



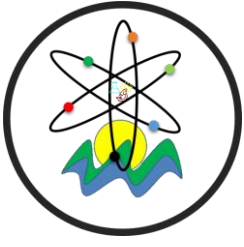
Black Sea Journal of Engineering and Science

Volume 6 | Issue 3



ISSN: 2619 - 8991


BS Journals



BLACK SEA JOURNAL OF ENGINEERING AND SCIENCE
(BSJ ENGIN SCI)


BS Journals

Black Sea Journal of Engineering and Science (BSJ Eng Sci) is a double-blind peer-reviewed, open-access international journal published electronically 4 times (January, April, July and October) in a year by since January 2018. It publishes, in English and Turkish, full-length original research articles, innovative papers, conference papers, reviews, mini-reviews, rapid communications or technical note on advances in a wide range of scientific disciplines from all fields of engineering and science and from any source.

ISSN 2619 - 8991

Phone: +90 362 408 25 15

Fax: +90 362 408 25 15

Email: bsjsci@blackseapublishers.com

Web site: <http://dergipark.gov.tr/bsengineering>

Sort of publication: Periodically 4 times (January, April, July and October) in a year

Publication date and place: July 01, 2023 - Samsun, TÜRKİYE

Publishing kind: Electronically

OWNER

Assoc. Prof. Uğur ŞEN

DIRECTOR IN CHARGE

Prof. Dr. Hasan ÖNDER

EDITOR BOARDS

EDITOR IN CHIEF

Prof. Dr. Hasan ÖNDER, Ondokuz Mayıs University, TÜRKİYE

Assoc. Prof. Uğur ŞEN, Ondokuz, Mayıs University, TÜRKİYE

SECTION EDITORS*

Prof. Dr. Ahmet UYANIK, Section Editor of Chemistry, Ondokuz Mayıs University, TÜRKİYE

Prof. Dr. Berna KILIÇ, Section Editor of Fisheries Engineering, Ege University, TÜRKİYE

Prof. Dr. Çiğdem TAKMA, Section Editor of Statistics, Ege University, TÜRKİYE

Prof. Dr. Ertan BUYRUK, Section Editor of Mechanical Engineering, Sivas Cumhuriyet University, TÜRKİYE

Prof. Dr. Gökhan CİVELEKOĞLU, Section Editor of Environmental Engineering, Akdeniz University, TÜRKİYE

Prof. Dr. Hasan TANAK, Section Editor of Physics, Amasya University, TÜRKİYE

Prof. Dr. Hasan TEMİZ, Section Editor of Food Engineering, Ondokuz Mayıs University, TÜRKİYE

Prof. Dr. İbrahim Özgür DENEME, Section Editor of Civil Engineering, Aksaray University, TÜRKİYE

Prof. Dr. İbrahim UĞUR, Section Editor of Mining Engineering, Süleyman Demirel University, TÜRKİYE

Prof. Dr. Ümit Cafer YILDIZ, Section Editor of Forest Engineering, Karadeniz Technical University, TÜRKİYE

Assoc. Prof. Dr. Belgin KARABACAKOĞLU, Section Editor of Chemical Engineering, Eskişehir Osmangazi University, TÜRKİYE

Assoc. Prof. Dr. Bülent BOSTANCI, Section Editor of Geomatics Engineering, Erciyes University, TÜRKİYE

Assoc. Prof. Dr. Ergün EKİCİ, Section Editor of Industrial Engineering, Çanakkale Onsekiz Mart University, TÜRKİYE

Assoc. Prof. Dr. Kadyrbay CHEKİROV, Section Editor of Biology, Kyrgyz Turkish Manas University, KYRGYZSTAN

Assoc. Prof. Dr. Mehmet EBEOĞLUGİL, Section Editor of Metallurgical and Materials Engineering, Dokuz Eylül University, TÜRKİYE

Assoc. Prof. Dr. Nilüfer YURTAY, Section Editor of Computer Engineering, Sakarya University, TÜRKİYE

Assoc. Prof. Dr. Özgür Hakan AYDOĞMUŞ, Section Editor of Mathematics, Social Sciences University of Ankara, TÜRKİYE

Assoc. Prof. Dr. Sinan AKISKA, Section Editor of Geological Engineering, Ankara University, TÜRKİYE

Asst. Prof. Dr. Mehmet GÜÇYETMEZ, Section Editor of Electrical and Electronics Engineering, Kırşehir Ahi Evran University, TÜRKİYE

Asst. Prof. Dr. Melahat CİHAN, Section Editor of Aerospace Engineering, Samsun University, TÜRKİYE

Asst. Prof. Dr. Sedat KARADAVUT, Section Editor of Agricultural Engineering, Trakya University, TÜRKİYE

* The ranking is arranged alphabetically within the academic title

EDITORIAL - ADVISORY BOARD*

Prof. Dr. Aglaia (Litsa) LIOPA-TSAKALIDI, Institute of Western Greece, GREECE

Prof. Dr. Ercan EFE, Kahramanmaraş Sutcu Imam University, TÜRKİYE

Prof. Dr. Mohammad Masood TARIQ, University of Balochistan, PAKISTAN

Prof. Dr. Mustafa Çağatay TUFAN, Ondokuz Mayıs University, TÜRKİYE

Prof. Dr. Özkan GÖRGÜLÜ, Ahi Evran University, TÜRKİYE

Assoc. Prof. Dr. Taner TUNÇ, Ondokuz Mayıs University, TÜRKİYE

Asst. Prof. Dr. Emil OMURZAK, Kyrgyz-Turkish Manas University, KYRGYZSTAN

Asst. Prof. Dr. Yılmaz KAYA, Ondokuz Mayıs University, TÜRKİYE

* The ranking is arranged alphabetically within the academic title

STATISTIC EDITOR

Prof. Dr. Mehmet TOPAL, Kastamonu University, TÜRKİYE

ENGLISH EDITOR

Asst. Prof. Dr. Betül ÖZCAN DOST, Ondokuz Mayıs University, TÜRKİYE

TURKISH EDITOR

Prof. Dr. Serkan ŞEN, Ondokuz Mayıs University, TÜRKİYE

REVIEWERS OF THE ISSUE*

Prof. Dr. Ahmet POLAT, Selçuk University, Department of Environmental Engineering, TÜRKİYE

Prof. Dr. Ali ÇELİK, Aydın Adnan Menderes University, Department of Botany, TÜRKİYE

Prof. Dr. Ali ÖZTÜRK, Düzce University, Department of Electrical Engineering, TÜRKİYE

Prof. Dr. Cemil GÜRÜNLÜ, Karadeniz Technical University, Department of Electrical and Electronics Engineering, TÜRKİYE

Prof. Dr. Dursun PEHLİVAN, Fırat University, Department of Energy, TÜRKİYE

Prof. Dr. Erol KILIÇKAP, Dicle University, Department of Mechanical Engineering, TÜRKİYE

Prof. Dr. Hakan ARSLAN, Ondokuz Mayıs University, Department of Plant Physiology, TÜRKİYE

Prof. Dr. Hasan KORKMAZ, Ondokuz Mayıs University, Department of Ecology, TÜRKİYE

Prof. Dr. İbrahim KELEŞ, Samsun University, Department of Solid Mechanics, TÜRKİYE

Prof. Dr. Necmettin ŞAHİN, Aksaray University, Department of Mechanical Engineering, TÜRKİYE

Prof. Dr. Tugrul OKTAY, Erciyes University, Department of Air-Space Transportation, TÜRKİYE

Assoc. Prof. Dr. Arda ÖZTÜRKCAN, İstanbul Gelişim University, Department of Biochemistry, TÜRKİYE

Assoc. Prof. Dr. Hamdi ZENGİNBAL, Bolu Abant İzzet Baysal University, Department of Pomology and Treatment, TÜRKİYE

Assoc. Prof. Dr. İhsan ALACABEY, Mardin Artuklu University, Department of Chemistry, TÜRKİYE

Assoc. Prof. Dr. Levent UĞUR, Amasya University, Department of Manufacturing Management, TÜRKİYE

Assoc. Prof. Dr. Mehmet AYVAZ, Manisa Celal Bayar University, Department of Composite and Hybrid Materials, TÜRKİYE

Assoc. Prof. Dr. Metin DAĞTEKİN, Çukurova University, Department of Biosystems, TÜRKİYE

Assoc. Prof. Dr. Murat BOSTANCIOĞLU, Sivas Cumhuriyet University, Department of Civil Engineering, TÜRKİYE

Assoc. Prof. Dr. Nesimi ULUDAĞ, Tekirdağ Namık Kemal University, Department of Chemistry, TÜRKİYE

Assoc. Prof. Dr. Okan ÖZDEMİR, Dokuz Eylül University, Department of Solid Mechanics, TÜRKİYE

Assoc. Prof. Dr. Sezer ÇOBAN, İskenderun Technical University, Department of Aircraft Performance and Flight Control Systems, TÜRKİYE

Assist. Prof. Dr. Abdülkadir AYANOĞLU, Mardin Artuklu University, Department of Energy Generation, Conversion and Storage, TÜRKİYE

Assist. Prof. Dr. Arslan KAPTAN, Sivas Cumhuriyet University, Department of Mechanical Engineering, TÜRKİYE

Assist. Prof. Dr. Burak İNANAN, Aksaray University, Department of Hydrobiology, TÜRKİYE

Assist. Prof. Dr. Fırat Çağlar YILMAZ, Pamukkale University, Department of Landscape Planning, TÜRKİYE

Assist. Prof. Dr. Fırat ŞAL, İskenderun Technical University, Department of Astronomical Sciences, TÜRKİYE

Assist. Prof. Dr. Fuat LULE, Adiyaman University, Department of Agricultural Machinery, TÜRKİYE

Assist. Prof. Dr. Galip USTA, Trabzon University, Department of Disaster and Emergency Management, TÜRKİYE

Assist. Prof. Dr. İbrahim MUTLU, Kocaeli University, Department of Material Design and Behaviors, TÜRKİYE

Assist. Prof. Dr. Lütü BAYYURT, Tokat Gaziosmanpaşa University, Department of Statistics, TÜRKİYE

Assist. Prof. Dr. Osman Nuri ASLAN, Atatürk University, Department of Chemistry, TÜRKİYE

Assist. Prof. Dr. Sevtap TIRINK, Iğdır University, Department of Environmental Engineering, TÜRKİYE

Assist. Prof. Dr. Sinan KUL, Bayburt University, Department of Environmental Engineering, TÜRKİYE

Assist. Prof. Dr. Temel TEMİZ, Yalova University, Department of Hydromechanics, TÜRKİYE

Assist. Prof. Dr. Vahdettin DEMİR, KTO Karatay University, Department of Fuzzy Computation, TÜRKİYE

Assist. Prof. Dr. Veyis KARAKOÇ, Çankiri Karatekin University, Department of Polymerisation Mechanisms, TÜRKİYE

Assist. Prof. Dr. Yücel ÇİMTAY, TED University, Department of Deep Learning, TÜRKİYE

Assist. Prof. Dr. Ziyet PAMUK, Zonguldak Bülent Ecevit University, Department of Data Mining and Knowledge Discovery, TÜRKİYE

Dr. Burcu DURMUŞ, Muğla Sitki Koçman University, Department of Data Mining and Knowledge Discovery, TÜRKİYE

Dr. Çağdaş ÇALIŞ, Independent Researcher, Department of Occupational Health and Safety, TÜRKİYE

Dr. Ender EMİR, Kahramanmaraş İstiklal University, Department of Solid Mechanics, TÜRKİYE

Dr. Ezgi ATALAY, Bolu Abant İzzet Baysal University, Department of Disaster and Emergency Management, TÜRKİYE

Dr. Cenk YANEN, Fırat University, Department of Composite and Hybrid Materials, TÜRKİYE

Dr. Mahinur KIRICI, Bingöl University, Department of Biochemistry, TÜRKİYE

Dr. Önder DEMİR, Anadolu University, Department of Computer Vision, TÜRKİYE

* The ranking is arranged alphabetically within the academic title

Table of Contents

Research Article

1. **NARİNGENİN BASKILANMIŞ KRİYOJEL MEMBRANLARIN HAZIRLANMASI VE ADSORPSİYON DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**
Emel DEMİRTAŞ, Mehmet ODABAŞI.....149-154
2. **ORTALAMA KAYMA DALGASI HIZININ FARKLI YÖNTEMLERLE BELİRLENMESİ VE EDİRNE İLİ ÖZELİNDE DEĞERLENDİRİLMESİ**
Erdoğan KESKİN, Kanat Burak BOZDOĞAN.....155-164
3. **KİL EŞDEĞERİ BİR MALZEME VE UÇUCU KÜL KATKISININ ZEMİN MUKAVEMETİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**
Serkan ÖREN, Sefa KOCABAŞ.....165-172
4. **ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ FARABİ YERLEŞKESİNDEKİ ELEKTRİK ENERJİSİ İHTİYACININ GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALLERİ KURULARAK ELDE EDİLMESİ VE EKONOMİK ANALİZİ**
Engin AY, Nihat PAMUK.....173-184
5. **BAŞKALAŞIMIN OCTOROTOR BOYLAMASINA UÇUŞUNA ETKİSİ**
Oğuz KÖSE.....185-192
6. **HİSPİDULİNİN SAĞLIKLI HÜCRE HATLARINDA SİTOTOKSİK, APOPTOTİK VE NEKROTİK ETKİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**
Ferhunde AYSİN.....193-198
7. ***Marrubium astracanicum* subsp. *astracanicum* Jacq. (Lamiaceae)'UN ANATOMİK, EKOLOJİK VE TÜY ÖZELLİKLERİNİN TAKSONOMİK ÖNEMİ**
Kamer Volkan KOÇAK, Nezahat KANDEMİR.....199-209
8. **CLUSTERING OF PRECIPITATION IN THE BLACK SEA REGION WITH BY FUZZY C-MEANS AND SILHOUETTE INDEX ANALYSIS**
Gürkan KIR, Aslı ÜLKE KESKİN, Utku ZEYBEKOĞLU.....210-218
9. **DETERMINATION OF ENCOUNTER NORMS AND SOCIAL CARRYING CAPACITY OF YOZGAT ÇAMLIK NATIONAL PARK USING SIMULATION MODELING TECHNIQUE**
Aykut RÜZGAR, Metin DEMİR.....219-228
10. **SICAK PRES CETP KOMPOZİT PANELLERİN EĞİLME PERFORMANSLARI ÜZERİNE DENEYSEL VE TEORİK ÇALIŞMALAR**
Erkan BAHÇE, Burak ÖZDEMİR, Tuğberk ÖNAL.....229-234
11. **SUOKU (*Sagittaria sagittifolia* L.)'NUN DOĞAL YETİŞME ORTAMI ÖZELLİKLERİNİN MEVSİMSEL DEĞİŞİMİ**
Sedat KARADAVUT, Elif BOZDOĞAN SERT, Gülden SANDAL ERZURUMLU, Bahadır ALTUN.....235-239
12. **STUDY ON RECYCLABILITY OF ALSI7MG0.3 MACHINING WASTE**
Mertol GÖKELMA, Rabia ÖNEN TÜZGEL, Ahmet Yiğit KAYA, Onur ÖZAYDIN.....240-244

13. SYLLOGISM OF Li-FePO₄ BATTERY CELL VOLTAGE PARAMETER GUESS UNDER APERIODIC DYNAMIC CURRENT PROFILE BY SOME DATA-DRIVEN TECHNIQUES: A ERROR-BASED STATISTICAL COMPARISON BETWEEN DECISION TREE, SUPPORT VECTOR, BEE COLONY, AND NEURAL NETWORK

Taner ÇARKIT, Sümeyye ÇARKIT.....245-252

14. AÇIK VERİ VE BLOKZİNCİR

Arif Furkan MENDİ.....253-264

15. GIDA PAKETLEMEDE RİSK DEĞERLENDİRMESİ SÜRECİ İÇİN BULANIK ÇOK KRİTERLİ BİR MODEL UYGULAMASI: DEMATEL VE CODAS

Semra BAYHUN, Tuğçe ORAL, Mehmet ÖZDEMİR.....265-275

16. INVESTIGATING THE EFFECT OF NOZZLE DIAMETER ON TENSILE STRENGTH IN 3D-PRINTED POLYLACTIC ACID PARTS

Fuat KARTAL, Arslan KAPTAN.....276-287

17. ASSESSMENT OF ENERGY PRODUCTION POTENTIAL FROM AGRICULTURAL RESIDUES IN AZERBAIJAN

Ehsan FARTASH NAEİMİ, Gürkan Alp Kağan GÜRDİL, Bahadır DEMİREL.....283-286

18. TEMPERATURE-DEPENDENT DEBONDING RESISTANCE OF 316 STAINLESS STEEL, INCONEL 625, AND TI-6AL-4V ALLOYS

Volkan ARIKAN.....287-295

Review Articles

19. WASTE TO ENERGY: REVIEW ON THE DEVELOPMENT OF LAND FILL GAS FOR POWER GENERATION IN SUB-SAHARAN AFRICA

Dickson David OLODU, Andrew ERAMEH.....296-307



NARİNGENİN BASKILANMIŞ KRİYOJEL MEMBRANLARIN HAZIRLANMASI VE ADSORPSİYON DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

Emel DEMİRTAŞ¹, Mehmet ODABAŞI^{1*}

¹Aksaray University, Faculty of Science and Letters, Department of Chemistry, 68100, Aksaray, Türkiye

Özet: Naringenin önemli terapötik (tedavi edici) etkileri olan flavonoid sınıftan bir flavanondur. Yurt dışında fazlaca çalışılmış bir bileşik olan naringenin ülkemizde çok fazla dikkat çekmemiş olduğu düşünülmektedir. Yaygın şekilde bitkilerde bulunan bu naringenin molekülüne dikkat çekmek için yeni bir yöntem olan moleküler baskılama yöntemi kullanılarak naringenin baskılanmış kriyojeller sentezlenmiştir. Elementel analiz, termogravimetrik analiz ve şişme testleri gibi karakterizasyon çalışmaları ile birlikte adsorpsiyon ve seçicilik testleri de gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgulardan bazıları aşağıda özetlenmiştir: Naringenin baskılanmış polimerlerde bozunma sıcaklığı 1,7 °C kadar yükselmiştir. Naringenin baskılanmış polimerdeki naringenin miktarı baskılanmamışa oranla %16,36'lık oranda yüksek bulunmuştur. MIP ve NIP için şişme değerleri sırasıyla %850 %967 olarak hesaplanmıştır.

