studies in Thermal Engineering, 12, 620-635.
- [7] Darzi, A. A. R., Farhadi, M., Sedighi, K. 2014. Experimental investigation of convective heat transfer and friction factor of Al₂O₃/water nanofluid in helically corrugated tube. Experimental Thermal and Fluid Science, 57, 188-199.
- [8] Dincer, I. 2002. The role of exergy in energy policy making, Energy Policy, 30, 37-49.
- [9] Bejan, A., Tsatsaronis, G., Moran, M. 1996. Thermal Design & Optimization; Wiley: New York.
- [10] Kotas, T.J. 1995. The Exergy Method of Thermal Plant Analysis; Krieger Publishing Company: Malabar, FL, USA.
- [11] Mert, S. O., Reis, A. 2016. Experimental performance investigation of a shell and tube heat exchanger by exergy-based sensitivity analysis. Heat and Mass Transfer, 52(6), 1117-1123.
- [12] Naphon, P. 2006. Second law analysis on the heat transfer of the horizontal concentric tube heat exchanger. International Communications in Heat and Mass Transfer, 33(8), 1029-1041.
- [13] Dizaji, H. S., Jafarmadar, S., Asaadi, S. 2017. Experimental exergy analysis for shell and tube heat exchanger made of corrugated shell and corrugated tube. Experimental Thermal and Fluid Science, 81, 475-481.
- [14] Hajabdollahi, H., Ahmadi, P., Dincer, I. 2012. Exergetic optimization of shell-and-tube heat exchangers using NSGA-II. Heat Transfer Engineering, 33(7), 618-628.
- [15] Wang, S., Wen, J., Li, Y. 2009. An experimental investigation of heat transfer enhancement for a shell-and-tube heat exchanger. Applied Thermal Engineering, 29(11-12), 2433-2438.
- [16] Esfahani, M. R., Languri, E. M. 2017. Exergy analysis of a shell-and-tube heat exchanger using graphene oxide nanofluids. Experimental Thermal and Fluid Science, 83, 100-106.
- [17] Pethkool, S., Eiamsa-Ard, S., Kwankaomeng, S., Promvonge, P. 2011. Turbulent heat transfer enhancement in a heat exchanger using helically corrugated tube. International Communications in Heat and Mass Transfer, 38(3), 340-347.
- [18] Shirvan, K. M., Mamourian, M., & Esfahani, J. A. 2019. Experimental study on thermal analysis of a novel shell and tube heat exchanger with corrugated tubes. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 138(2), 1583-1606.
- [19] Dizaji, H. S., Jafarmadar, S., Mobadersani, F. 2015. Experimental studies on heat transfer and pressure drop characteristics for new arrangements of corrugated tubes in a double pipe heat exchanger. International Journal of Thermal Sciences, 96, 211-220.
- [20] S. A. Klein, Engineering Equation Solver (EES), F-Chart Software, Middleton.
- [21] Kakaç, S., Liu, H., Pramuanjaroenkij, A. 2012. Heat Exchangers Selection, Rating, and Thermal Design, Third Edition.
- [22] Manjunath, K., Kaushik, S.C. 2014. Second law thermodynamic study of heat exchangers: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 40, 2014, 348-374.

Örnek Bölütlemesi ile Nesne ve Renk Sınıflandırması

Ahmet ÖZCAN*¹ , Ömer ÇETİN¹ 

¹Milli Savunma Üniversitesi, Hezârfen Havacılık ve Uzay Teknolojileri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İstanbul, Türkiye

(Alınış / Received: 15.11.2021, Kabul / Accepted: 16.03.2022, Online Yayınlanma / Published Online: 20.04.2022)

Anahtar Kelimeler

Renk tespiti,
Örnek bölütlemesi,
Evrişimsel ağlar,
Makine öğrenmesi

Özet: Görüntü üzerinde nesne tespit ve sınıflandırma uygulamaları görüntü işleme alanında ele alınan temel konulardandır. Otonom araçlar ve görsel takip sistemleri gibi popüler uygulamalarda ihtiyaç duyulan nesne tespit ve sınıflandırma işlemlerinin gerçekleştirilmesinde evrişimsel sinir ağları, hesaplama performansı (hızı) ve başarımı ile öne çıkmaktadır. Ancak nesne tespit ve sınıflandırma işlemleri aynı tip nesnelerin renk gibi farklı özellik çıkarımlarından yoksun olmaktadır. Bu durumun temelinde ise nesne tipi aynı olsa da her bir rengin yeni bir sınıf olarak ağa tanıtılması gerekliliğidir. Tespit edilen nesnenin renk bilgisini edinmenin bir diğer yolu ise nesneye ait görüntüyü piksel seviyesinde işlemektir. Piksel seviyesinde yapılacak işlemlerin doğruluğunu arttırmak için nesne tespitinin yanında bölütme işlemi de yapılarak tespit edilen nesnenin sınırlarını net olarak belirlemek gereklidir. Tespit edilen nesnenin rengi tespit edilen nesne sınırları içerisindeki piksel yoğunluk değerleri ile sınıflandırılabilir. Bu çalışmada evrişimsel sinir ağları ile gerçekleştirilen örnek bölütlemesi sonrası piksel bilgilerine dayalı renk sınıflandırması yapılarak nesnelerin sınıflarının yanı sıra renkleri de tespit edilebilmiştir. Ortaya konulan yaklaşımın başarısı deneysel olarak sınanmış ve etkin bir yöntem sunularak literatüre katkıda bulunulmuştur.

Object and Color Classification with Instance Segmentation

Keywords

Color detection
Instance segmentation,
Convolutional networks,
Machine learning

Abstract: One of the main issues in the computer vision field is the applications of object detection and classification. Convolutional neural networks stand out due to its computational performance (speed) and accuracy to realize object detection and classification processes needed in popular applications such as autonomous vehicles and surveillance systems. However, object detection and classification processes lack different feature extractions like the colors of the same types of objects. The reason behind this is each color is required to be defined as a new class in the network even if the object category is the same. Another way to obtain the color data of the detected object is to process the related image at the pixel level. In order to improve the accuracy of the methods to be performed at the pixel level, it is necessary to clearly define the boundaries of the detected object by using segmentation as well as object detection. The color of the object can be classified with the pixel intensity values of the image in detected object boundaries. In this study, after the instance segmentation is carried out with convolutional neural networks, color classification based on pixel information is performed and the colors of the objects is determined as well as their classes. The success of the proposed approach has been tested experimentally and contributed to the literature by presenting an effective method.