Anahtar kelimeler: Naringenin, Moleküler baskılanmış polimer, Naringenin saflaştırılması


Preparation of Naringenin Imprinted Cryogel Membranes and Investigation of Adsorption Behaviors


Abstract: Naringenin is a flavanone of the flavonoid class with significant therapeutic effects. It is thought that naringenin, a compound that has been studied extensively abroad, has not received much attention in our country. Naringenin imprinted cryogels were synthesized using a new method, molecular imprinting, to draw attention to this molecule of naringenin, which is commonly found in plants. Along with characterization studies such as elemental analysis, thermogravimetric analysis and swelling tests, adsorption and selectivity tests were also carried out. Some of the findings are summarized below: The degradation temperature of naringenin in imprinted polymers increased by 1.7 °C. The amount of naringenin in MIP was found to be 16.36% higher than in the NIP. Swelling values for MIP and NIP were calculated as 850% 967%, respectively.

Keywords: Naringenin, Molecularly imprinted polymer, Naringe purification

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Aksaray University, Faculty of Science and Letters, Department of Chemistry, 68100, Aksaray, Türkiye

E mail: modabasi@aksaray.edu.tr (M. ODABAŞI)

Emel DEMİRTAŞ  <https://orcid.org/0000-0003-1561-5692>

Mehmet ODABAŞI  <https://orcid.org/0000-0002-3288-132X>

Gönderi: 23 Mart 2023

Kabul: 10 Nisan 2023

Yayınlanma: 01 Temmuz 2023

Received: March 23, 2023

Accepted: April 10, 2023

Published: July 01, 2023

Cite as: Demirtaş E, Odabaşı M. 2023. Preparation of naringenin imprinted cryogel membranes and investigation of adsorption behaviors. BSJ Eng Sci, 6(3): 149-154.

1. Giriş

Narenciye meyvelerinde başlıca biyoaktif polifenoller olan ve aktif yapı bakımından birbirine çok benzeyen naringin ve naringenin tüketiminin insan sağlığı üzerindeki birçok olumlu etkisi olduğu eski çağlardan beri bilinmektedir (Stabrauskiene ve ark., 2022). Bu flavonoidlerin kardiyovasküler ve nörovasküler hastalıkları tedavi etme özelliğinin yanı sıra güçlü bir antioksidan, antikanser, antiviral, antitümör ve antiinflamatuvar etkiler gibi birçok biyokimyasal aktiviteye sahip olduğuna dair literatürde birçok bilimsel yayın bulunmaktadır (Chang ve ark., 2017; Patel ve ark., 2018; Noori ve ark., 2020; Sant ve ark., 2022). Naringin diyetle vücuda alındıktan sonra, bağırsak mikroflorası tarafından naringenin ve şekere parçalanır daha sonra emilir. Naringenin, naringenin sadece bir aglikon formu olmasına rağmen, naringenin şeker kısmının sterik engellenmesi nedeniyle naringenin biyokimyasal

aktiviteler açısından daha baskındır (Choudhury ve ark., 1999). Naringenin, düşük miktarlarda doğal bir molekül olarak elde edilebileceği gibi, farmasötik amaçlı naringenin üretiminde naringenin enzimatik olarak veya farklı kimyasallarla hidroliz edilmesiyle de elde edilebilmektedir. Ancak bu yöntemlerde aşırı kimyasal kullanımı saflık sorunları yaratmanın yanı sıra çevresel tehditler de oluşturabilmektedir. Bu nedenle naringenin üretimi için çevre dostu ve ekonomik yöntemlerin kullanılması önemlidir (Sant ve ark., 2022). Bahsedilen bu sorunların çözümüne yönelik olarak naringenin çevre dostu koşullarda doğal ortamdan seçici olarak ayrılması için naringenin baskılanmış kriyojel membranlar hazırlanmıştır.

Moleküler baskılanmış polimerler (MIP), biyolojik moleküller olan antikor-antijen sistemlerinin sentetik modelleri olarak da tanımlanır. MIP'ler, sentez sürecinde polimerizasyon ortamında bulunan şablon molekülü seçici



olarak tanıma açısından "kilit ve anahtar" modeli üzerinden çalışırlar (Haupt ve Mosbach, 2000; Odabaşı ve ark., 2007). Potansiyel antijen-antikor tabanlı çalışma sistemlerinin aksine, MIP'ler düşük maliyet ve zorlu çevre koşullarına dayanıklılık gibi avantajlara sahiptir (Acet ve ark., 2023). Örneğin biyolojik yapıların çalışma sıcaklıkları canlıların fizyolojik sıcaklıkları ile sınırlı iken MIP'ler daha geniş bir aralıkta çalışabilmektedir. Ayrıca biyolojik reseptörlerin izolasyon sonrası saklama koşulları ve raf ömürleri sınırlı iken, MIP'ler çevre koşullarından çok fazla etkilenmemektedir (Inanan ve ark., 2016). Uygun fonksiyonel monomer, çapraz bağlayıcı ve şablon molekül kullanılarak elde edilen MIP'ler, polimerizasyon sonrasında uygun koşullar altında sentezlenen polimerden şablon molekülün uzaklaştırılmasıyla kullanıma hazır hale gelir (Arabi ve ark., 2021). Saflaştırma ve tespit gibi farklı alanlarda akademik düzeyde yürütülen MIP çalışmaları mevcutken (BelBruno, 2018; Acet ve Odabaşı, 2022; Dikici ve ark., 2023; Karasu ve ark., 2023) MIP'ler endüstriyel boyutta da kendini göstermektedir (Wackerlig ve Schirhagl, 2016).

Ayırma biliminde, analitik amaçlar ve biyomoleküllerin saflaştırılması için farklı şekil ve boyutlarda birçok türde adsorban hazırlanmış ve kullanılmıştır. Ancak bunlar arasında makrogözenekli kriyojeller, özellikle viskoz ortamlarda kütle transferi kısıtlaması olmaksızın üstün akış dinamikleri ile ön plana çıkmış ve kimya, biyoloji ve biyoteknoloji gibi alanlarda geniş bir kullanım alanı bulmuştur (Baydemir ve ark., 2009; Ertürk ve Mattiasson, 2014).

Burada, naringenin baskılanmış kriyojel membranlar sentezlenmiş ve sulu çözülden naringenin molekülü için ayırma kapasiteleri ve seçicilikleri açısından test edilmiştir. Polimerizasyon için fonksiyonel monomer, yardımcı monomer ve çapraz bağlayıcı olarak sırasıyla akrilamid, 2-hidroksietil metakrilat ve N,N'-metilenbis (akrilamid) kullanılmıştır. Seçicilik çalışmaları için naringenin ile yapısal benzerliğinden dolayı gallik asit yarışmacı ajan olarak kullanılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Materyal

Çalışmalarda naringenin kalıp molekül, akrilamid (AAM) fonksiyonel monomer, 2-hidroksietil metakrilat (HEMA) yardımcı monomer; N,N'-metilen-bisakrilamid (MBAAM) çapraz bağlayıcı, amonyum persülfat (APS) ve N,N,N',N'-tetrametil etilendiamin (TEMED) çift radikal oluşturucu ve katalizör çift olarak kullanılmıştır. Çalışmalarda kullanılan kimyasallar Sigma (St. Louis, ABD)'dan temin edilmiştir. Kullanılan su yüksek akışlı selüloz asetat membran (Barnstead D2731) ile ters ozmos Barnstead (Dubuque, IA) ROPure LP® birimi ardından Barnstead D3804 NANOpure®organik/kolloid uzaklaştırma birimi ve iyon değiştirici dolgu kolon sistemi kullanılarak saflaştırılmıştır (18 MΩ/cm).

2.2. Yöntem

2.2.1. Naringenin baskılanmış membranların hazırlanması

Naringenin (0,027 g) ve akrilamid (0,021 g) tartılıp 0,5 mL etil alkolde çözündürülmüştür. Başka bir tüpte (0,28 g) MBAAM saf suda çözündürülerek üzerine (0,2 g) HEMA ve 10 µL APS (%10) ilave edilerek karıştırılmıştır. Daha sonra iki karışım birleştirilerek toplanda 5 mL olacak şekilde saf su ile hacim tamamlanmıştır. Son olarak 10 µL TEMED ilavesi yapılarak karıştırılan çözelti, daha önceden hazırlanmış -18 °C'daki şırıngalar içine dökülerek dondurucuya konulmuş ve yaklaşık 12 saat sonra dondurucudan çıkartılarak çözülmeye bırakılmıştır. Böylece naringenin baskılanmış polimerik kriyojel membranlar elde edilmiştir. Çalışmada naringenin molekülü kullanılmaksızın moleküler baskılanmamış polimerler de (NIP) hazırlanarak karşılaştırmalı test edilmiştir.

2.2.2. Naringenin için çalışma dalga boyunun belirlenmesi ve kalibrasyon grafiğinin oluşturulması

Çalışmalarda naringenin maksimum absorpsiyon yaptığı dalga boyunun tespit edilmesi verilerin analizi için birinci derecede önemlidir. Bu amaçla literatür bilgileri de dikkate alınarak 250-350 nm aralığında naringenin için absorpsiyon taraması yapılmıştır ve maksimum absorpsiyonun görüldüğü dalga boyu (290 nm) kullanılarak kalibrasyon eğrisi grafiği hazırlanmıştır. Bu amaçla etanol çözücü olarak kullanılarak naringenin için 0,02 mg/mL'lik bir stok çözelti hazırlanmıştır. Hazırlanan stok çözülden seyreltmeler yapılarak 0,02-0,00125 mg/mL konsantrasyon aralığında çözeltiler elde edilmiş ve daha önce tespit edilen maksimum absorpsiyonun gözlemlendiği 290 nm dalga boyunda absorpsiyon ölçümleri alınmış ve bu veriler kullanılarak kalibrasyon eğrisi elde edilmiştir.

2.3. Karakterizasyon Çalışmaları

2.3.1 Termogravimetrik analiz

Sentezlenen naringenin baskılanmış kriyojel membranların yapısında naringenin varlığını göstermek amacıyla termogravimetrik analizler (Hitachi Exstar marka, SII TG/DTA 7300 model Termogravimetrik Analiz Cihazı (DTA-TG)) yapılmıştır. Bu çalışmalarda naringenin baskılanmamış polimerik kriyojel membranlar da referans polimer olarak kullanılmıştır. Analiz çalışmaları için MIP ve NIP polimerik örnekler 60 °C'deki vakumlu etüvde sabit tartıma gelene kadar kurutulmuş, ardından dinamik azot atmosferinde 700 °C'a kadar ısıtılmıştır.

2.3.2 Elementel analiz

Hazırlanan naringenin baskılanmış ve baskılanmamış kriyojel membranlar, elementel yapı açısından da naringenin varlığını göstermek amacıyla elementel analiz cihazı (Thermo, Flash 2000 model) ile de incelenmiştir. Analizlerde C, H ve N element yüzdelilerinin tayini ile ilerleme yapılmıştır. Cihazda taşıyıcı gaz olarak helyum gazı (He), yakıcı gaz olarak ise oksijen gazı kullanılmıştır. Analiz çalışmaları için MIP ve NIP polimerik örnekler 60 °C'deki vakumlu etüvde sabit tartıma gelene kadar kurutulmuş ve elementel analiz çalışmalarına geçilmiştir.

2.3.3 Denge şişme çalışmaları

Denge şişme oranlarının belirlenmesi için önceden hazırlanmış kriyojel membranlar vakum etüvünde 60 °C'de sabit tartıma gelene kadar kurutulmuş ve kuru kriyojel ağırlığı (W_0) tespit edilmiştir. İkinci aşamada, kriyojel örnekleri 50 mL saf su içine atılmış ve belirli zaman aralıklarında saf su içinden çıkarılan kriyojel örneklerinin yüzeylerindeki fazla su bir kağıt peçete vasıtasıyla hafifçe uzaklaştırılmış ve denge ağırlığını bulmak amacıyla tartılmıştır. Denge şişme ağırlığı (W_s) elde edildikten sonra Eşitlik 1'de değerler yerine konularak hesaplama yapılmıştır.

$$\text{Şişme oranı (\%)} = \frac{W_s - W_0}{W_0} \times 100 \quad (1)$$

2.4 Naringenin İçin Sulu Ortamdan Adsorpsiyon Çalışmaları

2.4.1 Naringenin adsorpsiyonuna derişimin etkisi

Naringenin adsorpsiyonuna derişimin etkisini görmek amacıyla farklı derişimlerde naringenin çözeltileri hazırlanmış ve hazırlanan bu çözeltiler ile kriyojel örnekleri çalkalamalı su banyosunda muamele edilerek absorbans ölçümleri alınmış ve 290 nm'de UV-Vis spektrofotometre kullanılarak değerlendirilmiştir. Spektrofotometrik okumalar Eşitlik 2'de yerine konularak matematiksel olarak ifade edilmiştir.

$$q = \frac{(C_i - C_f) \times V}{m} \quad (2)$$

Burada q , gram polimere adsorbe olmuş naringenin miktarı (mg/g), C_i ve C_f sırasıyla adsorpsiyon öncesi ve sonrası çözeltilerdeki naringenin derişimlerini (mg/mL), V çözelti hacmi (mL), m ise kuru kriyojel ağırlığını (g) temsil etmektedir.

2.4.2 Seçicilik deneyleri

Naringenin baskılanmış kriyojel membranların naringenine karşı seçiciliğini test etmek amacıyla gallik asit yarışmacı molekül olarak kullanılmıştır. Gallik asit molekülünün naringenine olan moleküler benzerliğinden dolayı yarışmacı ajan olarak kullanılmasına karar verilmiştir. Gallik asit için yapılan absorbans taramasında maksimum absorbans 212 nm'de alınmış ve molekülün bundan sonraki okumaları bu dalga boyunda gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler Eşitlik 2 kullanılarak değerlendirilmiştir.

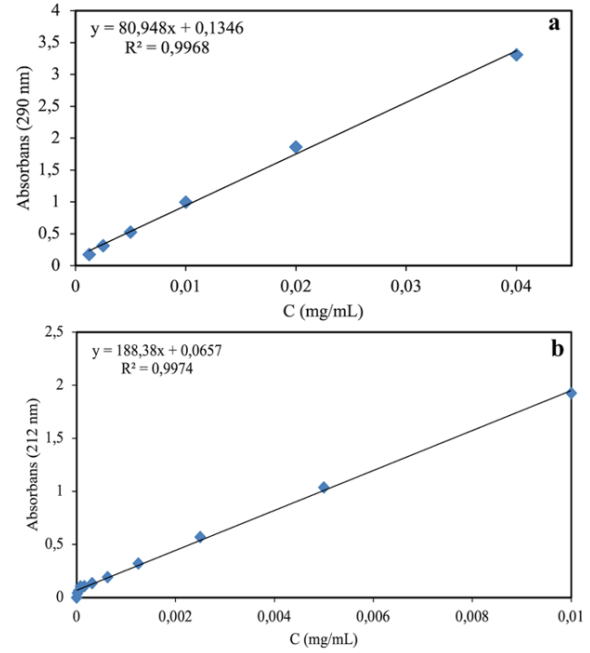
3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Karakterizasyon Çalışmaları

Kalıp molekül ve yarışmacı ajan için çalışma dalga boyunun belirlenmesi ve kalibrasyon grafiğinin oluşturulması aşaması bu tür çalışmalar için oldukça önemlidir. Çalışmada naringenin için 250-350 nm ve gallik asit için 200-350 nm dalga boyu aralığında adsorpsiyon taraması gerçekleştirilmiş ve elde edilen maksimum dalga boyları (naringenin için 290 nm, gallik asit için 212 nm) çalışma boyunca bu iki molekülün

okumaları için kullanılmıştır.

Çalışmada elde edilen adsorpsiyon ölçümlerini konsantrasyon birimine dönüştürmek amacıyla da bu moleküller için kalibrasyon grafikleri elde edilmiş, bu amaçla farklı konsantrasyonda hazırlanan naringenin ve gallik asit çözeltilerinin 290 nm ve 212 nm'deki absorbans ölçümleri alınarak grafiğe geçirilmiş ve elde edilen kalibrasyon eğrileri Şekil 1'de verilmiştir.

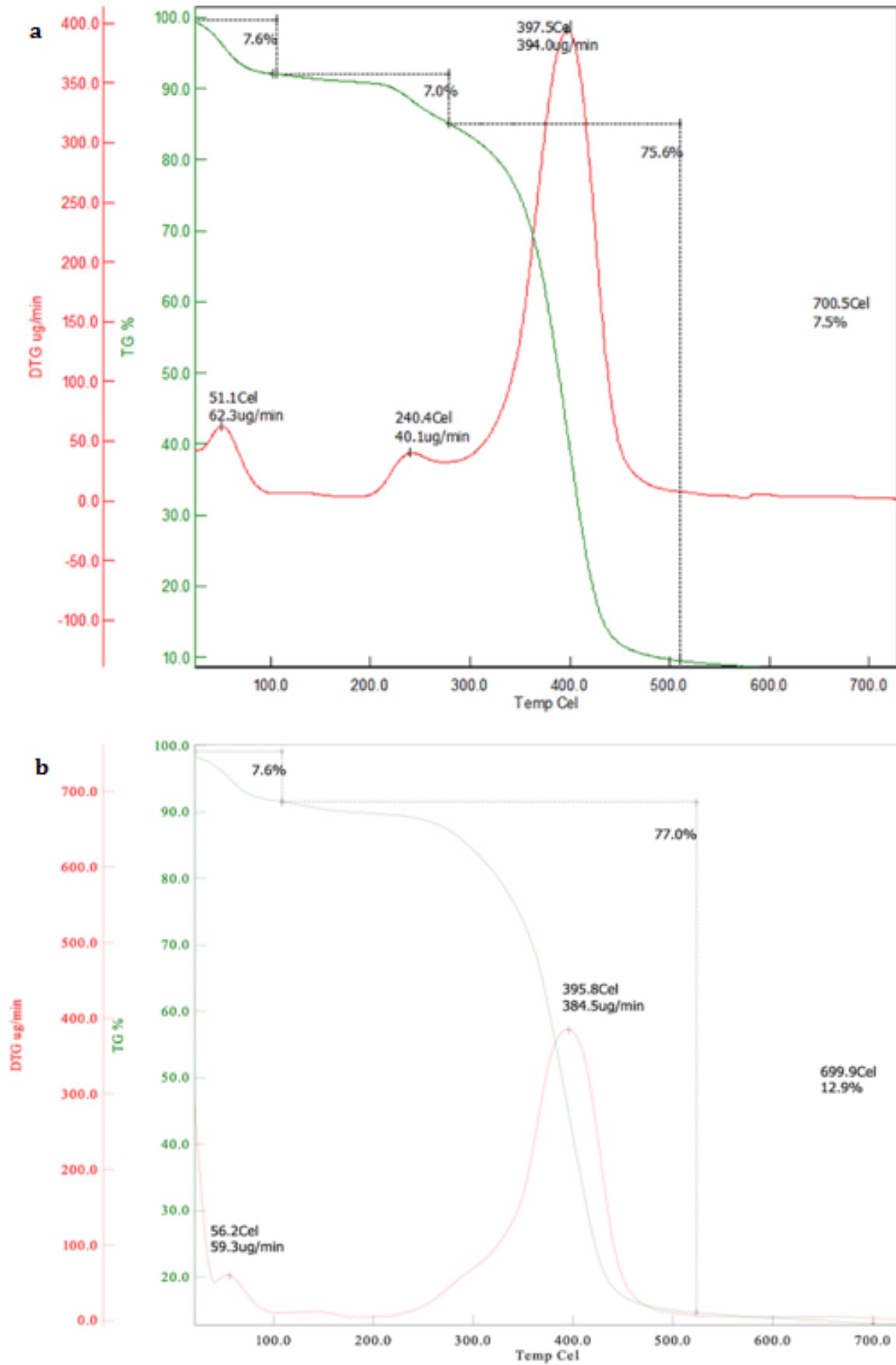


Şekil 1. Naringenin (a) ve gallik asit (b) için sırasıyla 290 ve 212 nm'de alınan kalibrasyon eğrileri.

Polimerik yapıya naringenin molekülünün girip girmediğini test amacıyla yapılan termogravimetrik analiz sonuçları Şekil 2'de verilmiştir. Şekil 2a'da naringenin baskılanmış kriyojel membranların analizleri verilmişken, Şekil 2b'de ise baskılanmamış polimerin termogravimetrik analiz sonuçları görülmektedir.

Sonuçlara göre her iki grafik içinde 100 °C'a kadar %7,6 su bulunmaktadır. Naringenin baskılanmış polimer için 240,4 °C'da ikinci kademe bozulma oluşmuştur, burada %7'lik bir oran görülmektedir. Erime noktası 251 °C olan naringenin göz önüne alındığında, bu %7'lik oranı naringenine atfedilebilir. 397,5 ve 395,8 °C'deki bozulma ise polimere aittir ve bu sıcaklıklardaki oranlar ise %77,09 ve %75,69 olduğu görülmektedir. Naringenin baskılanmış polimerin bozulma sıcaklığı 1,7 °C kadar yükselmiştir.

Polimerik yapıya naringenin molekülünün girip girmediğini incelemek amacıyla elementel analiz çalışmaları da gerçekleştirilmiştir. Azot naringeninde olmayan fakat polimerin yapısında bulunan bir element iken karbon ve hidrojen polimerik yapı ve naringeninde bulunan ortak elementlerdir. Bu nedenle stokiyometrik analiz naringeninde bulunmayan fakat polimerin yapısında bulunan azot değeri üzerinden yapılmıştır. Yapılan elementel analiz sonuçları Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 2. Naringenin baskılanmış MIP (a) ve baskılanmamış NIP (b) kriyojel membranların termogravimetrik analiz grafikleri.

Tablo 1. Naringenin baskılanmış ve baskılanmamış (b) kriyojel membranların elementel analiz sonuçları

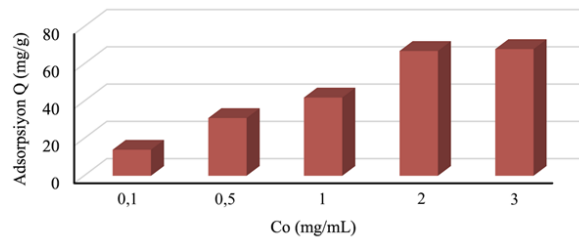
Polimer	Örnek	%N	%C	%H	Toplam	Ort. %N	Ort. %C	Ort. %H
Naringenin baskılanmış membran (MIP)	1	7,49	51,79	7,37	66,64	7,23	51,27	7,07
	2	6,81	51,04	6,74	64,59			
	3	7,38	50,99	7,09	65,46			
Naringenin baskılanmamış membran (NIP)	1	8,98	51,57	7,17	67,72	8,64	51,74	7,17
	2	8,43	51,07	6,99	66,50			
	3	8,50	52,59	7,35	68,44			

Tablo 1’den görüleceği gibi baskılanmış polimer için yapılan 3 bağımsız test ortalaması %7,23 iken bu oran baskılanmamış polimerde naringenin olamayışından dolayı ortalama %8,64’e yükselmektedir. Bu yükselmeyi oluşturan etki stokiometrik olarak çözümlendiğinde moleküler baskılanmış polimerdeki naringenin miktarı %16,36 olarak hesaplanmaktadır.

Moleküler baskılanmış polimerlerin suya karşı olan davranışları da karakterizasyon açısından önemlidir. Burada, naringenin baskılanmış ve baskılanmamış polimerik kriyojellerin su alma kapasiteleri de incelenmiş ve yüzde şişme oranları MIP için %850 olarak hesaplanmışken bu oran NIP için %967 olarak bulunmuştur. MIP için bulunan daha düşük şişme oranı MIP’de bulunan hidrofobik yapıdaki naringenin molekülünün suyu itmesine yorumlanmıştır.

3.2. Adsorpsiyon Çalışmaları ve Seçicilik Testleri

Naringenin adsorpsiyonuna başlangıç derişiminin etkisini incelemek için pH 5’e ayarlanmış naringenin çözeltisinin farklı derişimleri (0,1 – 3 mg/mL aralığında) ile naringenin baskılanmış polimerler 30 dak süreyle etkileştirilmiş ve başlangıç ve son derişim okumaları spektrofotometrik olarak okunmuş ve elde edilen bulgular Şekil 3’te verilmiştir.



Şekil 3. Naringenin baskılanmış polimerlere naringenin adsorpsiyonuna derişimin etkisi.

Şekil 3’te görüldüğü gibi naringenin adsorpsiyonu naringenin başlangıç derişiminin artması ile artmış ve yaklaşık 3 mg/mL değerinde baskılanmış kriyojel membranlardaki üç boyutlu bağlanma boşluklarının doygunluğa ulaşması ile dengeye gelmiştir. Maksimum naringenin bağlanma kapasitesi baskılanmış polimerler için yaklaşık 69 mg/g olmuşken bu değer baskılanmamış polimerlerde yaklaşık 14 mg/g olarak bulunmuştur. Naringenin baskılanmış polimerlerden naringenin desorpsiyonu için etanol kullanılmıştır ve %90’ın üzerinde bir desorpsiyon sağlanmıştır.

Moleküler baskılanmış polimerler için kovalent olmayan etkileşimlerin kullanılması polimerin kolay hazırlanması

açısından büyük avantaj sağlamaktadır. Adsorpsiyon desorpsiyon reaksiyonlarında ve seçicilik çalışmalarında reaksiyon dengesini kompleks oluşumu yönüne kaydırmak için optimal fonksiyonel monomer/kalıp oranlarının kullanılması önem arz etmektedir. Üç boyutlu boşluklarda düzensiz olarak yönlendirilmiş fonksiyonel gruplar ise özgül olmayan (non-spesifik) bağlanmalara neden olur. Moleküler baskılanmış polimerler konusunda daha önceki tecrübelerimizi de dikkate alarak farklı denemelerden sonra ulaştığımız 1/3 (kalıp molekül/fonksiyonel molekül) oranıyla hazırladığımız naringenin baskılanmış polimerler ile yaptığımız seçicilik deneylerimizde kullandığımız bazı denklemler aşağıda verilmiştir. Burada, moleküler baskılanmış polimerlerin bağlama seçiciliğinin statik dağılım sabitini belirlemek üzere K_D (mL/g), ayırma faktörü α ve ayırma faktörü oranı β ifadeleri ile gösterilebilir. K_D , α ve β sembollerini Eşitlik 3 ve 4’de verildiği şekilde tanımlayabiliriz:

$$K_D = C_p / C_s \quad (3)$$

burada C_p gram polimer başına tutunan naringenin molekülü sayısı (mg/g), C_s çözeltideki naringenin konsantrasyonunu (mg/mL) sembolize etmektedir.

$$\alpha = K_{Dk} / K_{Dr} \quad (4)$$

K_{Dk} , K_{Dr} , sırası ile kalıp ve rekabetçi molekül için statik dağılım sabitini (K_D) vermektedir. Son olarak ayırma faktörü oranı β ise aşağıda verilen Eşitlik 5 ile hesaplanmaktadır.

$$\beta = \alpha_M / \alpha_C \quad (5)$$

burada β ’nin 1,0 olması ayırımın gerçekleşmediğini yani moleküler baskılanmış polimerin çalışmadığını gösterir. Çalışma sonuçlarından elde edilen sonuçlar irdelendiğinde naringenin baskılanmış ve baskılanmamış polimerlerin naringenine için K_D değerleri sırasıyla yaklaşık olarak 11,9 ve 6 bulunmuşken bu değer gallik asit için sırasıyla 14,3 ve 14,4 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen K_D değerlerinden α değerleri 0,84 ve 0,42 bulunmuşken β değeri yaklaşık olarak 2 bulunmuştur. Bu değer naringenin baskılanmış polimerlerin baskılanmamış polimerlere oranla naringenine karşı 2 kat kadar daha özgül olduğunu göstermektedir.

4. Sonuç

Literatürde naringenin tayini ve ayrıştırılmasına yönelik pek çok çalışma olmasına rağmen, naringenin saflaştırmasına ile ilgili çalışmalara rastlanmamıştır (Cordenonsi ve ark., 2016; Rebello ve ark., 2020). Bununla birlikte, naringenin glikozidik türevi olan naringin ile ilgili hem MIP hem de diğer kromatografik bazlı saflaştırma çalışmaları araştırmacılar tarafından yapılmıştır (Trotta ve ark., 2002). Naringenin içi MIP temelli saflaştırma çalışmalarının olmayışı açısından bu çalışma önem arz etmektedir.

Katkı Oranı Beyanı

Yazar(lar)ın katkı yüzdesi aşağıda verilmiştir. Tüm yazarlar makaleyi incelemiş ve onaylamıştır.

	E.D.	M.O.
K	50	50
T	50	50
Y	50	50
VTI	100	
VAY	50	50
KT	100	
YZ	100	
KI		100
GR		100
PY	100	
FA	100	

K= kavram, T= tasarım, Y= yönetim, VTI= veri toplama ve/veya işleme, VAY= veri analizi ve/veya yorumlama, KT= kaynak tarama, YZ= Yazım, KI= kritik inceleme, GR= gönderim ve revizyon, PY= proje yönetimi, FA= fon alımı.

Çatışma Beyanı

Yazarlar bu çalışmada hiçbir çıkar ilişkisi olmadığını beyan etmektedirler.

Etik Onay Beyanı

Hayvanlar ve insanlar üzerinde herhangi bir çalışma yapılmadığı için bu araştırma için etik kurul onayı alınmamıştır.

Destek ve Teşekkür Beyanı

Bu çalışma Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu tarafından desteklenmiştir (Hibe Numarası: 121Z173). Bu destek için TÜBİTAK'a çok teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Acet Ö, Noma SAA, Acet BÖ, Dikici E, Osman B. Odabaşı M. 2023. A rational approach for 3D recognition and removal of L-asparagine via molecularly imprinted membranes. *J Pharm Biomed Analysis*, 226: 115250.
- Acet Ö, Odabaşı M. 2022. Detection of N-hexanoyl-L-homoserine lactone via MIP-based QCM sensor: preparation and characterization. *Polymer Bul*, 80: 6657-6674.
- Arabi M, Ostovan A, Li J, Wang X, Zhang Z, Choo J, Chen L. 2021. Molecular imprinting: green perspectives and strategies. *Adv*

Mater, 33: 2100543.

- Baydemir G, Bereli N, Andaç M, Say R, Galaev IY, Denizli A. 2009. Bilirubin recognition via molecularly imprinted supermacroporous cryogels. *Colloids Surf B: Biointerfaces*, 68: 33-38.
- BelBruno JJ. 2018. Molecularly imprinted polymers. *Chem Rev*, 119: 94-119.
- Chang H, Chang Y, Lai S, Chen K, Wang K, Chiu T, Chang F, Hsu L. 2017. Naringenin inhibits migration of lung cancer cells via the inhibition of matrix metalloproteinases-2 and-9. *Exp Therap Medic*, 13: 739-744.
- Choudhury R, Chowrimootoo G, Srai K, Debnam E, Rice-Evans CA. 1999. Interactions of the flavonoid naringenin in the gastrointestinal tract and the influence of glycosylation. *Biochem Biophys Res Commun*, 265: 410-415.
- Cordenonsi LM, Bromberger NG, Raffin RP, Scherman EE. 2016. Simultaneous separation and sensitive detection of naringin and naringenin in nanoparticles by chromatographic method indicating stability and photodegradation kinetics. *Biomed Chromatog*, 30: 155-162.
- Dikici E, Acet BÖ, Acet Ö, Odabaşı M. 2023. "Lab-on-pol" colorimetric sensor platforms: Melamine detection with color change on melamine imprinted membranes. *Microchem J*, 188: 108468.
- Ertürk G, Mattiasson B. 2014. Cryogels-versatile tools in bioseparation. *J Chromatog A*, 1357: 24-35.
- Haupt K, Mosbach K. 2000. Molecularly imprinted polymers and their use in biomimetic sensors. *Chem Rev*, 100: 2495-2504.
- Inanan T, Tüzmen N, Akgöl S, Denizli A. 2016. Selective cholesterol adsorption by molecular imprinted polymeric nanospheres and application to GIMS. *Int J Biol Macromol*, 92: 451-460.
- Karasu T, Özgür E, Uzun L. 2023. MIP-on-a-Chip: Artificial receptors on microfluidic platforms for biomedical applications. *J Pharm Biomed Analysis*, 226: 115257.
- Noori S, Tavirani MR, Deravi N, Rabbani MIM, Zarghi A. 2020. Naringenin enhances the anti-cancer effect of cyclophosphamide against MDA-MB-231 breast cancer cells via targeting the STAT3 signaling pathway. *Iranian J Pharm Res*, 19: 122.
- Odabaşı M, Say R, Denizli A. 2007. Molecular imprinted particles for lysozyme purification. *Mater Sci Eng C*, 27: 90-99.
- Patel K, Singh GK, Patel DK. 2018. A review on pharmacological and analytical aspects of naringenin. *Chinese J Integrat Medic*, 24: 551-560.
- Rebello CJ, Beyl RA, Lertora JLL, Greenway FL, Ravussin E, Ribnicky DM, Poulev A, Kennedy BJ, Castro HF, Campagna SR. 2020. Safety and pharmacokinetics of naringenin: A randomized, controlled, single-ascending-dose clinical trial. *Diabet Obesity Metabol*, 22: 91-98.
- Sant A, Ahmad I, Bhatia S. 2022. Extraction and Hydrolysis of Naringin from Citrus fruit peels. *IOP Conf Ser: Mate Sci Eng*, 1263: 12031.
- Stabrauskiene J, Kopustinskiene DM, Lazauskas R, Bernatoniene J. 2022. Naringin and naringenin: Their mechanisms of action and the potential anticancer activities. *Biomedicines*, 10: 1686.
- Trotta F, Drioli E, Baggiani C, Lacopo D. 2002. Molecular imprinted polymeric membrane for naringin recognition. *J Membrane Sci*, 201: 77-84.
- Wackerlig J, Schirhagl R. 2016. Applications of molecularly imprinted polymer nanoparticles and their advances toward industrial use: a review. *Analyt Chem*, 88: 250-261.



ORTALAMA KAYMA DALGASI HIZININ FARKLI YÖNTEMLERLE BELİRLENMESİ VE EDİRNE İLİ ÖZELİNDE DEĞERLENDİRİLMESİ

Erdiñç KESKİN¹, Kanat Burak BOZDOĞAN^{2*}

¹Kırklareli University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, 39100, Kırklareli, Türkiye

²Çanakkale Onsekiz Mart University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, 17100, Çanakkale, Türkiye

Özet: Yapı tasarımı sürecinde zemin sınıfının doğru olarak tespit edilmesi oldukça önemlidir. Yapı-zemin etkileşiminde binalara etkiyen deprem yüklerini belirleyen en önemli parametrelerden birisi zemin hakim periyodudur. Zemin hakim periyodu ise ortalama kayma dalgası hızı ile ilişkilidir. Birçok deprem yönetmeliğinde zemin sınıflarının belirlenmesinde kullanılan önemli parametrelerden birisinin ortalama kayma dalgası hızı olduğu görülmektedir. Ortalama kayma dalgası hızı ve buradan hareketle zemin hakim periyodunun belirlenmesi ile ilgili literatürde ve farklı deprem yönetmeliklerinde önerilen birçok bağıntı bulunmaktadır. Bu çalışmada ilk olarak literatürde hali hazırda kullanılan yaklaşık bağıntılar irdelenmiş ve kesin çözüm olarak nitelendirilebilecek çözümler karşılaştırılmıştır. Çalışmada kesin çözüm olarak zemin hakim periyodu esas alınmıştır. Kesin çözüm için literatürde yer alan değiştirilmiş sonlu elemanlar taşıma matrisi yöntemi kullanılmıştır. Ayrıca bu yöntemi doğrulamak için Transfer Function Tool programı kullanılarak transfer fonksiyonları elde edilerek zemin hakim periyotları bulunmuştur. İki yöntemle elde edilen kesin periyot değerlerinin birebir aynı olduğu görülmüştür. Bu kapsamda zemin hakim periyodunun hesaplanması için biri kesin çözüm olmak üzere 6 farklı yöntem belirlenmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında ise Edirne ili sınırlarında bulunan 10 farklı sahadan alınan zemin etütleri incelenmiştir. İncelenen zemin etüt sonuçlarından faydalanılarak bu sahalara ait zemin profilleri belirlenmiştir. Ardından belirlenen zemin profilleri kullanılarak literatürde önerilen bağıntıların performansları irdelenmiştir. Çalışma sonucunda deprem yönetmelikleri arasında kesin çözüme en yakın sonucun Japon Deprem Yönetmeliğinin önerdiği bağıntıda gerçekleştiği sonucuna varılmıştır.

Anahtar kelimeler: Kayma dalgası hızı, Zemin hakim periyodu, Edirne, Deprem yönetmelikleri, Transfer fonksiyonları


Determination of the Average Shear Velocity with Different Methods and Evaluation of Edirne Province

Abstract: It is very important to determine the soil class correctly in the building design process. One of the most important parameters determining the earthquake loads acting on the buildings in the soil -structure interaction is the fundamental soil period. The fundamental soil period is related to the average shear wave velocity. It is seen that one of the important parameters used in the determination of soil classes in many earthquake codes is the average shear wave velocity. There are many correlations proposed in the literature and different earthquake codes for the determination of average shear wave velocity and fundamental soil period. Within the scope of the study, firstly, the approximate relations currently used in the literature were examined and compared with the solution that can be described as the exact solution. In the study, the fundamental soil period was taken as an exact solution. For the exact solution, the modified finite element transfer matrix method in the literature was used. In addition, to verify this method, transfer functions were obtained using the Transfer Function Tool program, and fundamental soil periods were found. It has been observed that the exact period values obtained by the two methods are exactly the same. In this context, 6 different methods, one of which is the exact solution, have been determined for the calculation of the fundamental soil period. In the second stage of the study, soil surveys taken from 10 different site within the borders of Edirne province were examined. Soil profiles of these sites were determined by using the soil survey results. Then, using the determined soil profiles, the performances of the relations suggested in the literature were examined. As a result of the study, it was concluded that the closest result to the final solution among earthquake regulations was realized in the correlation suggested by the Japanese Earthquake Code.