1. Giriş

Görüntü işleme ve bilgisayar görüşü açısından ele alındığında görüntü bölütleme (segmentasyon), bir sayısal görüntüyü birden çok bölüme (görüntü nesnelere olarak da bilinen piksel kümelerine) ayırma

işlemi olarak tanımlanabilir. Bu işlemin amacı, bir görüntünün temsilini basitleştirmek ve/veya daha anlamlı bir temsil şeklinde sunum haline getirerek analizini daha kolay duruma dönüştürmektir. Görüntü bölütleme genellikle görüntüde yer alan nesnelere tespit etmek ve birbirlerinden ayrıldıkları sınırları

*İlgili yazar: iletisim@ahmetozcan.com

(çizgiler, eğriler vb.) bulmak amacıyla kullanılır. Diğer bir ifade ile bölütleme aynı nesneye ait görüntüdeki piksellere ortak bir etiket atama çabasıdır.

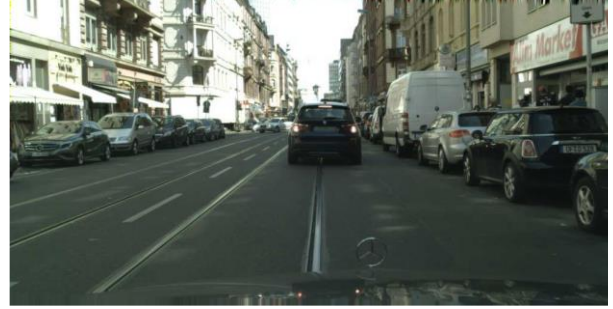
Nesne tespit ve sınıflandırma uygulamaları, otonom araçların çevresel farkındalığının sağlanması, görüntü işleme tabanlı tespit ve teşhis sistemlerinin oluşturulması gibi yeni nesil teknolojilerde yaygın olarak faydalanılan ve üzerinde çalışılan yaygın araştırma konularındandır [1]. Özellikle gerçek zamanlı çalışma ihtiyacı duyulan uygulamalarda nesne tespit ve sınıflandırma işlemlerinin gerçekleştirilmesinde etkin olarak derin öğrenme yöntemleri kullanılmakta, benzer işleve sahip diğer tekniklere istinaden hesaplama performansı (hızı) ve nesne tespit başarısı ile bu yöntemin öne çıktığı görülmektedir [2-5].

Görüntüde yer alan nesnelerin birbirlerinden ayrılması ve nesnelere ait piksellerin gruplanması için görüntü bölütleme yöntemlerinden, bu nesnelerin etiketlenmesi ve adlandırılması amacıyla da yaygın olarak derin öğrenme yöntemleri arasında yer alan evrişimsel sinir ağlarından yararlanılmaktadır [6]. Evrişimsel sinir ağlarının her geçen gün kullanım alanı bu nedenlerle giderek genişlemektedir.

Nesne tespit ve sınıflandırma işlemleri genellikle nesnelerin renk gibi farklı özelliklerinden yoksun olarak gerçekleştirilmektedir. Örneğin nesne tespit ve sınıflandırma yaklaşımları ile sayısal bir görüntü üzerinde yer alan arabaların bulunmasına yönelik literatürde çok sayıda çalışmaya [7-8] rastlamak mümkünken, tespit edilen arabaların renklerinin çıktı olarak üretilebildiği hatta sadece belirli bir renkte araçların tespit edilmesine yönelik gerçekleştirilen çalışmalara rastlamak çok daha nadirdir [9].

Renk bilgisine göre sınıflandırma yapabilmek için en temel yaklaşım kullanılan ağın aynı nesneye ait farklı renklerde veri içeren veri setleri ile ayrı ayrı eğitilmiş olmasıdır. Böylece aynı nesnenin farklı renklerdeki varyasyonları artık evrişimsel sinir ağı için birbirlerinden farklı etiketler alabilen renkli görüntü bileşenleri haline gelecektir. Ancak, bu yaklaşım her ne kadar teoride uygulanabilir olsa dahi pratikte çeşitli zorluklarla karşılaşmaktadır. Çünkü bir nesnenin doğada hangi renklerde bulunabileceği oldukça geniş bir değer aralığı alabilmektedir. Tüm bu farklı renk seçeneklerini içeren çok sayıda nesne için bir eğitim seti üretilmesi gerekmektedir. Ayrıca evrişimsel sinir ağının bu tip bir veri seti ile eğitilmesi zaman maliyeti açısından oldukça yüksek bir sonuca sebebiyet vermektedir. Bu yöntemde veri setinin oluşturulması aşamasında aynı nesneye yönelik farklı renklerdeki verilerin gerekliliği ve etiketlenmesi başlı başına bir zorluk olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu zorluk aşılabilir tanımlanabilen renklerin kısıtlı kalacağı düşünülebilir. Bu sebepten ötürü öncelikle nesnenin tespit edilip sonrasında nesnenin renginin tespit edilmesi sinir ağının eğitim sürecinde ek yük

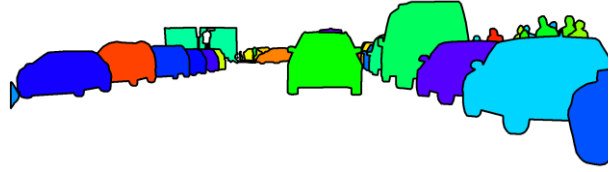
getirmeyecektir. Ayrıca renk tespiti konusunda yapılacak çalışmalarda da farklı renkler ve renk grupları için tanımlamalar yapılarak probleme özel çözümler de geliştirilebilir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 1. (a) Sayısal görüntü, (b) anlamsal bölütleme ve (c) örnek bölütlemesi [10]

Tespit edilen nesnenin renk bilgisi özelliğini edinmenin bir diğer yolu ise nesneye ait görüntünün piksel seviyesinde renk bilgilerini işlemektir. Ancak bu yöntemin etkin olarak işleyebilmesi için ilk olarak piksel seviyesinde yapılacak işlemlerin doğruluğunu arttırmak amacıyla nesne tespitinin yanında hassas bir bölütme işlemi de yapılarak tespit edilen nesnenin sınırlarının net biçimde ortaya konulması gerekmektedir. Aksi takdirde nesneye ait olmayan piksel değerleri renk kararını olumsuz olarak kolaylıkla etkileyebilecektir. Belirlenen nesne sınırları içerisindeki piksel bilgilerinden yola çıkılarak nesnenin rengi sınıflandırılabilir. Ancak bu yöntemin bir diğer ihtiyacı da kümeleme işlemi sonrasında elde edilen nesneye ait en yoğun renk değerinin tespit edilmesidir.

Bu çalışmada evrişimsel sinir ağları ile gerçekleştirilen örnek bölütlemesi sonrası piksel bilgilerine dayalı renk sınıflandırması yapılarak nesnelerin sınıflarının yanı sıra renklerinin de tespit edilebilmesi

sağlanmıştır. Çalışmanın ikinci bölümünde, ortaya konulan yaklaşımın gerçekleştirilmesi esnasında faydalanılan yöntemler bir süreç dahilinde tanımlanmıştır. Bir sonraki bölümde, yaklaşımın başarısı sınanmış ve sonuçlar irdelenmiştir. Son bölümde ise çalışma kapsamında geliştirilen yaklaşımının sağladığı avantajlar ile potansiyel kullanım alanlarına değinilerek hem bu konu üzerinde yapılabilecek çalışmalar hem de yaklaşımın benzer bilgi çıkarımlarına yönelik uygulanabilirliği ortaya konulmuştur.

1.1 Literatür özeti

Literatür incelendiğinde, sayısal bir görüntü üzerinde yer alan nesnelerin bölgelerinin belirlenmesi işleme bölütleme (segmentation) adı verildiği görülmektedir [6]. Görüntü bölütleme işlemi; anlamsal (semantic) ve örnek (instance) olarak iki alt alana ayrılabilir [11]. Genellikle sayısal görüntü üzerinde nesne tespiti uygulamalarında görüntüdeki nesnelere ayrı ayrı tespit edilmeye çalışılır ve her biri ayrı bir minimum çevreleyen çerçeve içerisine alınarak birbirlerinden ayrılmaya çalışılmaktadır. Anlamsal bölütlemeye bağlantılı nesne gruplarına istinaden ortak bölgeler belirlenmektedir. Örnek bölütlemesinde ise her bir nesnenin bölgesi bağımsız olarak belirlenir.

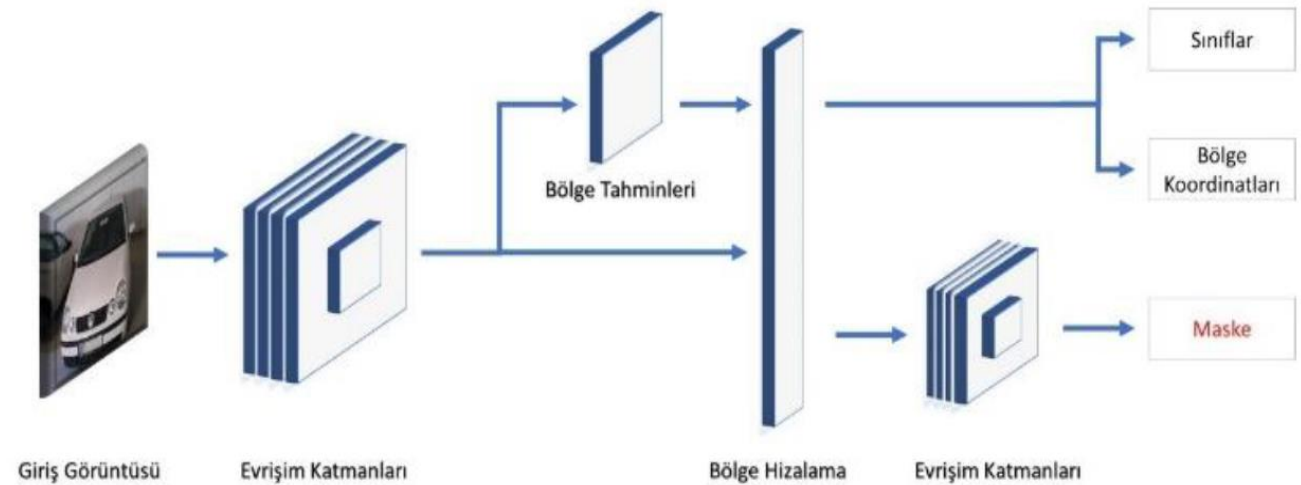
Örneğin Şekil 1'de yer alan üç farklı görüntü incelendiğinde, aynı sayısal görüntü üzerinde uygulanmış anlamsal bölütleme ve örnek bölütlemesi işlemlerinin farkları görülebilmektedir. Şekil incelendiğinde, çalışma kapsamında etkin olarak faydalanılacak yaklaşımın örnek bölütlemesi olduğu görülmektedir. Burada her bir nesne ayrı ayrı tanımlanmış ve bölgeleri ortamdaki net biçimde ayırt edilebilmiştir.

Örnek bölütlemesi konusunda literatür incelendiğinde farklı uygulama yaklaşımları olduğu

görülebilmektedir [12-15]. Çalışma kapsamında Tablo 1 ile gösterilen yaygın kullanımı olan örnek bölütleme yöntemleri incelenmiş ve karşılaştırılmıştır. Bunlar arasından, Facebook yapay zekâ ekibi tarafından önerilen Mask R-CNN gerçekleştirilen çalışmalarda yaygın olarak tercih edilen yaklaşım olarak ön plana çıkmaktadır [13]. Alışıl gelmiş nesne tespiti yanında tespit edilen nesneyi içeren çerçeve için maske oluşturarak bölütlemeyi gerçekleştiren Mask RCNN'in basit ve etkili nesne bölütlemesi sunması bu yöntemin seçilmesinde etkili olmuştur.

Mask R-CNN yaklaşımına bakıldığında temelinde RESNET101 ve RESNEXT101 evrimsel ağları ile nesne tespiti bulunduğu görülmektedir [13]. Yaklaşımında görüntünün tamamına bölütleme işlemi yapmak yerine öncelikle nesne olması muhtemel alanlar (region of interest-ROI) tespit edilir. Sonrasında bu alanlar içerisinde nesne sınıflandırması ve bölütleme yapılarak maske çıkarılması işlemleri Şekil 2 ile gösterilen biçimde paralel olarak gerçekleştirilir [17].