Keywords: Average shear velocity, fundamental soil period, Edirne, Earthquake codes, transfer function

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Çanakkale Onsekiz Mart University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, 17100, Çanakkale, Türkiye

E mail: kbbozdogan@comu.edu.tr (K. B. Bozdoğan)

Erdiñç KESKİN  <https://orcid.org/0000-0002-8728-2906>

Kanat Burak BOZDOĞAN  <https://orcid.org/0000-0001-7528-2418>

Gönderi: 14 Mart 2023

Kabul: 10 Nisan 2023

Yayınlanma: 01 Temmuz 2023

Received: March 14, 2023

Accepted: April 10, 2023

Published: July 01, 2023

Cite as: Keskin E, Bozdoğan KB. 2023. Determination of the average shear velocity with different methods and evaluation of Edirne province. BSJ Eng Sci, 6(3): 155-164.

1. Giriş

Zeminlerin yer hareketi etkisinde davranışlarının belirlenmesinde kullanılan en önemli parametrelerden birisi zemin hakim periyodudur. Zemin hakim periyodu yalnızca zeminlerin davranışını etkilemeyip aynı zamanda yapılara etkiyen deprem yüklerinin

büyükliğini belirleyen önemli bir karakteristiktir. Şili gibi bazı deprem yönetmeliklerinde zemin sınıfları zemin hakim periyotlarına bağlı olarak belirlenmektedir. Diğer bir çok deprem yönetmeliğinde ise zemin sınıflandırılmasında zemin hakim periyodu ile doğrudan ilişkili olan ortalama kayma dalgası hızı kullanılmaktadır.



Zemin hakim periyodunu etkileyen faktörler kayma dalgası hızları ve tabaka kalınlıklarıdır. Ortalama kayma dalgası hızı ($V_{s,30}$) National Earthquake Hazard Reduction Programme (NEHRP), Building Seismic Safety Council (BSSC), Eurocode 8 (EC8), Türk Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) vb. bir çok deprem yönetmeliğinde zeminin sınıflandırılması ve zemin hakim periyodunun belirlenmesi açısından oldukça önemli bir parametredir. Ayrıca kayma dalgası hızı, kayma modülü, elastisite modülü, sıvılaşma potansiyeli, mikro bölgeleme çalışmaları, zemin büyütmesi, zemin hakim periyodunun belirlenmesi vb konularda Deprem mühendisleri tarafından yaygın olarak kullanılmaktadır (Sil ve Sitharam, 2014; Babayev ve Telesca, 2016; Wang ve ark., 2018; Zhang ve Zhao, 2018; Verdugo, 2019; Sadek ve ark., 2020; Yaghmaei-Sabegh ve Rupakhety, 2020; Raddatz ve ark., 2021; Zhang ve Zhao, 2021; Diaz Segura, 2021; Holtrigter ve Thorp, 2021).

Literatürde ortalama kayma dalgası hızı ve zemin hakim periyodunun bulunması için yapılan bazı çalışmalar özet olarak aşağıda sunulmuştur. Dobry ve ark. (1976), zemin hakim periyodunu tahmin etmek için doğrusal veya eşdeğer doğrusal modeli kullanarak basitleştirilmiş çözümler ortaya koymuşlardır. Bu amaçla 76 farklı zemin profilinin periyotları 7 farklı yöntemle belirlenmiş ve bu değerler kesin değerlerle karşılaştırılmıştır.

Mariano ve ark. (2005), EC8 ile Japon Deprem Yönetmeliğini karşılaştırmışlardır. Zemin sınıflandırması için EC8'de $V_{s,30}$ parametresi kullanılırken, Japon Deprem Yönetmeliği'nde ise zemin hakim periyodu kullanılmaktadır. Japon Deprem Yönetmeliğinde kullanılan zemin periyodu ile $V_{s,30}$ arasındaki ilişkiyi kullanarak her iki yönetmelikte kullanılan zemin sınıflandırma sistemleri karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda her iki yönetmeliğin birbirine yakın sonuçlar verdiği görülmüştür.

Tena-Colunga ve ark. (2009), Meksika Deprem Yönetmeliği ve dünyada yaygın olarak kullanılan diğer deprem yönetmeliklerini incelemişlerdir. Çalışmalarından da görüldüğü üzere Meksika Deprem Yönetmeliğinin önerdiği periyot hesabı ile EC8'de önerilen periyot hesabı arasında farklılıklar bulunmaktadır.

Lee ve Trifunac (2010), birçok deprem yönetmeliğinde ortalama kayma dalgası hızının tasarım parametrelerinin bulunmasında kullanıldığını belirtmişlerdir. Ortalama kayma dalgası hızının zemin yüzeyinden itibaren 30 m'lik kısmı temsil etmesinden dolayı kısıtlarının olduğunu savunmuşlardır. Bu nedenle daha derinleri de kapsayan bir parametre kullanmanın daha doğru olacağını örneklerle açıklamışlardır.

Luzi ve ark. (2011), NEHRP, BSSC, EC 8 ve Italian code "Norme tecniche per le costruzioni" (NTC) yönetmeliklerinin zemin sınıflandırmasında benzer teknikler kullanıldığını belirtmişlerdir. Bu yönetmeliklerin tamamının $V_{s,30}$ parametresini kullanarak zeminleri sınıflandırdığını ve bu sınıflandırmanın yetersiz kaldığını savunmuşlardır. Bu

nedenle $V_{s,30}$ ile birlikte zemin frekansının (f_0) bir arada kullanılmasını önermişlerdir. Her iki parametrenin bir arada kullanılması ile birlikte gerçeğe daha yakın sonuçlar elde edildiğini belirtmişlerdir.

Wang ve ark. (2018), zemin hakim periyodunun tahmini için kayma dalgası hızı kullanılan 8 farklı yöntemi kullanmışlardır. Bu yöntemler hem analitik çözümleri hem de ampirik formüller kullanılarak elde edilen çözümleri kapsamaktadır. Sonuç olarak doğrusal hız modelinin zemin hakim periyodunun hesabında en uygun sonucu verdiği gözlenmiştir.

Miao ve Wang (2018), zeminin doğal periyodu ile ilgili çalışmalarında Kik-net'ten Ocak 2009 ile Haziran 2014 arasında alınan yer hareketi verilerini kullanmışlardır. Zemin hakim periyodu ile yüzey rijitliği arasında bir korelasyon olduğunu ve bu korelasyonun $V_{s,30}$ ile sınırlandırıldığını belirtmişlerdir.

Kim (2019), çalışmasında ortalama kayma dalgası hızını, çok tabakalı zemin profillerinde transfer fonksiyonu kullanarak belirlemiştir. Transfer fonksiyonu ile bulunmuş oldukları sonuçları, sonlu elemanlar yöntemi ve özdeğer analizi ile doğrulamıştır. Ayrıca çalışmada Japon yönetmeliğinde kullanılan ortalama kayma dalgası hızı bağıntısının Meksika yönetmeliğinde kullanılan ortalama kayma dalgası bağıntısına oranla daha iyi sonuç verdiği gösterilmiştir.

Bu çalışmada ise literatürde kullanılan ortalama kayma dalgası hızı bağıntıları ele alınarak Edirne ili özelinde değerlendirilmiştir. Değerlendirmenin yapılabilmesi amacıyla Edirne ili sınırlarında bulunan ve 10 farklı sahadan alınan sismik zemin etütleri kullanılmıştır. Bu zemin etütleri kullanılarak kayma dalgası hızının derinlikle değişimleri belirlenmiştir. Çalışma kapsamında literatürde bulunan 5 farklı bağıntı kullanılarak öncelikle bu profillere ait ortalama kayma dalga hızları belirlenmiştir. Daha sonra literatürden bilinen bağıntı yardımıyla hakim periyotlar elde edilmiştir. Elde edilen zemin hakim periyodu değerleri, tek boyutlu analizle analitik olarak elde edilen zemin hakim periyodu değerleri ile karşılaştırılarak yakınsaklıkları belirlenmiştir. Çalışmada zeminin doğrusal davranış gösterdiği kabul edilmiş olup modelleme için tek boyutlu zemin davranışı esas alınmıştır.

2. Literatürde Ortalama Kayma Dalgası Hızının Belirlenmesi için Yaygın Kullanılan Bağıntılar

Literatürde ortalama kayma dalgasının bulunması ile ilgili yaygın olarak kullanılan bağıntılara bu bölümde yer verilmiştir. Eşitlik 1'de NEHRP, BSSC, EC 8 ve TBDY'de ortalama kayma dalgası hızının (v_{sa}) bulunması ile ilgili önerilen bağıntı verilmiştir (TBDY,2018).

$$v_{sa} = \frac{H}{\sum_i^n \frac{d_i}{v_{si}}} \quad (1)$$

Burada H zemin profilinin toplam kalınlığını, d_i i. tabakanın kalınlığını ve v_{si} ise i. tabakanın ortalama kayma hızını göstermektedir.

Eşitlik 2 ve eşitlik 3’de ise literatürde sıklıkla kullanılan iki bağıntı verilmiştir (Takabatake ve ark., 2019). Bu bağıntılarda d_i i. tabakanın kalınlığını göstermektedir.

$$v_{sa} = \frac{\sum_{i=1}^n (d_i * v_{si})}{H} \quad (2)$$

$$v_{sa} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n d_i v_{si}^2}{H}} \quad (3)$$

Japon Deprem Yönetmeliğine göre yapılan periyot hesabında kullanılan bağıntı eşitlik 4’de verilmiştir (Mariano ve ark., 2005). Burada T_g zemin hakim periyodunu, L , anakaya ile temel arasındaki zemin tabaka sayısını, h_i , H_i ve V_i ise sırasıyla i. tabakadaki kalınlığı, derinliği ve kayma dalgası hızını temsil etmektedir.

$$T_g = \sqrt{32 \sum_{i=1}^L \frac{h_i \left(\frac{H_{i-1} + H_i}{2} \right)}{v_i^2}} \quad (4)$$

Meksika Deprem Yönetmeliğine göre periyot hesabı ise eşitlik 5 ve 6’da verilen bağıntılar kullanılarak yapılmaktadır (Tena-Colunga ve ark., 2009).

Tablo 1. Zemin sınıflandırılmasında kullanılan bağıntılar

Yöntem No	Tanımlama	Bağıntı	Referans
Yöntem 1 (Y1)		$v_{sa} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n d_i v_{si}^2}{H}}$	
Yöntem 2 (Y2)	Tabakaların kayma dalgası hızlarının ağırlıklı ortalaması	$v_{sa} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i v_{si}}{H}$	Takabatake vd., 2019
Yöntem 3 (Y3)	Meksika Deprem Yönetmeliği	$T_s = 4 \sqrt{\sum_{n=1}^N \frac{h_n}{G_n} \sum_{n=1}^N \rho_n h_n (w_n^2 + w_n w_{n-1} + w_{n-1}^2)}$	Tena-Colunga vd., 2009
Yöntem 4 (Y4)	Japon Deprem Yönetmeliği	$T_g = \sqrt{32 \sum_{i=1}^L \frac{h_i \left(\frac{H_{i-1} + H_i}{2} \right)}{v_i^2}}$	Mariano vd., 2005
Yöntem 5 (Y5)	TBDY	$v_{sa} = \frac{H}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{v_{si}}}$	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 2019

Çalışmada ortalama kayma dalgası hızları belirlendikten sonra 7 nolu bağıntıyla zemin hakim periyotları hesaplanmıştır. Kesin hakim periyodunun belirlenmesi için literatürde (Öztürk ve Bozdoğan, 2017) ayrıntıları verilen yöntem kullanılmıştır. Zemin dinamiğinde

$$T_s = 4 \sqrt{\sum_{n=1}^N \frac{h_n}{G_n} \sum_{n=1}^N \rho_n h_n (w_n^2 + w_n w_{n-1} + w_{n-1}^2)} \quad (5)$$

Burada T_s zemin hakim periyodunu, w ‘ler ağırlık fonksiyonlarını ve ρ ise zeminin birim kütlelerini göstermektedir. w fonksiyonu ise aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$w_n = \frac{\sum_{i=1}^n h_i / G_i}{\sum_{i=1}^N h_i / G_i}; \quad n = 1, 2, \dots, N \quad (6)$$

Bu bağıntılarda G_i i. tabakanın kayma rijitliğini göstermektedir. Periyotla ortalama kayma dalgası arasındaki ilişki ise eşitlik 7 de verilmiştir.

$$v_{sa} = \frac{4H}{T} \quad (7)$$

3. Materyal ve Yöntem

Bu bölümde kısaca çalışmada kullanılan yöntem ve sayısal örnekler özet olarak verilmiştir.

3.1. Yöntem

Çalışma kapsamında zemin sınıflandırılması için 5 farklı bağıntı kullanılmıştır. Kullanılan bağıntılar ve yöntemlere ait isimlendirmeler Tablo 1’de verilmiştir. Tablo 1’de görüldüğü üzere bazı bağıntılar doğrudan ortalama kayma dalgası hızının bulunmasını içerirken bazılarında zemin hakim periyodu hesabını içermektedir.

bilindiği üzere deprem dalgalarının zemin tabakaları arasında yayılmasını temsil etmek için kullanılan en basit model zemini izotropik, homojen ve elastik, dalgaları ise düşey yayılan kayma dalgası olarak kabul eden modeldir. Bu kabuller altında zemin hareketi tek boyutlu olarak

idealize edilmektedir. (Öztürk ve Bozdoğan, 2017) tabakaların serbest titreşim hareketini temsil eden tek boyutlu kısmi diferansiyel denklemin çözümünden yararlanarak her tabaka için taşıma matrislerini sonlu elemanlar yöntemini ve Ricatti dönüşümünü kullanarak elde etmişlerdir. Ardışık işlemler sonucunda tüm zemin profili için sistem matrisi skaler olarak elde edilmiş ve elde edilen frekans denkleminin çözümünden açılal frekans ve oradan da zemin hakim periyodu bulunmuştur. Bu çalışmada ayrıca Transfer tool program kullanılarak transfer fonksiyonları yardımıyla da zemin hakim periyotları elde edilmiş olup böylece literatürden (Öztürk ve Bozdoğan,2017) elde edilmiş sonuçlarda kontrol edilmiştir. Literatürden ve Transfer tool programından transfer fonksiyonlarından elde edilen zemin hakim periyotlarının birebir aynı olduğu görülmüştür.

3.2. Sayısal Örnekler

Çalışmada kullanılan zemin profilleri bu bölümde sunulmuştur. Çalışma alanı olarak Edirne ili seçilmiştir. Edirne'nin farklı bölgelerinden alınan 10 farklı zemin etüdü incelenmiş ve derinlikle kayma dalgası hızları bu zemin etütleri incelenerek elde edilmiştir. Tabaka kalınlıkları ve bu tabakalara ait kayma dalgası hızları Tablo 2'de verilmiştir. Tablo 2'de görüldüğü üzere tüm zemin profilleri 50 m derinlik için oluşturulmuştur. Bunun nedeni temin edilen zemin etütlerinin 50 m derinliğe kadar yapılmış olmasıdır. Zemin profilleri incelendiğinde en düşük kayma dalgası hızının 144 m/s ile 9 nolu zemin profilinde en yüksek kayma dalgası hızının ise 595 m/s ile 4 nolu zemin profilinde de elde edildiği görülmektedir. Şekil 1'de ise derinlikle kayma dalgası hızındaki değişim 10 farklı zemin profili için grafik olarak gösterilmiştir. Grafikler incelendiğinde derinliğin artmasıyla paralel bir şekilde kayma dalgası hızlarının da arttığı görülmektedir.

Tablo 2. Edirne ilinden seçilen 10 farklı zemin profilinin tabaka kalınlıkları ve kayma dalgası hızları

Zemin Profili 1		Zemin Profili 2		Zemin Profili 3		Zemin Profili 4		Zemin Profili 5	
Tabaka kalınlığı (m)	Kayma dalgası hızı (m/s)	Tabaka kalınlığı (m)	Kayma dalgası hızı (m/s)	Tabaka kalınlığı (m)	Kayma dalgası hızı (m/s)	Tabaka kalınlığı (m)	Kayma dalgası hızı (m/s)	Tabaka kalınlığı (m)	Kayma dalgası hızı (m/s)
2,5	152	2,1	197	2,5	186	2,5	269	2,1	218
3,5	191	2,9	267	4,5	236	3,5	329	2,9	249
4,5	265	3,6	387	4,5	369	4,5	465	3,6	329
5,5	295	4,3	438	5,5	409	5,5	541	4,3	356
6,5	300	5,0	448	6,5	417	6,5	577	5,0	363
27,5	301	5,7	449	27,5	416	27,5	595	5,7	364
		26,4	447					26,4	363
Zemin Profili 6		Zemin Profili 7		Zemin Profili 8		Zemin Profili 9		Zemin Profili 10	
Tabaka kalınlığı (m)	Kayma dalgası hızı (m/s)	Tabaka kalınlığı (m)	Kayma dalgası hızı (m/s)	Tabaka kalınlığı (m)	Kayma dalgası hızı (m/s)	Tabaka kalınlığı (m)	Kayma dalgası hızı (m/s)	Tabaka kalınlığı (m)	Kayma dalgası hızı (m/s)
3,0	209	2,5	198	2,5	196	2,5	144	3,0	210
4,5	244	3,5	236	3,5	220	3,5	201	4,5	274
6,0	332	4,5	335	4,5	325	4,5	293	6,0	446
7,5	417	5,5	391	5,5	378	5,5	359	7,5	544
29,0	449	6,5	405	6,5	390	6,5	388	29,0	565
		27,5	414	27,5	399	27,5	397		