Derin öğrenme yaklaşımları ile nesnelerin sınıflandırılması ve bölütlenmesinde ihtiyaç duyulan bir diğer kritik konu ise veri setleridir. Tablo 2 ile literatürde faydalanılan farklı veri setleri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Veri setleri arasında yer alan MS-COCO veri seti nesne tespit ile bölütlemesi alanında derin öğrenme yaklaşımlarının geliştirilmesi ve sınanmasında sıklıkla kullanılan bir veri setidir [18]. Mask R-CNN ağ yapısının halihazırda bu veri seti ile eğitilmiş ağırlıkları bulunmaktadır. Bu ağırlıklar ile sayısal görüntüler üzerinde 80 farklı nesneyi bölütleri ile tespit etmek mümkündür. Gerçekleştirilen bu çalışmada renkli görüntüler için MS-COCO veri seti ile önceden eğitilmiş ağırlık değerleri kullanılmıştır.



Şekil 2. Mask R-CNN yapısı [17]

Tablo 1. Literatürde yer alan ve yaygın olarak kullanılan örnek bölütlemesi yöntemleri.

| Yöntem | Öne Çıkan Özellikleri |
|------------------------|---|
| DeepMask (2015)[12] | Aynı ağ yapısı içerisinde özellik çıkarımından hemen sonra maske ve sınıflandırma işlevleri için dallanan bir yöntemin önerildiği bu çalışma aynı ekip tarafından geliştirilen Mask RCNN'in öncülü olarak görülebilir. |
| Mask RCNN (2017) [13] | Yüksek başarımlı, esnek ve basit bir örnek bölütlemesi yöntemidir. Evrimsel işlemler sonucu elde edilen ilgilenecek bölgeler (region of interest-ROI) için bir yandan maskeler oluştururken diğer yandan nesne tespitine dair sınıflandırmalar yapar. Gerçek zamanlı uygulamalar için yetersiz kalsa da yüksek başarımlı nedeniyle bir çok çalışmada tercih edilmektedir. |
| PA-Net (2018) [14] | Mask RCNN ile aynı altyapıyı kullanan bu çalışmada önerilen uyarlamalı özellik ortaklaması (adaptive feature pooling) ile özellik çıkarımı işlemleri sonrası belirlenen ilgilenecek bölgelerin doğruluğu artırılmıştır. Yapılan sınamalarda Mask RCNN'e göre daha başarılı bir yöntem ortaya konmasına karşın daha yavaş kalmıştır. |
| RetinaMask (2019) [15] | RetinaNet ağı üzerine geliştirilmiştir bir yöntemdir. RetinaNet üzerine tespit edilen nesnelere bölütleme yapan bir ağ yapısı eklenmesiyle oluşturulmuştur. Başarımlı değerleri MaskRCNN'e çok yakın olan bu yöntem hız açısından geride kalmaktadır. |
| YOLOACT (2019) [16] | Gerçek zamanlı bir örnek bölütlemesi sunulan bu çalışmada başarımlı ispatlanan RetinaMask yöntemi temel alınmıştır. Hız açısından diğer yöntemleri geride bırakarak gerçek zamanlı sistemlere uygulanabileceği sunulan çalışmanın başarımlı temel aldığı RetinaMask'ın da altına düşerek MaskRCNN'den uzaklaşmıştır. |

Tablo 2. Örnek bölütlemesinde yaygın olarak faydalanılan veri setleri.

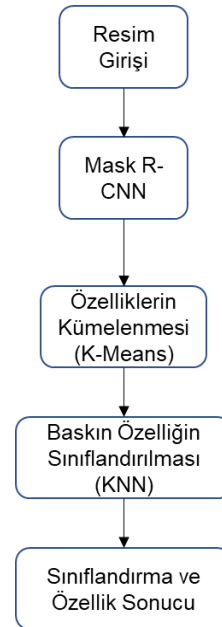
| Veri seti Adı | Öne Çıkan Özellikler |
|------------------------------|--|
| PASCAL VOC[19] | 20 farklı sınıfta nesnelere içeren bu veri setinde, her bir sınıf için fazla miktarda veri bulunmaktadır. 27.450 adet işaretli veriyi içeren 11.530 görsele sahip iken bölütleme işlemi için 6.929 işaretlemeye bulunmaktadır. Tüm verilerin bölütlemeye hazır olmadığı bu veri setinde bölütleme işaretlemeleri için çalışmalar devam etmektedir. |
| Mapillary Vistas Dataset[20] | Otonom araba çalışmalarında kullanılmak üzere ortaya çıkarılan ve büyük araç üreticileri tarafından geliştirilmeye devam edilen bir veri setidir. Dünyanın farklı bölgelerinden elde edilmiş cadde görüntülerinden oluşan 25000 görsel içeren bu veri setinde 37 sınıf için bölütleme işaretlemeleri bulunmaktadır. |
| Cityscapes Dataset[21] | Cadde görüntülerinden oluşan ve otonom araç çalışmalarında kullanılan bu veri setinde 30 farklı sınıfın bölütleme bilgilerini içeren 5000 adet görsel bulunmaktadır. Mapillary Vistas Dataset kadar kapsamlı olmasa da daha basit çalışmalar için kullanılabilir. |
| MS COCO[18] | Gerek nesne tanıma gerek de bölütleme çalışmalarında kullanılan en kapsamlı veri setlerindedir. Bu veri setinde 330000 bin görsel bulunurken 80 farklı sınıf için toplamda 886000 bölütleme bilgisi bulunmaktadır. |

2. Materyal ve Metot

Bu çalışma ile Ms-COCO veri seti ile eğitilmiş Mask R-CNN ağ yapısından faydalanılarak renkli görüntülerde tespit edilen nesnenin renk bilgisini ağ yapısına ve ağırlıklarına müdahale etmeden tespit edilmesi amaçlanmaktadır. Ms-COCO veri seti ile eğitilmiş Mask R-CNN ağ yapısı doğal formu ile aynı renkteki nesnelere aynı etiket ile tespit etmektedir. Ancak bazı uygulamalar aynı nesnelere farklı renk özelliklerinin tespitine ve ayırımına da ihtiyaç duymaktadır. Örneğin trafikte seyir halinde olan bir araç içinden alınan gerçek zamanlı sayısal görüntüler üzerinden, aracın çevresinde yer alan diğer tüm araçları tespit etmek ile sadece bir renkte (örneğin kırmızı) araçları tespit ederek ayrı biçimde belirtmek farklı işlemlerdir. Bu nedenle çalışma kapsamında Şekil 3 ile gösterilen akış diyagramındaki işlem adımlarının sırasıyla gerçekleştirilmesine dayanan bir renk tespit yaklaşımı ortaya konulmuştur.

Şekil 3'de yer alan akış diyagramının ilk adımı görüldüğü üzere kaynak üzerinden sayısal görüntünün alınmasıdır. Bu kaynak bir gerçek zamanlı optik kamera algılayıcısı olabileceği gibi daha önceden bir algılayıcı ile edinilmiş depolanan bir video ya da görüntü verisi de olabilir. Uygulamaya göre bu durum değişiklik gösterebilir. Kaynak tipi, bu çalışma kapsamında geliştirilen yöntemden bağımsız olabilir. Bu nedenle ortaya konulan yöntem kaynak tipinden çok formatı ile ilgilenmektedir. Farklı renk

derinliklerinde ham ya da formatlı veri giriş görüntüsü olarak kullanılabilir.

**Şekil 3.** Renk tespiti yaklaşımı

Kaynaktan alınan sayısal renkli görüntü derin öğrenme yaklaşımı dahilinde MS COCO veri seti ile eğitilmiş Mask R-CNN sinir ağı içinde işlenerek görüntü üzerinde yer alan bağımsız nesnelere tespit edilir. Bu aşamada örnek bölütlemesi işlemi ile nesnelere birbirlerinden kesin sınırlar ile sayısal görüntü üzerinde ayrılırlar.

Tespit edilen nesneyi içeren en küçük çerçevenin (minimum bounding box) merkez noktasının renk değeri nesnenin rengi olarak değerlendirilebilir. Bu basit yöntem yaklaşık sonuçlar üretse de merkez noktadaki verinin nesnenin tamamını yansıtmayabileceği düşünülebilir. Çerçeve içerisindeki renk verilerinin ortalama değeri de nesne rengi olarak düşünülebilir. Ancak çerçeve içerisinde kalan alanda nesneye ait olmayan bölgelerin olması da kaçınılmazdır. Nesnenin şekil ve konumuna göre bu alanların nesneden daha fazla piksel alanını kaplayacağı durumlar oluşacağı da düşünüldüğünde yeni bir yaklaşım ile bu sorunun çözülmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Kullanılacak olan yaklaşımın görüntüler üzerinde sadece tespit değil nesnelere ayırma yapması da gereklidir.

Bölütme işlemi sonrasında elde edilen bölgedeki renk değerleri ağırlığının belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla kümeleme yaklaşımlarından yararlanılmıştır. Her nesne için kendine has renk değerleri üretileceği için kullanılacak yöntemin denetimsiz bir öğrenme yöntemi olması gerekmektedir. Herhangi bir etiketlemeye gerek duymadan kümelenecek veriler sayesinde nesnenin ağırlıklı renk tonu bilgisine erişilebilmiştir. Kümeleme sonrasında yapılacak sınıflandırma ile rengin ait olduğu bölge belirlenmiş ve son olarak tespit sonucu çıktı olarak üretilmiştir.

K-Means birden fazla özelliğe göre kümeleme yapabilme yeteneğine sahip bir algoritmadır. Algoritma çalıştırılırken başlangıçta belirlenen K değeri kadar rastgele küme merkezi seçilir. Veriler bu küme merkezlerine uzaklıkları hesaplanarak kümelere dahil edilir. Her işlem sonrasında yeni merkez hesaplanır ve kümeleme kararlı sonuca erişinceye kadar bu işlemler tekrar edilir [22]. Çalışmada K değeri 5 olarak belirlenerek nesnenin bölüt sınırları içerisindeki renk tonlamaları beş ana kümeye ayrılmıştır.

Renk tespiti için kümeleme sonrasında elde edilen en yoğun kümeye sahip değerlerin sınıflandırılması gerekmektedir. Bu aşamada makine öğrenmesinde kullanılan çeşitli algoritmalar arasından seçilen k En Yakın Komşu (KNN) algoritması kullanılmıştır. Bu algoritma da herhangi bir eğitime ihtiyaç duymadan çalışabilen tembel bir algoritmadır. Belirlenen K değeri kadar elemanın uzaklığı hesaplanarak sınıflandırma yapılır. Uzaklık hesaplaması için temelde Öklid yöntemi kullanılan bu algoritmada Hamming, Manhattan ve Minkowski yöntemleri de kullanılabilir[23].

Sayısal ortamda görüntülerin temsili için çeşitli renk uzayları kullanılmaktadır. Yaygın olarak kullanılan Red Green Blue (RGB, Kırmızı Yeşil Mavi) renk uzayı

Öklid benzeri mesafe hesaplamalarına uygun olmadığı için kümeleme ve sınıflandırma işlemi için Hue Saturation Value (HSV, Renk Doymuluk Değer) renk uzayı kullanılmaktadır [24]. Her iki renk uzayındaki piksel yoğunluk değerleri Denklem (1), (2) ve (3) yardımı ile birbirine dönüştürülebilir. Çalışmada kullanılan kümeleme ve sınıflandırma algoritmalarının verimli çalışabilmesi için piksel renk yoğunlukları HSV renk uzayına dönüştürülerek işlenmiştir.

$$V = \text{Enbüyük}(R, G, B) \quad (1)$$

$$S = V - \frac{\text{Enküçük}(R, G, B)}{V} \quad (2)$$

$$H = \begin{cases} \frac{G - B}{6xS} & \text{eğer } V = R, \\ \frac{1}{3} + \frac{B - R}{6xS} & \text{eğer } V = G, \\ \frac{2}{3} + \frac{R - G}{S} & \text{eğer } V = B. \end{cases} \quad (3)$$

Renk uzayının belirlenmesinden sonra çalışmada kullanılacak renk adları için renk uzayı değerlerinin tanımlanması gerekmektedir. Centro yaptığı çalışmada renkleri adlandırma yöntemi olan ISCC-NBS sistemi için RGB değerleri ve renk adları tanımlamalarını yapmıştır. Bu tanımlamalar 3 seviyeye ayrılmış ve seviyelerde sırasıyla 13, 29 ve 267 renk tanımlı gerçekleştirilmiştir. Tanımlamalar yapılırken aşamalı bir renk adlandırılması yapıldığı gözlenmektedir [25]. Centro'nun belirlediği 267 adet renk tanımına ait RGB değerleri HSV değerlerine çevrilerek kümeleme ve sınıflandırma algoritmaları ile kullanılabilir biçime getirilmiştir.