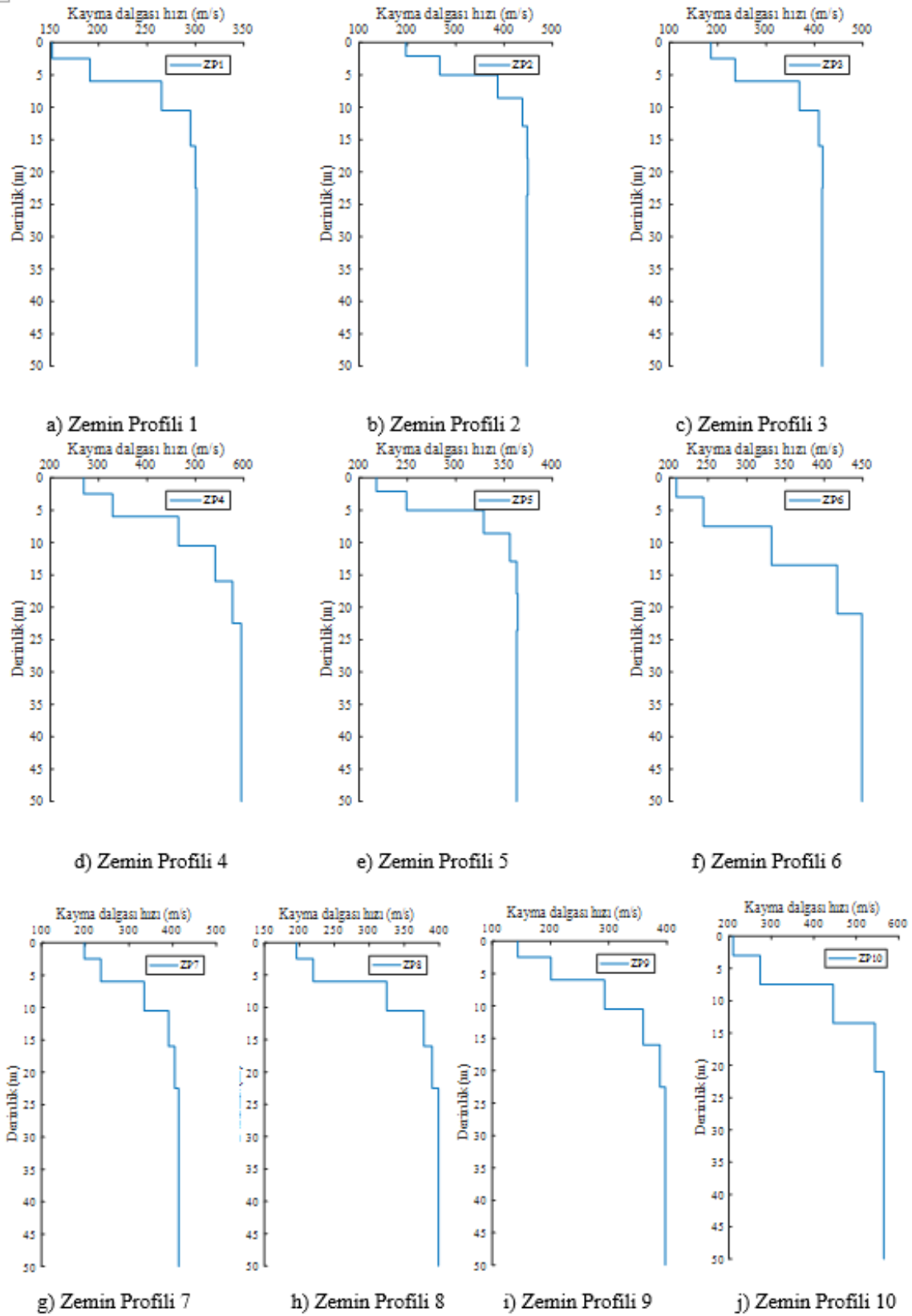
4. Bulgular ve Tartışma

Tablo 1'de gösterilen 5 yöntem 10 farklı zemin profiline uygulanmış ve elde edilen sonuçlar bu bölümde sunulmuştur. Zemin hakim periyotlarının kesin hesabı için Transfer fonksiyonları ve değiştirilmiş sonlu elemanlar transfer matrisi yöntemi (Öztürk ve Bozdoğan, 2017) kullanılmıştır. 10 farklı zemin profili için 5 farklı yöntemle hesaplanan zemin hakim periyodu değerleri Tablo 3'de verilmiştir. Tablo 3'de verilen periyot değerlerinin kesin periyot değerine yakınsamasını incelemek amacıyla periyot değerleri eşitlik 8 kullanılarak her yöntem için ayrı ayrı normalize

edilmiştir.

$$Y(n)_{nor} = \frac{T_{M(n)}}{T_{kesin}} - 1 \quad (8)$$

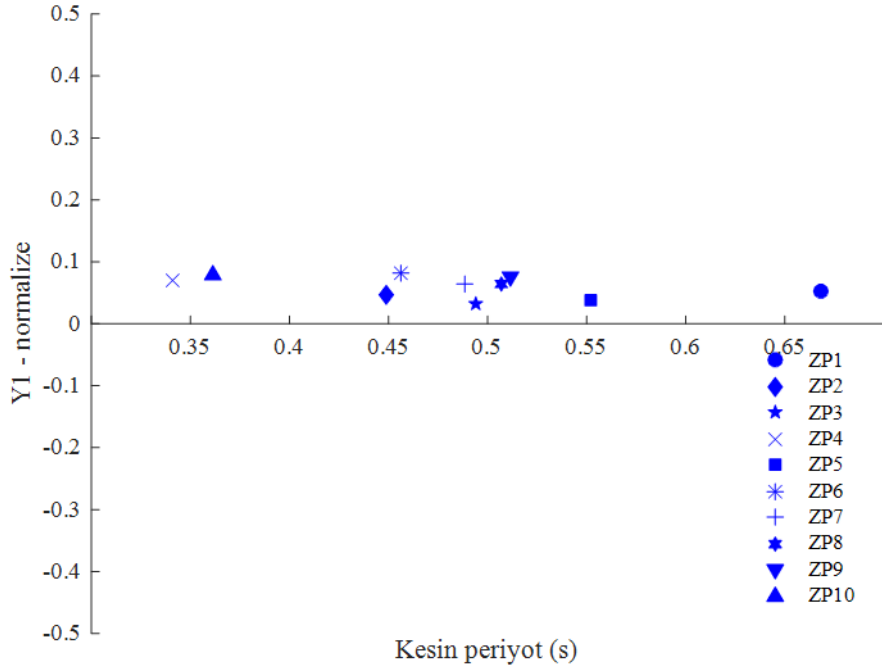
Eşitlik 8 kullanılarak hesaplanan normalize edilmiş periyot değerleri Y1, Y2, Y3, Y4 ve Y5 yöntemleri için sırasıyla Şekil 2, 3, 4, 5 ve 6'da verilmiştir. Şekil 2 incelendiğinde Y1 yöntemi ile hesaplanan zemin hakim periyot değerlerinin tüm zemin profilleri için hesaplanan kesin periyot değerinden daha büyük çıktığı görülmektedir. Kesin periyot değerine en yakın periyot değeri ZP 3 en uzak periyot değeri ise ZP 9 zemin profilinde elde edilmiştir.



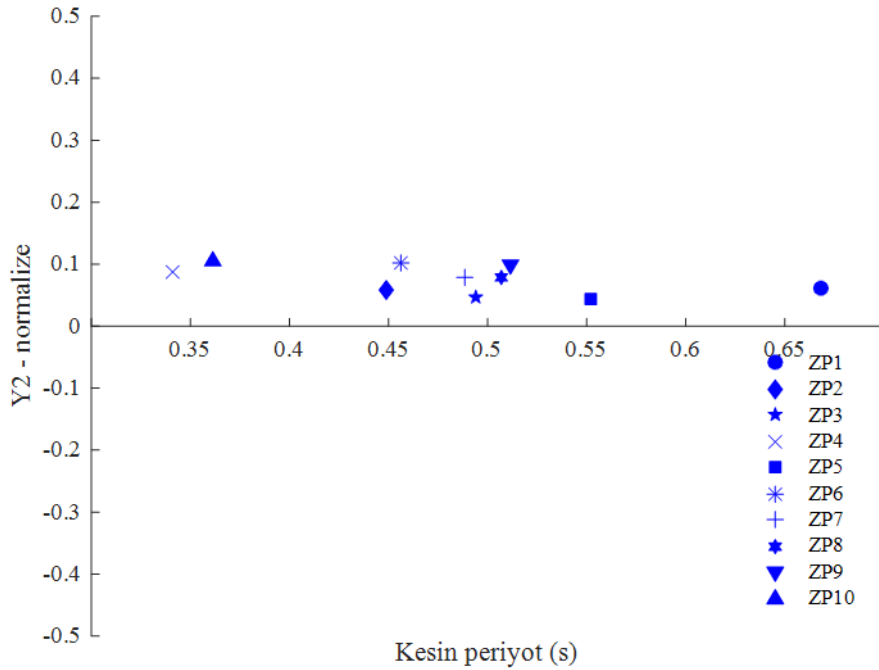
Şekil 1. Edirne ili sınırlarında bulunan 10 farklı zemin profili için derinlik-kayma dalgası hızı grafikleri

Tablo 3. 10 farklı zemin profili için 5 farklı yöntemle hesaplanan zemin hakim periyodu değerleri

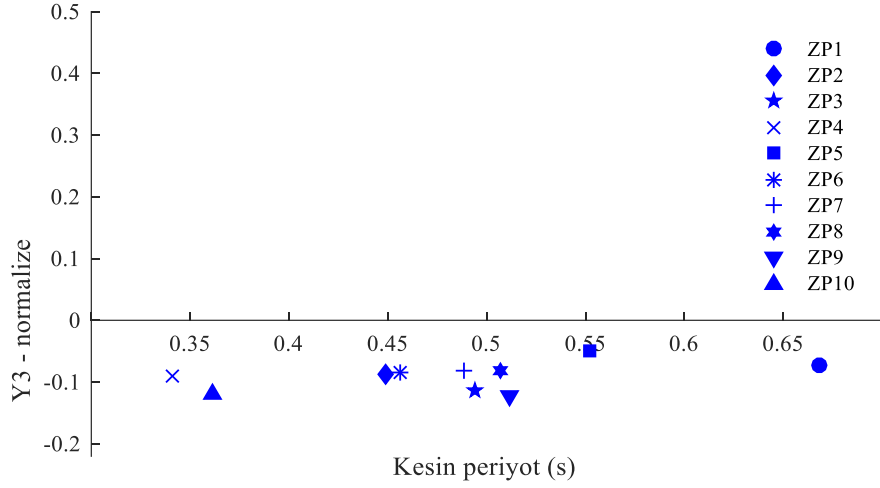
	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Kesin Periyot
ZP 1	0,7022	0,7097	0,6190	0,6765	0,7337	0,6680
ZP 2	0,4693	0,4747	0,4093	0,4539	0,4942	0,4490
ZP 3	0,5095	0,5168	0,4381	0,4914	0,5424	0,4939
ZP 4	0,3646	0,3703	0,3106	0,3484	0,3890	0,3409
ZP 5	0,5723	0,5758	0,5254	0,5558	0,5858	0,5520
ZP 6	0,4935	0,5034	0,4186	0,4706	0,5338	0,4565
ZP 7	0,5192	0,5264	0,4478	0,4975	0,5497	0,4882
ZP 8	0,5386	0,5462	0,4653	0,5164	0,5706	0,5066
ZP 9	0,5504	0,5619	0,4499	0,5268	0,6059	0,5119
ZP 10	0,3901	0,3999	0,3186	0,3750	0,4371	0,3616



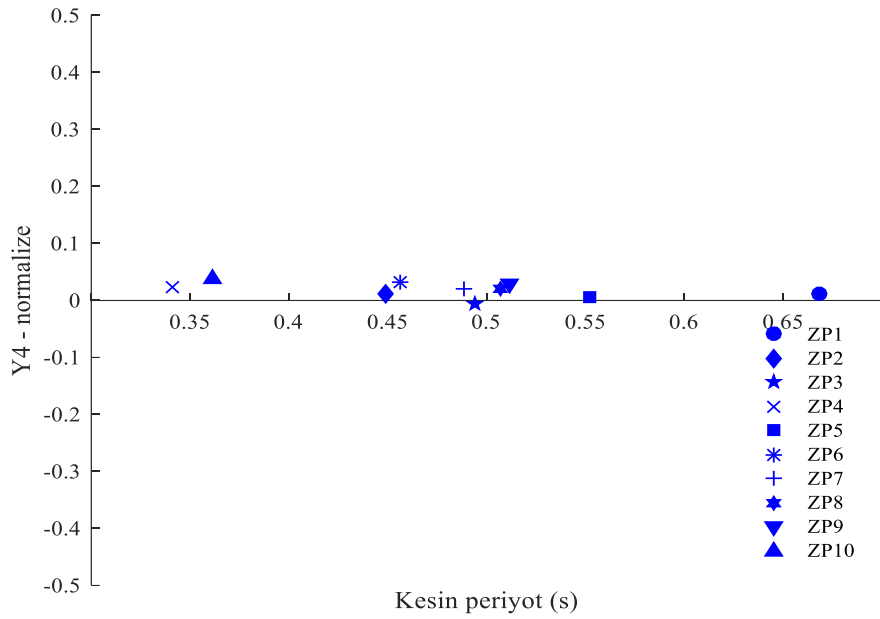
Şekil 2. Farklı zemin profilleri için Y1 yönteminin normalize hata değerleri



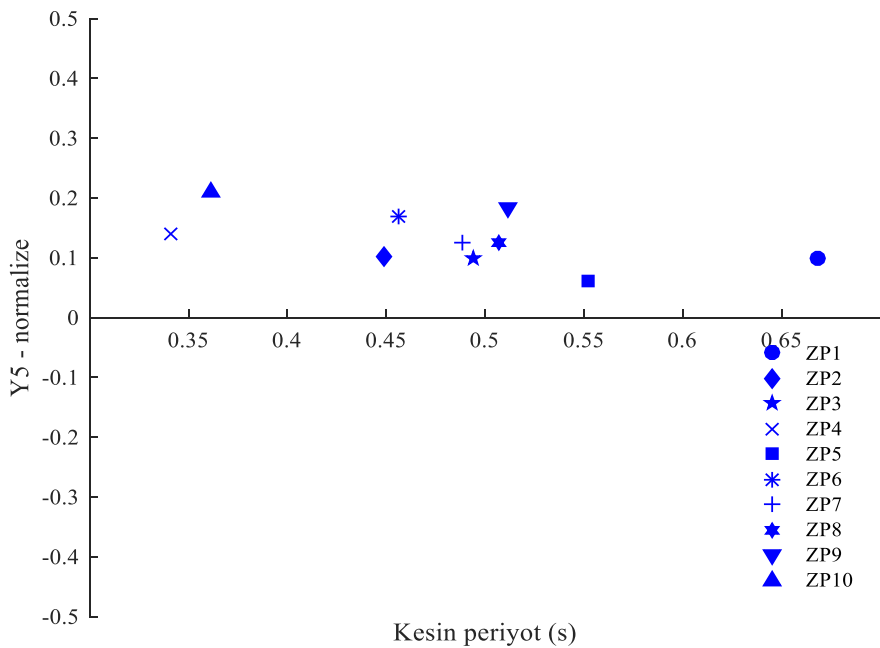
Şekil 3. Farklı zemin profilleri için Y2 yönteminin normalize hata değerleri



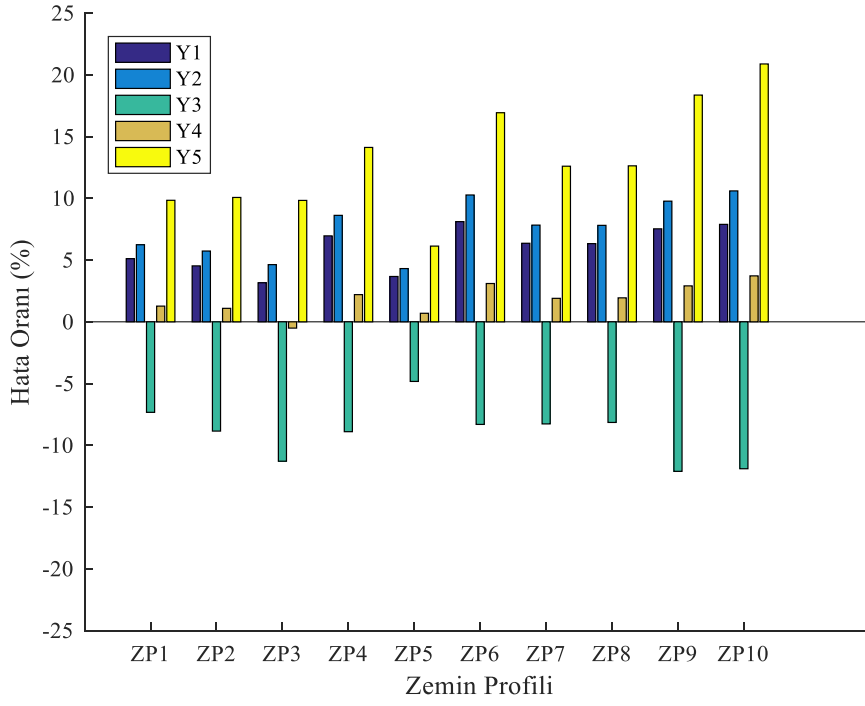
Şekil 4. Farklı zemin profilleri için Y3 yönteminin normalize hata değerleri



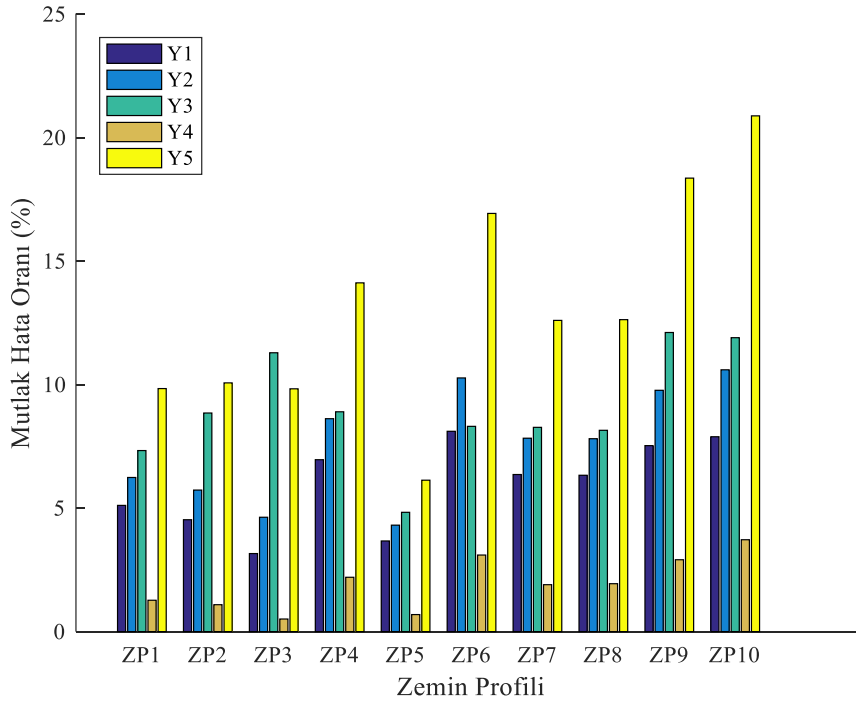
Şekil 5. Farklı zemin profilleri için Y4 yönteminin normalize hata değerleri



Şekil 6. Farklı zemin profilleri için Y5 yönteminin normalize hata değerleri



Şekil 7. Hesaplanan periyot değerlerinin gerçek periyot değerlerine göre hata oranları



Şekil 8. Hesaplanan periyot değerlerinin gerçek periyot değerlerine göre mutlak hata oranları

Y2 yöntemi ile hesaplanan ve Şekil 3'de sunulan periyot değerlerinden de görüldüğü üzere bu yöntem kullanılarak hesaplanan periyot değerleri de Y1 yöntemi ile hesaplanan periyot değerlerinde olduğu gibi kesin periyot değerlerinden daha büyük olarak hesaplanmıştır. Kesin periyot değerine en yakın periyot değeri ZP 5 en uzak periyot değeri ise ZP 9 zemin profilinde elde edilmiştir.

Şekil 4 incelendiğinde Y3 yöntemi ile hesaplanan periyot değerlerinin Y1 ve Y2 yöntemlerinin aksine kesin periyot

değerlerinden daha küçük çıktığı görülmektedir. Y3 yöntemine göre gerçek periyot değerine en yakın periyot değeri ZP 5 en uzak periyot değeri ise ZP 9 zemin profilinde gerçekleşmiştir. Y4 yöntemi ile hesaplanan periyot değerlerinin ZP 3 profili hariç kesin periyot değerinden daha büyüktür. Kullanılan diğer yöntemlere nazaran Y4 yönteminin kesin periyot değerlerine daha fazla yakınsadığı görülmektedir.

Şekil 6'da Y5 yöntemi ile hesaplanan normalize hata değerleri verilmiştir. Bu değerler incelendiğinde tüm

zemin profilleri için hesaplanan zemin hakim periyodu değerlerinin kesin periyot değerlerinden büyük olduğu açık olarak görülmektedir. Tablo 4'de 10 farklı zemin profili için 5 farklı yöntemle bulunan periyotların hata

oranları verilmiştir. Ayrıca bu tablodaki veriler kullanılarak hata oranlarını daha anlaşılır bir şekilde göstermek için hazırlanan grafik Şekil 7'de sunulmuştur.

Tablo 4. 10 farklı zemin profili için 5 farklı yöntem ile hesaplanan zemin hakim periyotlarının % hata oranları

	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5
ZP 1	5,11	6,24	-7,33	1,27	9,84
ZP 2	4,53	5,73	-8,85	1,09	10,07
ZP 3	3,16	4,63	-11,29	-0,51	9,83
ZP 4	6,96	8,62	-8,90	2,20	14,12
ZP 5	3,67	4,31	-4,83	0,69	6,13
ZP 6	8,11	10,27	-8,31	3,10	16,93
ZP 7	6,36	7,83	-8,27	1,90	12,60
ZP 8	6,33	7,81	-8,15	1,94	12,63
ZP 9	7,53	9,77	-12,11	2,91	18,36
ZP 10	7,89	10,60	-11,90	3,72	20,88

Farklı yöntemlerle elde edilen periyot değerlerinin kesin periyot değerlerinden düşük veya yüksek olup olmadığını görmek için farklı yöntemlerle hesaplanan periyot değerlerinin gerçek periyot değerlerine göre hata oranları Şekil 7'de verilmiştir.

Şekil 7'den de görüleceği üzere Y1, Y2, Y3 ve Y5 yöntemleri ile elde edilen periyot değerlerinin kesin periyot değerlerine oranla daha yüksek olduğu Y4 yöntemi ile elde edilen periyot değerinin ise kesin periyot değerinden daha düşük olduğu görülmüştür.

Şekil 8'de ise yöntemlerin performanslarını daha net görebilmek amacıyla hata oranlarının mutlak değerleri alınmıştır. Grafikten de görüldüğü üzere Y4 yöntemi diğer yöntemlere oranla en iyi sonucu verirken Y5 yöntemi ise kesin değere en uzak değerleri vermiştir. Y4 yöntemindeki hata oranları % 0.51 ile % 3.72 aralığında değişirken Y5 yöntemindeki hata oranları % 6.13 ile % 20.88 arasında değişmiştir.

5. Sonuçlar

Bu çalışmada, ortalama kayma dalgası hızının belirlenmesinde literatürde kullanılan yaklaşık denklemlerin uygunluğu değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında ortalama kayma dalgası hızları kullanılarak 10 farklı zemin profili için zemin hakim periyotları 5 farklı yöntemle hesaplanmıştır.

Zemin hakim periyodunu belirlemek için kullanılan yöntemlerin 3'ü çeşitli ülkelerin deprem yönetmeliklerinde kullanılan yöntemlerdir. Y3, Y4 ve Y5 yöntemleri sırasıyla Meksika Deprem Yönetmeliği, Japon Deprem Yönetmeliği ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliklerini temsil etmektedir. Bu açıdan bakıldığında kesin periyota en yakın zemin hakim periyodunun Japon Deprem Yönetmeliğinde verilen bağıntı ile elde edildiği görülmüştür. Elde edilen bu sonucun literatürde yapılmış olan çalışmalarla uyumlu olduğu görülmüştür.

Katkı Oranı Beyanı

Yazarların katkı yüzdesi aşağıda verilmiştir. Yazarlar makaleyi incelemiş ve onaylamıştır.

	E.K.	K.B.B.
K	50	50
T	50	50
Y	50	50
VTI	50	50
VAY	50	50
KT	50	50
YZ	50	50
KI	50	50
GR	20	80

K= kavram, T= tasarım, Y= yönetim, VTI= veri toplama ve/veya işleme, VAY= veri analizi ve/veya yorumlama, KT= kaynak tarama, YZ= Yazım, KI= kritik inceleme, GR= gönderim ve revizyon.

Çatışma Beyanı

Yazarlar bu çalışmada hiçbir çıkar ilişkisi olmadığını beyan etmektedirler.

Etik Onay Beyanı

Bu araştırmada hayvanlar ve insanlar üzerinde herhangi bir çalışma yapılmadığı için etik kurul onayı alınmamıştır.

Kaynaklar

- Babayeve G, Telesca L. 2016. Site specific ground motion modeling and seismic response analysis for microzonation of Baku, Azerbaijan. *Acta Geophys*, 64: 2151-2170. <https://doi.org/10.1515/acgeo-2016-0105>.
- BSSC (Building Seismic Safety Council). 2003. 2003 edition NEHRP recommended provisions for seismic regulations for new buildings and other structures. Part 1: provisions, FEMA, New York, USA, pp: 450.

- Diaz-Segura EG. 2021. Evolution of seismic site classification according to the criteria in Chilean design codes. *Appl Sci*, 11: 10754. <https://doi.org/10.3390/app112210754>.
- Dobry R, Oweis I, Urzua A. 1976. Simplified procedures for estimating the fundamental period of a soil profile. *Bullet Seismol Soc America*, 66: 1293–1321. <https://doi.org/10.1785/BSSA0660041293>.
- European Committee for Standardization (CEN). 2004. Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance, Part 1: general rules, seismic actions and rules for buildings. EN, Brussels, Belgium, pp: 1998–2004.
- Holtrigter M, Thorp A. 2021. The use of spt and hvsr for site period and subsoil class estimation. *NZGS Symposium*, 24 – 26 March, Dunedin, New Zealand, pp: 21.
- Kim DK. 2019. Evaluation of average shear-wave velocity estimation methods of multi-layered strata considering site period. *J Earthquake Engin Soc Korea* 23: 191-199. <https://doi.org/10.5000/eesk.2019.23.3.191>.
- Lee VW, Trifunac MD. 2010. Should average shear-wave velocity in the top 30 m of soil be used to describe seismic amplification. *Soil Dynam Earthquake Engin*, 30: 1250-1258. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2010.05.007>.
- Luzi L, Puglia R, Pacor E, Gallipoli MR, Bindi D, Mucciarelli. 2011. Proposal for a soil classification based on parameters alternative or complementary to $V_{s,30}$. *Bullet Earthquake Engin*, 9: 1877-1898. <https://doi.org/10.1007/s10518-011-9274-2>.
- Mariano EM, Nakashima M, Mosalam KM. 2005. Comparison of European and Japanese seismic design of steel building structures. *Engin Struct*, 27(6): 827-840. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2005.01.004>.
- Miao Y, Wang SY. 2018. A study on the natural periods of soil site based on ground motion data from kik-net in Japan. *Adv Soil Dynamics Foundation Engin*, 36-43. https://doi.org/10.1007/978-981-13-0131-5_4.
- Ozturk D, Bozdogan KB. 2017. A method for determination of the fundamental period of layered soil profiles. *J Appl Computat Mechan*, 3(4): 267-273. <https://doi.org/10.22055/jacm.2017.21810.1116>.
- Raddatz D, Aguirre G, Taiba O. 2021. Seismic soil classification using a new standard proposal and comparison with the current standard for sites located in Reñaca and Concón. *Obras y Proyectos*, 30: 30-38.
- Sadek M, Hussein M, Hage CF, Arab A. 2020. Influence of soil-structure interaction on the fundamental frequency of shear wall structures. *Arabian J Geosci*, 13: 877. <https://doi.org/10.1007/s12517-020-05872-z>.
- Sil A, Sitharam TG. 2014. Dynamic site characterization and correlation of shear wave velocity with standard penetration test 'N' values for the city of Agartala, Tripura State, India. *Pure Appl Geophys*, 171: 1859–1876. <https://doi.org/10.1007/s00024-013-0754-y>.
- Takabatake H, Kitada Y, Takewaki I, Kishida A. 2019. Simplified dynamic analysis of high-rise buildings. Springer, Nature Singapore Pte Ltd., London, UK, pp: 277. https://doi.org/10.1007/978-981-13-7185-1_1.
- Tena-Colunga A, Mena-Hernandez U, Perez-Rocha LE, Javier A, Ordaz M, Vilar JI. 2009. Updated seismic design guidelines for model building code of Mexico. *Earthquake Spect*, 25(4): 869-898. <https://doi.org/10.1193/1.3240413>
- Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. 2018. Afet ve acil durum daire başkanlığı. URL: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2018/03/20180318M1-2-1.pdf> (Erişim tarihi: 23 Mart 2022).
- Verdugo R. 2019. Seismic site classification. *Soil Dynam Earthquake Engin*, 124(2019): 317-329. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2018.04.045>.
- Wang S, Shi Y, Jiang W, Yao E, Miao Y. 2018. Estimating site fundamental period from shear-wave velocity profile. *Bullet Seismol Soc America*. 108(6): 3431-3445. <https://doi.org/10.1785/0120180103>.
- Yaghmaei-Sabegh S, Rupakhety R. 2020. A new method of seismic site classification using HVSR curves: A case study of the 12 November 2017 Mw 7.3 Ezgeleh earthquake in Iran. *Engin Geology*, 270: 105574. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2020.105574>.
- Zhang H, Zhao Y. 2018. A simple approach for estimating the first resonance peak of layered soil profiles. *J Earthquake Tsunami*, 12(1): 1850005 (2018). <https://doi.org/10.1142/S1793431118500057>.
- Zhang H, Zhao Y. 2021. Effect of radiation damping on the fundamental period of linear soil profiles. *J Earthquake Engin*, 26(12): 6082-6101. <https://doi.org/10.1080/13632469.2021.1911884>.



KİL EŞDEĞERİ BİR MALZEME VE UÇUCU KÜL KATKISININ ZEMİN MUKAVEMETİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Serkan ÖREN^{1*}, Sefa KOCABAŞ²

¹Zonguldak Bülent Ecevit University, Devrek Vocational School, Department of Environmental Protection, 67800, Zonguldak, Türkiye

²Zonguldak Bülent Ecevit University, Faculty of Engineering, Department of Environmental Engineering, 67100, Zonguldak, Türkiye

Özet: Ülkemizde ve Dünya’da endüstriyel üretimler sonucu meydana gelen atık maddelerin depolanarak bertaraf edilmesinden ziyade yan ürün olarak değerlendirilmesi üzerine araştırmalar yapılmaktadır. Bu çalışmada, Zonguldak’ta faaliyet gösteren Eren Enerji’ye ait ZETES I termik santralinden atık olarak ortaya çıkan uçucu kül (UK) ve Borcam Madencilikte üretim sonucunda meydana gelen silisli kum atığının (SKM) belirli oranlarda hazırlanan karışımlarının mukavemet özellikleri laboratuvar ortamında incelenmiştir. Çalışma kapsamında Silisli kum atığı malzemesi, kütlece %10, %20 ve %30 oranında uçucu kül ile karıştırılarak örnekler hazırlanmış ve bu örneklerle, kıvam limit, kompaksiyon ve serbest (tek eksenli) basınç deneyleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, silisli kum atığı malzemesi için, likit limit, plastik limit ve plastisite indisi değerleri malzemenin CL düşük plastisiteli kil özellikli olduğu görülmektedir. Silisli kum atığına (SKM) uçucu kül (UK) ilavesi ile elde edilen karışımların ise tüm karışım oranlarında (%10, %20 ve %30) CI orta plastisiteli kil özellikli olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca serbest (tek eksenli) basınç dayanımları deneyinde malzemeye uçucu kül ilavesi arttıkça serbest basınç dayanımının zamana bağlı olarak arttığı sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar kelimeler: Kil, Uçucu kül, Serbest basınç, Mukavemet, Silisli kum atığı, Atık, Zemin stabilizasyonu

Investigation of the Effect of a Clay Equivalent Material and Fly Ash Additive on Soil Strength

Abstract: In our country and in the world, researches are carried out on the evaluation of waste materials that occur as a result of industrial production as a by-product rather than being disposed of by storage. In this study, the strength properties of the mixtures prepared in certain proportions of fly ash (UK) generated as waste from Eren Energy’s ZETES I thermal power plant operating in Zonguldak and silica sand residue (SCM) formed as a result of production in Borcam Madencilik were investigated in the laboratory environment. Samples were prepared in the form of siliceous sand waste material, mixtures of 10%, 20% and 30% by mass fly ash. The prepared samples were tested for consistency limit, compaction and free (uniaxial) pressure. According to the results obtained, the liquid limit, plastic limit and plasticity index values for the siliceous sand waste material show that the material has CL low plasticity clay properties. It was concluded that the mixtures obtained by adding fly ash (UK) to siliceous sand waste (SCM) have CI medium plasticity clay properties at all mixing ratios (10%, 20% and 30%). In addition, in the free (uniaxial) compressive strength test, it was concluded that as the addition of fly ash to the material increased, the unconfined compressive strength increased depending on time.

Keywords: Clay, Fly ash, Free pressure, Strength, Siliceous sand waste, Waste, Soil stabilization

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Zonguldak Bülent Ecevit University, Devrek Vocational School, Department of Environmental Protection, 67800, Zonguldak, Türkiye

E mail: serkan.oren@hotmail.com (S. ÖREN)

Serkan ÖREN <https://orcid.org/0000-0001-7699-517X>

Sefa KOCABAŞ <https://orcid.org/0000-0002-8003-8310>

Gönderi: 27 Mart 2023

Kabul: 10 Nisan 2023

Yayınlanma: 01 Temmuz 2023

Received: March 27, 2023

Accepted: April 10, 2023

Published: July 01, 2023

Cite as: Ören S, Kocabaş S. 2023. Investigation of the effect of a clay equivalent material and fly ash additive on soil strength. BSJ Eng Sci, 6(3): 165-172.

1. Giriş

Dünya’da hızlı nüfus artışı ve bu artışın beraberinde getirdiği ısınma ihtiyacı, barınma ihtiyacı ve doğal kaynakların hızla tüketilmesi, çevre sorunları ile birlikte birçok olumsuz koşul oluşumuna neden olmaktadır. Bunların başında enerji ihtiyacını karşılamak için fosil kökenli yakıtlar kullanılarak kömüre dayalı termik santraller kurulması ve bu santrallerden kaynaklanan, hava, su ve toprak kirliliği gibi çevre sorunlarının gün yüzüne çıkması gelmektedir. Termik santrallerden kaynaklanan en büyük çevre sorunu yanma sonucu atık olarak meydana gelen uçucu ve taban külleridir. Bu küllerin bertarafı ve yan ürün olarak kullanılabilirliği için çeşitli çalışmalar yıllardır yapılmaktadır.

Bilici ve ark. (2022) Soma, Tunçbilek ve Çatalağzı termik santrallerinden aldıkları üç farklı uçucu kül örneklerini zemine farklı oranlarda %5, %10, %15, %20, %25, %30 oranlarında ilave ederek kompaksiyon ve dayanım özelliklerini incelemişler Tunçbilek ve Çatalağzı uçucu küllerinin %10 katkı oranında, Soma uçucu külünün ise %5 katkı oranında en yüksek dayanımlara ulaştığı belirlemişlerdir.

Temiz ve ark. (2021) Afşin-Elbistan termik santralinin uçucu külünün beton katkı maddesi olarak kullanılabilirliğini araştırmışlar ve hacimsel genleşme, basınç dayanımı, donma-çözülme, priz süresi, gibi deneyler sonucunda Afşin-Elbistan uçucu külünün betonda kullanılabileceği sonucunu ortaya koymuşlardır.



Dehghanian ve ark., (2021) kil içeren toprakların mekanik özelliklerini geliştirmek için uçucu küllerin etkisini araştırmıştır. Kil örneklerine kütlece %0, %5, %10, %15, %20 ve %25 oranlarında uçucu kül karışımları hazırlanmış ve standart proktor, kıvam limit ve üç eksenli kesme deneyleri yapılmıştır. Deneylerinin sonucunda kil numunesine kütlece %5 oranında uçucu kül karışımının en iyi karışım olduğu kanaatine varmıştır. Yılmaz (2020) uçucu kül ve mermer tozu katkısının zeminlerin stabilizasyonuna etkisini incelemiş ve çalışmada uçucu kül + mermer tozu katkısının sadece uçucu kül katkısına oranla daha yüksek dayanım sağladığı sonucuna varmıştır.

Totiç ve ark. (2019) Bartın Üniversitesi Kutlubey yerleşkesinin killi zemininden alınan örneklerine Çatalağzı Termik Santrali'nden alınan uçucu külleri kütlece %5 ila %25 arasında değişen oranlarda eklemiştir. Elde edilen bu karışımları, kıvam limit, standart proktor ve serbest basınç deneylerine tabi tutmuşlar ve killi numunelere uçucu kül karışımlarının kilin mekanik özelliklerinde iyileştirme sağladığı kanısına varmışlardır.

Taş ve ark. (2018) düşük plastisite değerine sahip killi bir zemin stabilizasyonu için kullanılan %25 uçucu kül örneğine kütlece, %0, %5, %10, %15, %20 oranlarında endüstriyel üretim atığı olan Bayburt taşı ilave etmişler ve %10 Bayburt taşı karışımı kullanılarak elde edilen %25'lik uçucu kül örneğinin zemin stabilizasyonunda en yüksek dayanım sağladığı kanısına varmışlardır.