3. Bulgular

Materyal ve metod bölümünde akış şeması verilen ve açıklanan yaklaşımın sınanması için gerçek dünyada kullanılabilir bir amaca hizmet etmesi düşünülmüştür. Renk belirleme işleminin kullanılabilir alanların başında araç gözetleme sistemleri gelmektedir. Literatürde bulunan araç veri setleri incelendiğinde birçok veri setinin renk bilgisinden yoksun olduğu gözlemlenmiştir. Kendi alanındaki ender çalışmalardan olan VRAI araç tanımlama veri seti renk bilgisi de içerdiğinden çalışmanın sınanması için kullanılmıştır [26]. VRAI veri setinde test için ayrılmış veriler içinden arabalar ayrılmış ve görüntüler üzerinde hiçbir iyileştirme yapılmadan sınamalar gerçekleştirilmiştir. Sınama yapılan verilerin renk dağılımları, renklere göre ve toplam başarımları Tablo 3'te gösterilmiştir. 11.241 adet görsel üstünde yapılan sınama sonucu 7.900 görselin renk bilgisi doğru tespit edilerek %70,28 oranında bir başarı sağlanmıştır.

Tablo 3. Sınama sonuçları

| Renk | Toplam | Doğru Tespit | Yanlış Tespit | Başarım |
|------------|--------|--------------|---------------|---------|
| Beyaz | 4513 | 3136 | 1377 | 69,49 |
| Siyah | 2988 | 2579 | 409 | 86,31 |
| Gri | 1521 | 730 | 791 | 47,99 |
| Kırmızı | 570 | 341 | 229 | 59,82 |
| Yeşil | 769 | 563 | 206 | 73,21 |
| Mavi | 516 | 473 | 43 | 91,67 |
| Sarı | 102 | 64 | 38 | 62,75 |
| Kahverengi | 262 | 14 | 248 | 5,34 |
| Toplam | 11241 | 7900 | 3341 | 70,28 |

Tablo 4. Renk bazında doğruluk tablosu

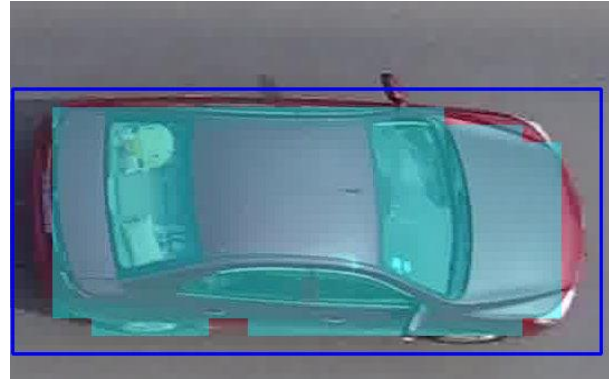
| | B | S | G | K | Y | M | S | Ka |
|----|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|----|
| B | 3136 | 77 | 593 | 1 | 244 | 225 | 227 | 10 |
| S | 4 | 2579 | 292 | 3 | 2 | 107 | 0 | 1 |
| G | 426 | 87 | 730 | 2 | 47 | 190 | 11 | 28 |
| K | 0 | 69 | 39 | 341 | 4 | 16 | 7 | 94 |
| Y | 16 | 25 | 65 | 0 | 563 | 95 | 3 | 2 |
| M | 1 | 1 | 0 | 12 | 28 | 473 | 0 | 1 |
| S | 0 | 1 | 6 | 20 | 0 | 6 | 64 | 5 |
| Ka | 0 | 52 | 148 | 2 | 10 | 36 | 0 | 14 |

Şekil 4'te veri setindeki örnek bir görsel üzerinde yaklaşımın sonuçlar görülmektedir. Şekil 4(a)'da tespit edilen nesneyi içeren çerçeve ve nesnenin bölütü görülmektedir. Şekil 4(b)'de nesneyi içeren çerçevenin küme merkezlerinin piksel değerleri ile küme üyelerinin yüzdelik dağılımı görülürken Şekil 4(c)'de kümelemenin görsel olarak renklendirilmiş hali görülebilir. Şekil 4(d)'de örnek bölütlemesi sonucu elde edilen bölgedeki küme merkezlerinin piksel değerleri ile küme üyelerinin yüzdelik dağılımı, Şekil 4(e)'de ise kümelemenin renklendirilmiş hali bulunmaktadır. Bölütleme alanında yapılan kümelemenin daha başarılı sonuç üreteceği Şekil 4(b), Şekil 4(c) ile Şekil 4(d), Şekil 4(e) karşılaştırılarak görülmektedir.

4. Tartışma ve Sonuç

Sunulan çalışma ile örnek bölütlemesine dayalı bir renk ve nesne tespit yaklaşımı sunulmuştur. Yaklaşımın başarısı literatürde var olan bir araç tanımlama veri seti üzerinde sınanmıştır. Veri setindeki görüntüler ve bölütleme işlemini gerçekleştirilen ağ yapısı üzerinde herhangi bir iyileştirme yapılmadan yüzde 70,28 oranında doğruluğa ulaşılmıştır. Yaklaşım bölütleme için kullanılan ağ yapısının eğitim seti ve özelliklerinden bağımsız olarak işleyen bir yapıda olmasından dolayı literatürde var olan farklı yaklaşımlara kolaylıkla uygulanabilir. Ayrıca literatürde renk tanımı bulunan farklı nesnelere içeren veri setleri üzerinde de sınanabilir. Bunun yanı sıra güvenlik kamerası görüntülerinden tespit edilen araçların renginin belirlenmesi, bir üretim bandında sınıflandırılan