Nüfus artışının oldukça hızlı olması barınma ihtiyacı ve ulaşım ile ilgili sorunların da artmasına neden olmaktadır. Barınma ve ulaşım ihtiyacının giderilmeye çalışılması yol ve inşaat yapılarının artması ve yüksek katlı inşaatların sayısının artmasına da sebep olmaktadır. Bu tarz yapıların sayısının artması özellikle deprem riski göze alındığında inşaat ve yol yapılan zeminlerin davranışlarının önemini ortaya koymaktadır. Zira birçok depremde olduğu üzere 6 Şubat 2023 Hatay ve Kahramanmaraş merkezli depremlerde çok sayıda inşaat yapılarının yıkıldığını ve yolların deformatsiyona uğraması nedeni ile deprem bölgelerine ulaşım aksaklıkları olduğunu görülmüştür.

Bu yapıların planlandığı alanlardaki zeminlerin istenildiği gibi özelliklere sahip olması her zaman mümkün olmayabilir. Böyle durumlarda zemine ait özelliklerin iyileştirilmesi gerekmektedir. Dayanımları kötü olan zeminlerin, fiziksel, kimyasal veya mekanik yöntemlerle dayanımlarının artırılması durumuna zemin iyileştirme veya zeminin stabilize edilmesi olarak nitelendirilmektedir. Zemin iyileştirmede pratik ve ekonomik olan uygulamalar olarak zemine katkı maddesi ilave edilmesi gösterilebilir. En çok kullanılan katkı maddelerinin başında ise uçucu kül, çimento, klorit, kireç, vb. diğer kimyasal bileşikler gösterilebilir (Geçkil ve ark., 2019). Zemin iyileştirme ve stabilizasyonunda asıl amaç, zeminin plastisitesini düşürmek ve sıkıştırılabilirliğini en uygun seviyeye getirmek bu şekilde mukavemet değerini en üst değere getirmektir (Geçkil ve ark. 2019).

Akan ve ark. (2017) killi zeminin su içeriği ile serbest basınç dayanımı arasındaki ilişkiyi incelemişler ve serbest basınç dayanımı ile likitlik ilişkisinin lineer olmadığını belirtmişlerdir. Optimum su içeriğine gelene kadar serbest basınç dayanımının kısmen arttığı ve sonrasında düşmeye başladığını belirtmişlerdir.

Yılmaz (2016) zemin stabilizasyonu için uçucu kül kullanımını araştırmış ve killi bir zemin örneğine kütlece, %0, %5, %10, %15, %20, % 25 ve %30 oranlarında uçucu kül karışımları ile örneklerin dayanım değerlerini incelemiş ve %25 katkı oranında en yüksek dayanım değerini bulmuştur.

Zumrawi ve ark. (2016) sıkıştırılmış kohezyonlu zeminlerin kayma dayanımını etkileyen faktörleri incelemişlerdir. Çalışmaları sonucunda kilin yapısı ve içeriği, plastisite indisi, su içeriği ve kuru yoğunlukların kayma dayanımları üzerinde etkili olduğu sonucuna varmışlardır. Plastisite indisindeki artışın kayma mukavemetini azalttığını ve aynı şekilde plastisite indisindeki azalmanın kayma mukavemetinde artışa neden olduğunu belirtmişlerdir.

2. Materyal ve Yöntem

Çalışma için belirlenen deneyler Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi İnşaat Fakültesi Zemin Mekaniği Laboratuvarında bulunan cihazlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma için hazırlanan örneklerin kıvam limit, optimum su içeriği analizleri Türk Standardı TS 1900-1'e göre yapılmıştır (TS 1900-1, 2006).

Bu çalışma için kullanılan Silisyumlu kum atığı malzemesi (SKM) Zonguldak Ereğli ilçesindeki Borcam Madencilik San. ve Tic. A.Ş' den getirilmiştir. Malzeme maden sanayisinden çuvallarla yaş halde alınmıştır. Deneylere hazır hale getirilmek için, etüv de kurutulup, deneylerde kullanılacak boyutlarda getirilmek üzere eleklerden geçirilerek istenilen boyuta getirilmiştir. Yapılan işlemler Şekil 1 ve Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Silisli kum atığı malzemesi. Etüv kurutma işlemi.



Şekil 2. Öğütülmüş elenmiş silisli kum artığı.

Serbest basınç dayanımında katkılı olacağı düşünülen Uçucu kül atığı (UK) ise Zonguldak Eren Enerji'ye ait 1. Termik Santrali olan ZETES I'den şeffaf poşetler ile alınmıştır. Çalışmada kullanılmak üzere 4 farklı örnek hazırlanmıştır. Bunlardan ilki %100 oranında silisli kum atığı malzemesi, ikincisi kütlece %10 oranında uçucu kül içeren silisli kum atığı malzemesi, üçüncüsü ve 4. s'ü ise kütlece %20 ve %30 oranlarında uçucu kül içeren silisli kum atığı malzemesi şeklinde hazırlanmış ve oranlar Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Örnekler ve karışım miktarları

Örnek	ZETES I Uçucu Külü	Silisli Kum Atığı
Örnek 1	-	%100
Örnek 2	%10	%90
Örnek 3	%20	%80
Örnek 4	%30	%70

Hazırlanan örneklerde kıvam limit değerlerini belirlemek üzere Türk Standardı olan TS 1500 Zemin sınıflandırması kullanılmıştır. TS 1500 standardında ince daneli zeminler için, Likit Limit değeri (W_L) sonucuna göre;

- Düşük plastisiteli kil (CL^E),
- Düşük plastisiteli silt (ML^E)
- Orta plastisiteli Kil (CI^E)
- Orta plastisiteli silt (MI^E)
- Yüksek plastisiteli kil (CH^E)
- Yüksek plastisiteli sil (MH^E)

Şeklinde sınıflandırılmaktadır [9].

- Likit limit değeri $W_L < 35$ ise CL^E, ML^E
- Likit limit değeri $35 < W_L < 50$ ise CI^E, MI^E
- Likit limit değeri $W_L > 50$ ise CH^E, MH^E zemin sınıflandırılması yapılmaktadır.

Örnekte likit limit değerinin hesaplamasının ardından plastik limit değeri hesaplamaları yapılmıştır. Plastik limit (W_P), plastiklik özelliğinden yarı plastik gibi davranmaya geçtiği su içeriği olarak tanımlanabilir (Aytekin 2004). Likit limit ve plastik limit değerleri belirlenen örneklerin plastisite indisi (PI) hesaplaması (eşitlik 1) bu iki limit değerinin arasında kalan su içeriğinde zemin plastik özellik gösterdiği için bu

değerlerin birbirinden çıkartılması ile hesaplanmaktadır (Özaydın, 2011). Likit limit ve plastik limit için yapılan işlemler Şekil 3 ve Şekil 4'te gösterilmektedir.

$$PI = W_L - W_P \quad (1)$$



Şekil 3. Likit limit deneyi.



Şekil 4. Plastik limit deneyi.

Zemindeki en büyük kuru birim hacim ağırlığını veren su içeriğinin belirlenmesi için örneklere TS 1900-1 Standardı kapsamında Zemin sıkıştırma deneyleri uygulanmıştır. Karayolları Genel Müdürlüğü Karayolu Teknik Şartnamesi 2013'e göre Kısım 203 zayıf zeminler tanımı Tablo 2'ye göre;

Örneklere TS 1900-1 kapsamında zeminin sıkıştırılabilmesi adına Şekil 5'te gösterildiği gibi belirli oranlarda nemlendirme işlemi yapılmış ve örnekler Şekil 6'da ki kompaksiyon kabına yerleştirilmiştir. Kompaksiyon silindirinde tokmağın örneği sıkıştırması sağlanmıştır. Sıkıştırma işlemi bitirilen örnekler Şekil 7 ve Şekil 8'deki işlemlerden sonra verileri tablolardaki yerlerine konularak kuru birim hacim ağırlık ve yaş birim hacim ağırlık hesaplamaları yapılmıştır.

Tablo 2. Uygun Nitelikli Kazı Malzemesi

Deney	Şartname Limiti	Deney Standarttı
Likit Limit (LL)	≤ 60	TS 1900-1 AASHTO T 89
Plastisite İndeksi	≤ 35	TS 1900-1 AASHTO T 89
Maksimum Kuru Birim Hacim Ağırlık (Standart Proctor)	$\geq 1,450 \text{ t/m}^3$	TS 1900-1 AASHTO T 89



Şekil 5 Örneklerin nemlendirme işlemi.



Şekil 6 Sıkıştırma işlemi tamamlanmış örnek.

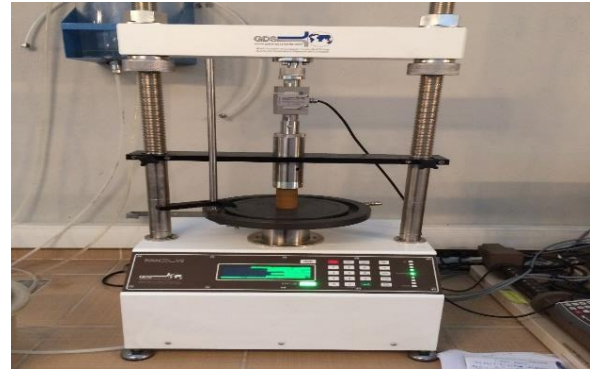


Şekil 7. Örneklerden numune alma.

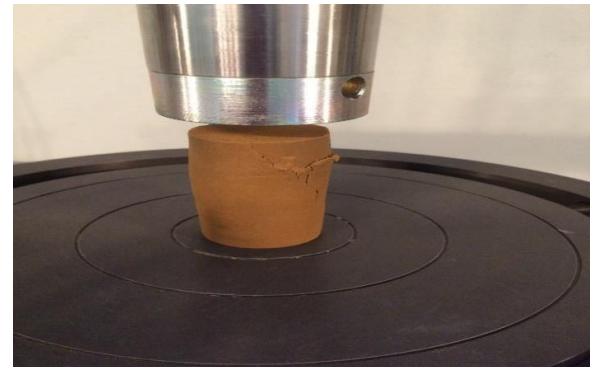


Şekil 8. Alınan numunenin kurutulması işlemi.

Son olarak mukavemet değerlerinin belirlenmesi için örnekler TS 1900-2 kapsamında Serbest (Tek Eksenli) basınç deneyleri uygulanmıştır (TS-1900-2, 2006). Deney görselleri Şekil 9 ve Şekil 10'da gösterilmiştir. Bu deneyler gerilme kontrollü ya da birim boy kısalması şeklinde yapılabilmektedir. Kolay olduğundan birim boy kısalması deneyi en çok kullanılan yöntemdir. Örneklerde deney süresince su içeriğinde değişimler olabileceğinden deney süresi en çok 10 dk da tamamlanacak şekilde belirlenmiştir. Birim boy kısalma oranı %1 olarak seçilmiş ve veri kaydetme sıklığı da 10 sn olacak şekilde belirlenmiştir. 10 dk sürecek deneylerde yaklaşık 60 veri kullanılmıştır. Bu deney bilgisayar kontrollü gerçekleştirilmiştir. Bulgular kısmındaki serbest basınç grafikleri incelendiğinde sonuçların kPa cinsinden bulunduğu görülmektedir. Karşılaştırma yapılabilmesi adına bulunan değerler kg/cm^2 olarak düzenlenmiştir.



Şekil 9. Serbest basınç deney düzeneği.



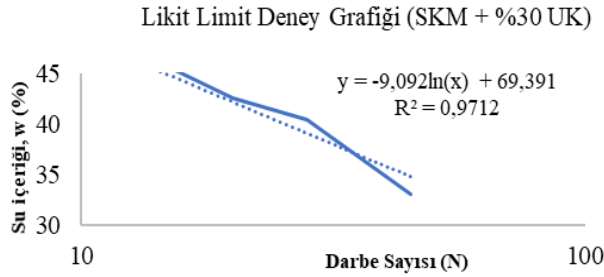
Şekil 10. Sonuç alınmış numune örneği.

3. Bulgular

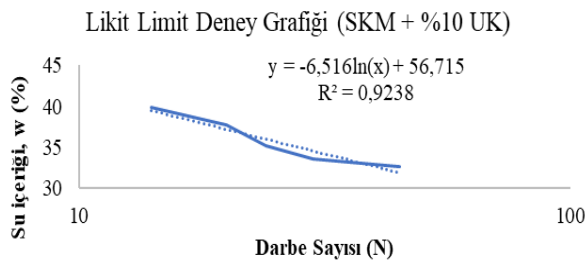
Kıvam limit değerleri hesaplamaları için likit limit değeri belirlemede Cassagrande Plastisite Kartı (TS 1500) A doğrultusu denkleminde çıkan değerler yerine işlenmiş ve Silisli Kum Atığı (SKM)'nin CL düşük plastisiteli kil olduğu belirlenmiştir. Aynı işlemler sonucunda, SKM + %10 Uçucu Kül (UK) örneğinin, SKM + %20 UK örneğinin ve SKM + %30 UK örneğinin CI orta plastisiteli kil özellikli olduğu görülmektedir. Örneklerin hesaplanan kıvam limit değerleri Tablo 2'de gösterilmiştir. Likit limit deneylerine ait likit limit eğrisi grafikleri Şekil 11, Şekil 12, Şekil 13 ve Şekil 14'te gösterilmiştir.

Tablo 2. Örneklerin kıvam limit değerleri

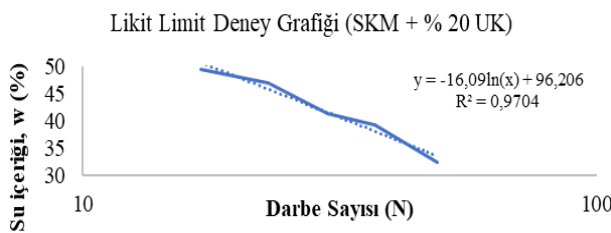
Malzeme	Likit Limit (w_L)	Plastik Limit (w_p)	Plastisite İndisi (PI)
SKM	27	18	9
SKM + %10 UK	36	14	22
SKM + %20 UK	44	15	29
SKM + %30 UK	40	18	22



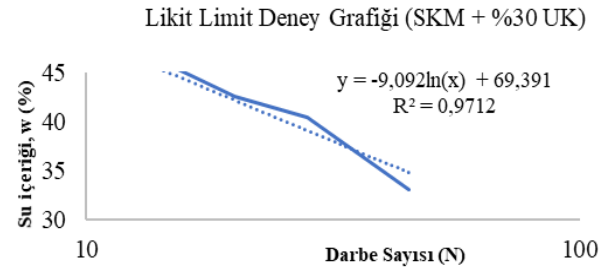
Şekil 11. Silisli kum atığı (SKM) örneği likit limit eğrisi.



Şekil 12. Silisli kum atığı (SKM) + % 10 uçucu kül karışımı likit limit eğrisi.



Şekil 13. Silisli kum atığı (SKM) + % 20 uçucu kül karışımı likit limit eğrisi.

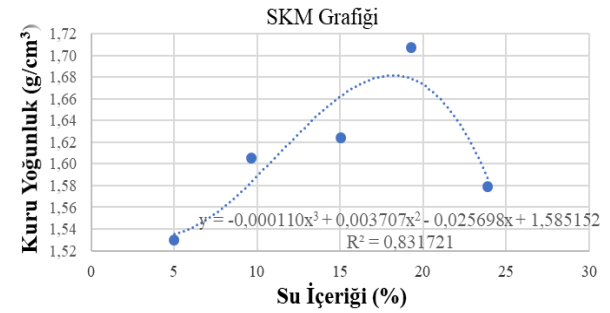


Şekil 14. Silisli kum atığı (SKM) + %30 uçucu kül karışımı likit limit eğrisi.

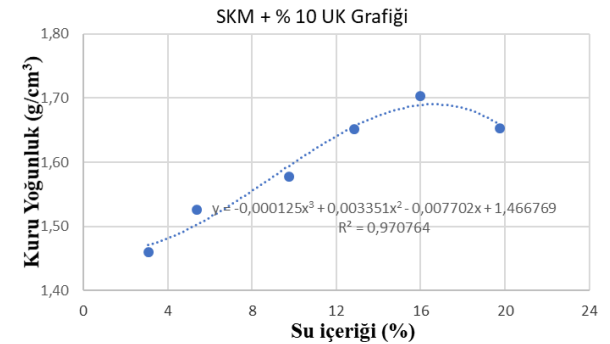
Standart Proktor Deneyinde su muhtevası ile kuru birim hacim ağırlık arasında 3. dereceden bir fonksiyona uygun grafik eğrisi bulunmaktadır. Bu fonksiyonun türevi alınıp sifıra eşitlendiği zaman bulunan X değeri optimum su muhtevasını göstermektedir. Bu X değerinin türevi alınmamış fonksiyonda yerine konduğu zaman bulunan Y değeri de maksimum kuru birim hacim ağırlığı göstermektedir. Standart Proktor Deneyi kompaksiyon eğrisi grafikleri Şekil 15, Şekil 16, Şekil 17 ve Şekil 18'de gösterilmiştir. Optimum su içerikleri ve kuru birim hacim ağırlıkları ise Tablo 3'te gösterilmiştir.

Tablo 3. Örneklerle ait kuru birim hacim ağırlıkları ve optimum su içerikleri

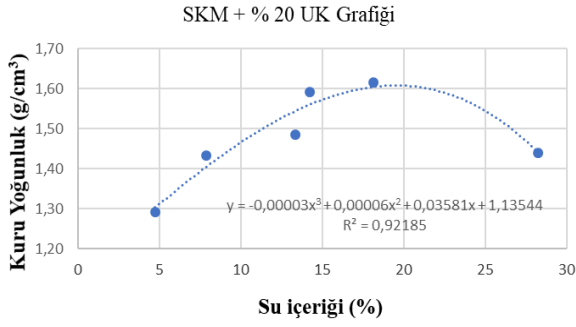
	SKM	SKM + %10 UK	SKM + %20 UK	SKM + %30 UK
W_{opt}	18.18	16.64	20.62	20.23
ρ_{kmax}	1.68	1.69	1.64	1.49



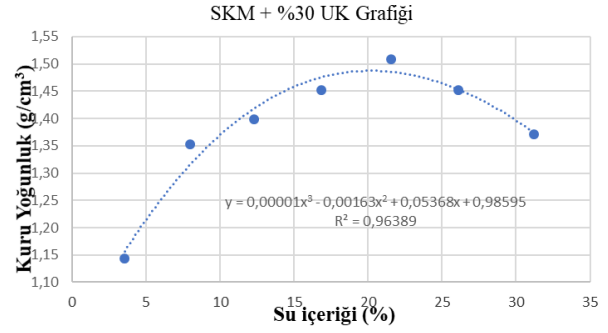
Şekil 15. Silisli kum atığı (SKM) örneği kompaksiyon eğrisi grafiği.



Şekil 16. Silisli kum atığı (SKM) + %10 uçucu kül karışımı kompaksiyon eğrisi grafiği.



Şekil 17. Silisli kum atığı (SKM) + %20 uçucu kül karışımı kompaksiyon eğrisi grafiği



Şekil 18. Silisli kum atığı (SKM) + %30 uçucu kül karışımı kompaksiyon eğrisi grafiği.