nesnelerin renk kontrolü yapılması gibi herhangi bir alanda gerçekleştirilecek özelleştirilmiş çalışmalar için de kolaylıkla uygulanabilir. Şekil 5'te Bahnsen ve arkadaşları tarafından hazırlanan bir trafik gözetleme veri seti [27] üzerinde yaklaşım ile elde edilen sonuçlar görülmektedir. Şekil incelendiğinde trafik akışında tespit edilebilen araçların üzerine belirleyici renk tanımlamaları yapıldığı görülmektedir. Çalışma yaklaşımının uyarlanması ile farklı algılayıcılardan alınan veriler üzerinde yapılacak tespitler sonucu algılayıcı özelliğine göre sınıflandırmalar gerçekleştirilebilir. Örneğin derinlik verilerden oluşan bir görselde tespit edilecek nesnenin uzaklık yakınlık durumu bulunabilirken sıcaklık verilerinden oluşan görsellerde tespit edilen nesnenin sıcaklık soğukluk durumu sınıflandırılabilir.



(a)

| | | | |
|---------------|--------------|---------------|--------|
| [12.69471187 | 28.692898 | 121.37993582] | 5.99% |
| [155.74530215 | 85.35401739 | 81.02108963] | 18.53% |
| [171.58077035 | 184.23596402 | 131.78637748] | 23.03% |
| [170.78417318 | 126.7078704 | 196.91169092] | 23.32% |
| [136.15004167 | 22.20582234 | 123.55524902] | 29.13% |



(c)

| | | | |
|---------------|--------------|---------------|--------|
| [13.60772394 | 32.82728411 | 124.53835151] | 6.53% |
| [170.27873027 | 128.83033441 | 94.63079273] | 13.77% |
| [135.11467673 | 39.2184521 | 110.04936291] | 24.68% |
| [171.63577148 | 191.21368797 | 142.15085719] | 25.81% |
| [170.75512406 | 126.48927244 | 199.53969395] | 29.21% |

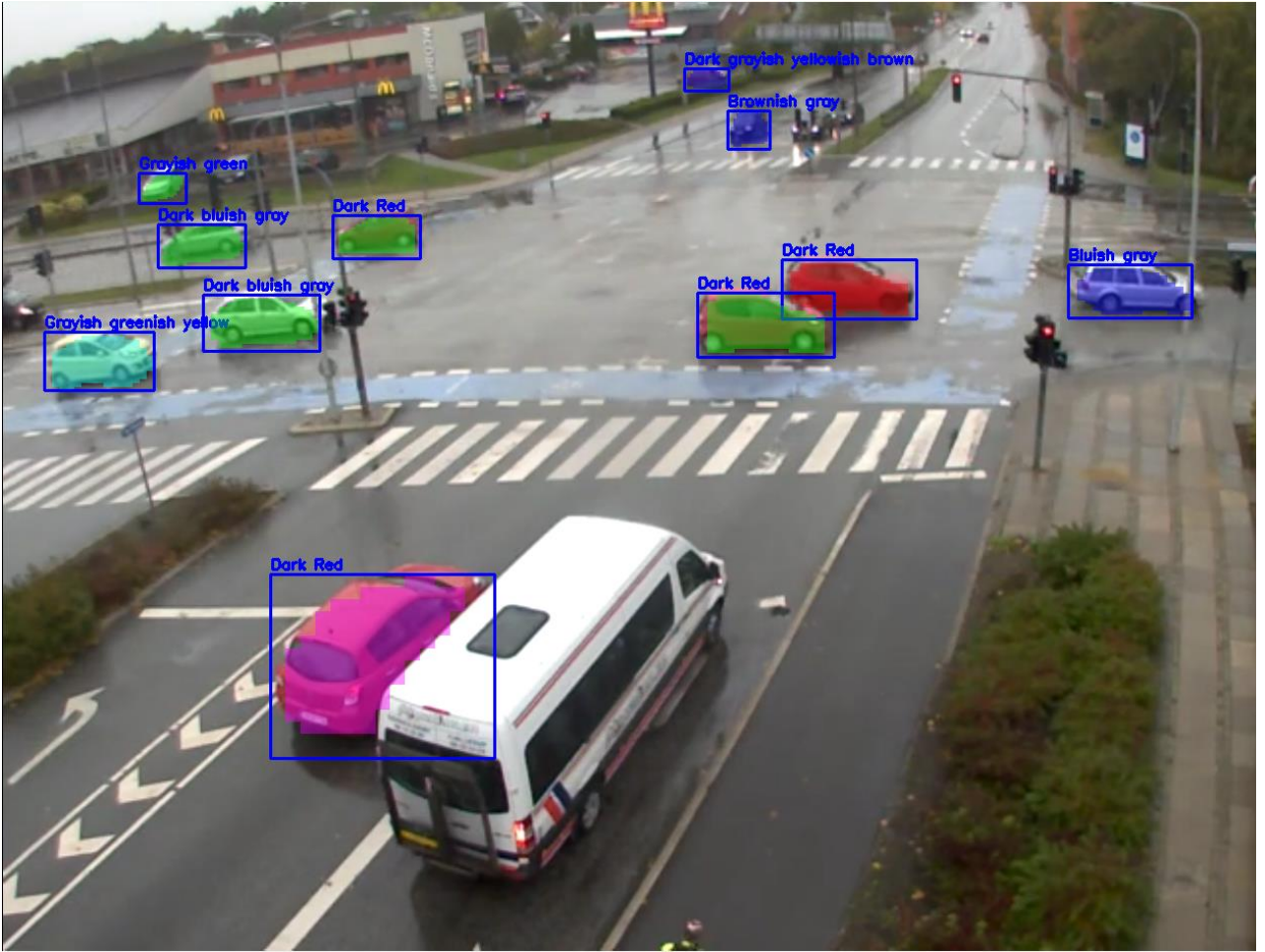


(e)

Şekil 4. Örnek nesnenin renk tonu kümelenmeleri, (a) tespit edilen nesne, (b) çerçeve içerisindeki alanın renk tonu kümelenmesi, (c) çerçeve içerisindeki alanın renk tonu kümelenmesinin görselleştirilmesi, (d) bölütleme alanının renk tonu kümelenmesi, (e) bölütleme alanının renk tonu kümelenmesinin görselleştirilmesi

Etik Beyanı/Declaration of Ethical Code

Bu çalışmada, "Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi" kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin "Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler" başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederiz.



Şekil 5. Uygulama örneği, trafik gözetleme verisinde [27] elde edilen sonuçlar

Kaynakça

- [1] Jiao, L., Zhang, F., Liu, F., Yang, S., Li, L., Feng, Z., & Qu, R. (2019). A Survey of Deep Learning-Based Object Detection. *IEEE Access*, 7, 128837-128868.
- [2] Lin, T., Goyal, P., Girshick, R., He, K., & Dollar, P. (2017). Focal Loss for Dense Object Detection. *2017 IEEE International Conference On Computer Vision (ICCV)*.
- [3] Chao, P., Kao, C., Ruan, Y., Huang, C., & Lin, Y. (2019). HardNet: A Low Memory Traffic Network. *2019 IEEE/CVF International Conference On Computer Vision (ICCV)*.
- [4] Tan, M., Pang, R., & Le, Q. (2020). EfficientDet: Scalable and Efficient Object Detection. *2020 IEEE/CVF Conference On Computer Vision And Pattern Recognition (CVPR)*.
- [5] Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., & Farhadi, A. (2016). You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection. *2016 IEEE Conference On Computer Vision And Pattern Recognition (CVPR)*.
- [6] Guo, Y., Liu, Y., Georgiou, T., & Lew, M. (2017). A review of semantic segmentation using deep neural networks. *International Journal Of Multimedia Information Retrieval*, 7(2), 87-93.
- [7] Momin, B., & Mujawar, T. (2015). Vehicle detection and attribute based search of vehicles in video surveillance system. *2015 International Conference On Circuits, Power And Computing Technologies [ICCPCT-2015]*.
- [8] Chu, W., Liu, Y., Shen, C., Cai, D., & Hua, X. (2018). Multi-Task Vehicle Detection With Region-of-Interest Voting. *IEEE Transactions On Image Processing*, 27(1), 432-441.
- [9] Artan, Y., Alkan, B., Balci, B., & Elihos, A. (2019). Deep Learning Based Vehicle Make, Model and Color Recognition Using License Plate Recognition Camera Images. *2019 27Th Signal Processing And Communications Applications Conference (SIU)*.
- [10] Bai, M., & Urtasun, R. (2017). Deep Watershed Transform for Instance Segmentation. *2017 IEEE Conference On Computer Vision And Pattern Recognition (CVPR)*.
- [11] Bahnsen, C., & Moeslund, T. (2019). Rain Removal in Traffic Surveillance: Does it Matter?. *IEEE Transactions On Intelligent Transportation Systems*, 20(8), 2802-2819.

- [12] Pinheiro, P., Lin, T., Collobert, R., & Dollár, P. (2016). Learning to Refine Object Segments. *Computer Vision – ECCV 2016*, 75-91.
- [13] He, K., Gkioxari, G., Dollar, P., & Girshick, R. (2017). Mask R-CNN. *2017 IEEE International Conference On Computer Vision (ICCV)*.
- [14] Liu, S., Qi, L., Qin, H., Shi, J., & Jia, J. (2018). Path Aggregation Network for Instance Segmentation. *2018 IEEE/CVF Conference On Computer Vision And Pattern Recognition*.
- [15] Fu, C. Y., Shvets, M., & Berg, A. C. (2019). RetinaMask: Learning to predict masks improves state-of-the-art single-shot detection for free. *arXiv preprint arXiv:1901.03353*.
- [16] Bolya, D., Zhou, C., Xiao, F., & Lee, Y. (2019). YOLACT: Real-Time Instance Segmentation. *2019 IEEE/CVF International Conference On Computer Vision (ICCV)*.
- [17] Bayram F. (2020). Derin öğrenme tabanlı otomatik plaka tanıma. *Politeknik Dergisi*, 23(4), 955-960.
- [18] Lin, T., Maire, M., Belongie, S., Hays, J., Perona, P., & Ramanan, D. et al. (2014). Microsoft COCO: Common Objects in Context. *Computer Vision – ECCV 2014*, 740-755.
- [19] Everingham, M., Eslami, S., Van Gool, L., Williams, C., Winn, J., & Zisserman, A. (2014). The Pascal Visual Object Classes Challenge: A Retrospective. *International Journal Of Computer Vision*, 111(1), 98-136.
- [20] Neuhold, G., Ollmann, T., Buló, S., & Kotschieder, P. (2017). The Mapillary Vistas Dataset for Semantic Understanding of Street Scenes. *2017 IEEE International Conference On Computer Vision (ICCV)*.
- [21] Cordts, M., Omran, M., Ramos, S., Rehfeld, T., Enzweiler, M., & Benenson, R. et al. (2016). The Cityscapes Dataset for Semantic Urban Scene Understanding. *2016 IEEE Conference On Computer Vision And Pattern Recognition (CVPR)*.
- [22] Vassilvitskii, S., & Arthur, D. (2006). k-means++: The advantages of careful seeding. In *Proceedings of the eighteenth annual ACM-SIAM symposium on Discrete algorithms* (pp. 1027-1035).
- [23] N. Bhatia and V. Ashev, (2010). Survey of Nearest Neighbor Techniques, *International Journal of Computer Science and Information Security*, 8(2), 1-4.
- [24] Ajmal, A., Hollitt, C., Freen, M., & Al-Sahaf, H. (2018). A Comparison of RGB and HSV Colour Spaces for Visual Attention Models. *2018 International Conference On Image And Vision Computing New Zealand (IVCNZ)*.
- [25] Centore, P. (2016). sRGB Centroids for the ISCC-NBS Colour System, <https://www.munsellcolourscienceforpainters.com/ColourSciencePapers/sRGBCentroidsForTheISCCNBSColourSystem.pdf> (Erişim Tarihi: 10.11.2021).
- [26] Wang, P., Jiao, B., Yang, L., Yang, Y., Zhang, S., Wei, W., & Zhang, Y. (2019). Vehicle Re-Identification in Aerial Imagery: Dataset and Approach. *2019 IEEE/CVF International Conference On Computer Vision (ICCV)*.
- [27] Bahnsen, C., & Moeslund, T. (2019). Rain Removal in Traffic Surveillance: Does it Matter?. *IEEE Transactions On Intelligent Transportation Systems*, 20(8), 2802-2819.