Serbest basınç tayininde 1 günlük ve 28 günlük kür süreleri için her bir örnekten 3'er tekrar deney yapılmış ve sonuçlar Tablo 4 ve ortalama serbest basınç değerleri Tablo 5'te gösterilmiştir. Sonuçların grafiksel gösterimleri Şekil 19 ve Şekil 20'de verilmiştir.

Tablo 4. Örneklere ait serbest basınç değerleri

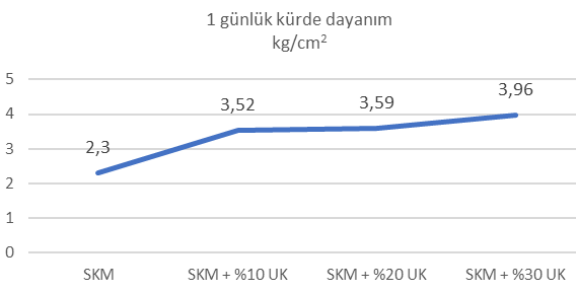
Örnekler	1 günlük kürde*	1 günlük kürde**	28 günlük kürde*	28 günlük kürde**
SKM 1	2,63	258,17	2,14	209,64
SKM 2	2,54	248,59	2,99	292,86
SKM 3	1,75	171,31	2,71	265,21
SKM + %10 UK 1	2,92	285,68	7,49	733,63
SKM + %10 UK 2	3,02	296,24	8,46	828,73
SKM + %10 UK 3	4,64	454,46	8,04	788,08
SKM + %20 UK 1	3,36	328,85	8,90	872,35
SKM + %20 UK 2	3,68	360,63	14,75	1445,07
SKM + %20 UK 3	3,74	366,41	10,88	1066,36
SKM + %30 UK 1	4,49	439,77	22,05	2160,74
SKM + %30 UK 2	4,09	401,30	23,68	2320,37
SKM + %30 UK 3	3,32	325,40	23,01	2255,16

*Dayanım (Kg/cm²), ** Dayanım (kN/m²)

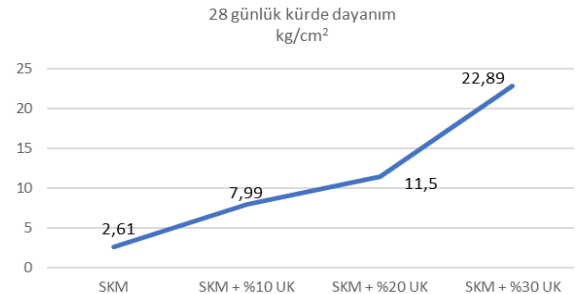
Tablo 5. Örneklere ait ortalama serbest basınç değerleri

	1 günlük kürde*	1 günlük kürde**	28 günlük kürde*	28 günlük kürde**
SKM	2,3	226,02	2,61	255,90
SKM + %10 UK	3,52	345,46	7,99	783,46
SKM + %20 UK	3,59	351,96	11,50	1127,93
SKM + %30 UK	3,96	388,82	22,89	2245,42

*Dayanım (Kg/cm²), ** Dayanım (kN/m²)



Şekil 19. 1 günlük kür süresinde örneklerin serbest basınç dayanım değerleri.



Şekil 20. 28 günlük kür süresinde örneklerin serbest basınç dayanım değerleri.

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışma, silisli kum atığı malzemesi ve uçucu küllerin zeminlerin mühendislik özelliklerine katkısını araştırmak üzere yapılmıştır. Numunelerin plastiklik özelliklerini belirlemek adına kıvam limit analizleri ve dayanımlarını belirlemek için serbest basınç (tek eksenli) deneyleri yapılmıştır. Ayrıca standart proctor deneyi ile optimum su içerikleri ve kuru birim hacim ağırlıkları belirlenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde;

1- Silisli kum atığı malzemesinin kıvam limit değerleri hesaplandığında malzemenin CL- düşük plastisiteli kil özellikte olduğu belirlenmiştir. Zemin stabilizasyonu mühendislik özelliklerinde yüksek plastisite değeri istenmemektedir. Silisli kum atığı malzemesine %10, %20 ve %30 uçucu kül ilave edildiğinde kıvam limit hesaplamalarından karışımların CI- orta plastisiteli kil olduğu belirlenmiştir. Silisli kum atığı malzemesi likit limit değerinin 27 olarak hesaplandığı ve uçucu kül ilaveleri ile %10 uçucu küldü 36, %20 uçucu küldü 44 olduğu ve sonra tekrar %30 uçucu kül ilavesinde değerin 40'a düştüğü görülmektedir. Bu değerler Karayolları Genel Müdürlüğü Karayolu Teknik Şartnamesi 2013'e göre Kısım 203'deki "Uygun Nitelikli Kazı Malzemesi" tanımına da uyduğu görülmektedir.

2- Daha önceki yapılan araştırmalarda plastisite indisindeki artışa bağlı olarak kayma mukavemetinde azalma olduğu ve plastisite indisindeki azalmayla birlikte de kayma mukavemetinde artma olduğu belirtilmiştir. Bu çalışmada tek başına SKM örneğinde plastisite indisi (PI) 9 olarak belirlenmiştir. Bu örneğin serbest basınç dayanımları ise 1 günlük kür süresinde 2,3 kg/cm² olarak hesaplanmıştır. 28 günlük kür süresinde ise bu değer 2,61 kg/cm² olarak hesaplanmıştır. SKM örneği ve %10 UK karışımında plastisite indisi değerinin 22'ye yükseldiği görülmektedir. Aynı örnekte bakılan serbest basınç dayanımı değerlerinin ise 1 günlük kür süresinde 3,52 kg/cm² ye yükseldiği, 28 günlük kür süresinde ise bu değerin 7,99 kg/cm² ye yükseldiği görülmektedir. SKM örneği ve %20 UK karışımında plastisite indisi değerinin 29'a yükseldiği ve ayrıca serbest basınç dayanımı değerlerinin ise 1 günlük kür süresinde 3,59 kg/cm² ye yükseldiği, 28 günlük kür süresinde ise bu değerin 11,5 kg/cm² ye yükseldiği görülmüştür. Son olarak ise SKM örneği ve %30 UK karışımında plastisite indisi değerinin gerileyerek tekrar 22'ye düştüğü ve serbest basınç dayanımı değerlerinin ise 1 günlük kür süresinde 3,96 kg/cm² ye, 28 günlük kür süresinde ise bu değerin 22,89 kg/cm² ye yükseldiği görülmüştür.

3- SKM örneğinde ve karışımlarda bakılan diğer bir parametre ise optimum su içerikleri ve kuru birim hacim ağırlıkları. Deney sonuçları incelendiğinde, SKM örneğinde %18,18 olan su içeriğinin %10 UK ilavesi ile %16,64'e düştüğü, %20 ve %30 UK ilavelerinde ise su içeriğinin tekrar %20,62 ve %20,23'e yükseldiği görülmüştür. Kuru birim hacim ağırlıkları ise SKM örneğinde 1,68, %10 ve %20 UK ilavesinde 1,69 ve 1,64, %30 UK ilavesinde ise 1,49 olarak belirlenmiştir.

Deneylerden edilen sonuçlar incelendiğinde SKM örneğine UK ilave edildiğinde Likit Limit değerinin ve Plastisite indisinin %10 ve %20 kül ilavelerinde yükseliş eğilimi gösterdiği %30 kül ilavesinde tekrar düşüş eğilimi gösterdiği görülmüştür. Mukavemet değerinin de UK ilavesi ve kür süresinin artması ile birlikte yaklaşık 10 kat arttığı ve bu büyük artışın yeni araştırmalar eşliğinde değerlendirilmesi gerektiği düşünülmektedir.

Katkı Oranı Beyanı

Yazarların katkı yüzdesi aşağıda verilmiştir. Yazarlar makaleyi incelemiş ve onaylamıştır.

	S.Ö.	S.K.
K	75	25
T	90	10
Y	50	50
VTI	80	20
VAY	70	30
KT	80	20
YZ	100	
KI	40	60
GR	100	
PY	50	50
FA	20	80

K= kavram, T= tasarım, Y= yönetim, VTI= veri toplama ve/veya işleme, VAY= veri analizi ve/veya yorumlama, KT= kaynak tarama, YZ= Yazım, KI= kritik inceleme, GR= gönderim ve revizyon, PY= proje yönetimi, FA= fon alımı.

Çatışma Beyanı

Yazarlar bu çalışmada hiçbir çıkar ilişkisi olmadığını beyan etmektedirler.

Etik Onay Beyanı

Bu araştırmada hayvanlar ve insanlar üzerinde herhangi bir çalışma yapılmadığı için etik kurul onayı alınmamıştır.

Destek ve Teşekkür Beyanı

Bu çalışma Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'nce desteklenmiştir (2015-7330 8182-01). Projeye desteklerinden dolayı yazarlar Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğüne teşekkür eder.

Kaynaklar

- Akan R, Keskin SN, Yazıcı MF. 2017. Killi zeminlerin su muhtevası ile serbest basınç mukavemeti arasındaki ilişki. Kilis 7 Aralık Üniv Fen Müh Derg, 1(2): 1-9.
- Aytekin M. 2004. Deneysel zemin mekaniği. Teknik Yayın Evi, Ankara, Türkiye, Genişletilmiş 2. Baskı, ss: 276-319.
- Bilici H, Türköz M, Savaş H. 2022. Üç farklı termik santralden alınan uçucu külün ince taneli zeminin kompaksiyon ve dayanım özellikleri üzerindeki performansı. Eskişehir Osmangazi Üniv Müh Mimar Fak Derg, 30(3): 379-388. 10.31796/ogummf.11326.
- Denhghanian K. 2021. Killi zeminlerin özelliklerinin uçucu kül

- kullanarak iyileştirilmesi. ALKÜ Fen Bilim Derg, 3(1): 66-72.
- Geçkil T, Sarıcı T, Yıldırım E S. 2019. Kireç katkısı ile kil bir zeminin dayanımının iyileştirilmesi. Çukurova Üniv Müh-Mimar Fak Derg 34(4): 171-180.
- Özaydın K. 2011. Zemin mekaniği. Birsen Yayınevi, İstanbul, Türkiye, ss: 16-25.
- Taş M, Fidan D, Yılmaz F. 2018. Uçucu kül ve bayburt taşı ile zemin stabilizasyonu. Bayburt Üniv Fen Bilim Derg. 1(1): 8-14.
- Temiz H. Elbistan K. Paköz B. 2021. Afşin-Elbistan termik santral külünün standarda uygun hale getirilmesi ve beton katkısı olarak değerlendirilmesi. Çukurova Üniv Müh Fak Derg, 36(3): 799-813.
- Totiç E, Göktepe F, Merve Y. 2019. Uçucu kül katkısının killi zeminlerin mekanik özelliklerine etkisi. Dicle Üniv Müh Fak Mühendislik Derg,10(2): 769-778.
- TS 1900-1. 2006. İnşaat mühendisliğinde zemin laboratuvar deneyleri. Bölüm-1, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- TS 1500. 2000. İnşaat mühendisliğinde zeminlerin sınıflandırılması. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- TS 1900-2. 2006. İnşaat mühendisliğinde zemin laboratuvar deneyleri. Bölüm-2, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- Yılmaz F. 2016. Zemin stabilizasyonunda uçucu kül kullanımı. In 3rd international Symposium on Environment and Morality (ISEM2016), Antalya, Türkiye, ss: 63.
- Yılmaz F. 2020). Uçucu kül ve mermer tozu katkılarının zeminin stabilizasyonuna ve donma çözülmesine etkisinin araştırılması. Acad Plat J Engin Sci, 8(1): 56-61.
- Zumrawi MM. 2016. Correlation of placement conditions and soil intrinsic properties with shear strength of cohesive soils. 7th Annual Conference for Postgraduate Studies and Scientific Research Basic Sciences and Engineering Studies-University of Khartoum Sudan 20-23 February, Khartoum, Sudan, pp: 53.



ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ FARABI YERLEŞKESİNDEKİ ELEKTRİK ENERJİSİ İHTİYACININ GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALLERİ KURULARAK ELDE EDİLMESİ VE EKONOMİK ANALİZİ

Engin AY¹, Nihat PAMUK^{2*}

¹Zonguldak Bülent Ecevit University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Electrical and Electronics Engineering, 67100, Zonguldak, Türkiye

²Zonguldak Bülent Ecevit University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics Engineering, 67100, Zonguldak, Türkiye

Özet: Günümüzde, artan enerji maliyetleri nedeniyle elektrik enerjisi ihtiyaçlarının ucuz ve temiz kaynaklardan karşılanması büyük önem arz etmektedir. Gelişen teknoloji ile, tüketiciler için oldukça yüksek maliyet oluşturan enerji giderlerinin temiz ve ucuz enerji kaynaklarından elde edilmesi gerekmektedir. Bu nedenlerle elektrik enerjisi üretiminde fotovoltaik enerji sistemlerinin kullanılması oldukça yaygınlaşmıştır. Güneş panellerindeki yarı iletken teknolojisinin gelişmesi ile, ucuz maliyetli ve kurulum masraflarını daha kısa sürede amorti edebilecek verimli sistemler oluşturulmaktadır. Fosil yakıtlar kullanılarak üretilen elektrik enerjisindeki birim maliyet fiyatlarının çok yüksek olması ve çevreye verdiği ilave zararlar da göz önünde bulundurulduğunda, enerjinin bu tür kaynaklardan elde edilmesi durumu sürdürülebilir olmaktan uzaklaşmıştır. Bu çalışmada, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi'ne ait Farabi yerleşkesinin elektrik enerjisi tüketim miktarları belirlenmiştir. Bu enerji ihtiyacının karşılanmasında çevreye zarar vermeyen, kısa süre içerisinde kurulum masraflarını karşılayabilen, uzun ömürlü ve yeni teknolojik teçhizatlar ile enerji üretebilen fotovoltaik enerji sistemlerinin kurulumu hedeflenmiştir. Bu kapsamda yerleşke binalarındaki çatılarının kullanılması amaçlanarak mevcut kanun ve yönetmelikler göz önünde bulundurulmuş ve çatı tipi fotovoltaik enerji sistemleri tasarlanmıştır. PV-SOL benzetim programı kullanılarak tasarlanan enerji sisteminin teçhizat seçimi gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Farabi yerleşkesinde yer alan 14 adet binanın çatısına toplam 1.917.44 kWp kurulu güce sahip fotovoltaik enerji tesisinin kurulmasının uygun olacağı tespit edilmiştir. Kurulan bu tesislerden yıllık 2.354.885 kWh gücünde elektrik enerjisi üretilebileceği gösterilmiştir.

Anahtar kelimeler: Yenilenebilir enerji kaynakları, Elektrik üretimi, Çatı tipi güneş enerjisi sistemleri, PV-SOL


Obtaining the Electricity Need in the Farabi Campus of Zonguldak Bulent Ecevit University by Establishing Solar Power Plants and Its Economic Analysis

Abstract: Nowadays, due to the increasing energy costs, it is of great importance to meet the electrical energy needs from cheap and clean sources. Along with the developing technology, energy expenditures, which constitute a very high cost for consumers, must be obtained from clean and cheap energy sources. For these reasons, the use of photovoltaic energy systems in electrical energy production has become quite common. With the development of semiconductor technology in solar panels, efficient systems are created that are inexpensive and can pay off installation costs in a shorter time. Considering the very high unit cost prices of electrical energy produced using fossil fuels and the additional damage it causes to the environment, the situation of obtaining energy from such sources is far from sustainable. In this study, the electrical energy consumption amounts of the Farabi campus of Zonguldak Bulent Ecevit University were determined. In providing this energy needs, it is aimed to install photovoltaic energy systems that do not harm the environment, can provide the installation costs in a short time, and can produce energy with long-lasting and new technological equipment. In this context, existing laws and regulations were taken into consideration and roof type photovoltaic energy systems were designed with the aim of using the roofs of the campus buildings. The equipment selection of the energy system designed using the PV-SOL simulation program has been carried out. As a result of the study, it was determined that it would be appropriate to install a photovoltaic energy facility with a total installed power of 1,917.44 kWp on the roof of 14 buildings located in the Farabi campus of Zonguldak Bulent Ecevit University. It has been shown that 2,354,885 kWh electrical energy can be produced annually from these established facilities.

Keywords: Renewable energy sources, Electricity generation, Roof type solar energy systems, PV-SOL

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Zonguldak Bulent Ecevit University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics Engineering, 67100, Zonguldak, Türkiye

E mail: nihatapamuk@beun.edu.tr (N. PAMUK)

Engin AY  <https://orcid.org/0000-0002-2060-9126>

Nihat PAMUK  <https://orcid.org/0000-0001-8980-6913>

Gönderi: 27 Mart 2023

Kabul: 17 Nisan 2023

Yayınlanma: 01 Temmuz 2023

Received: March 27, 2023

Accepted: April 17, 2023

Published: July 01, 2023

Cite as: Ay E, Pamuk N. 2023. Obtaining the electricity need in the Farabi Campus of Zonguldak Bulent Ecevit University by establishing solar power plants and its economic analysis. BSJ Eng Sci, 6(3): 173-184.



1. Giriş

Elektrik enerjisinin üretilmesi, enerji kaynaklarının etkin ve verimli bir şekilde kullanılması günümüzün en önemli konularından bir tanesidir. Özellikle fosil yakıtlı enerji kaynaklarının yaygın bir şekilde kullanılması, bu kaynakların çevre ve insan sağlığı üzerinde oluşturacağı olumsuz etkilerinin azaltılması ve gelecek nesillere daha yaşanabilir bir dünya bırakılabilmesi adına temiz enerji kaynakları kullanımının yaygınlaştırılması gerekmektedir. Günümüzde enerji ihtiyacının büyük bir çoğunluğu fosil yakıtlardan elde edilmektedir. Fosil yakıtların kullanımı birçok olumsuz çevre sorununu da beraberinde getirmektedir. Fosil yakıtların yakılmasıyla havaya salınan CO₂ gazının meydana getirdiği küresel ısınma, iklim değişimi gibi olaylar çevreye verilecek zararların artmasına neden olmaktadır. Kömür, petrol, linyit ve doğalgaz gibi fosil yakıtlar uzun vadede enerji üretimi mümkün olmayan tükenbilir kaynak çeşitlerindedir (Kocalmış Bilhan ve Emikönel 2021).

Doğaya ve insanlara zarar vermeden elektrik enerjisi üretiminin yapılması ve ülkenin temiz enerji kaynakları ile elektrik enerjisi ihtiyacını karşılaması ancak yenilenebilir enerji sistemlerinin kullanılması ile mümkündür (Karaağaç ve ark., 2020). Enerjinin sürdürülebilirliğinin artırılması ve çevreye verilecek olan zararların en aza indirilebilmesi için, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım sürelerinin artırılması gerekmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından en yaygın olarak kullanılan enerji türleri güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi ve biokütle enerjisidir (Koç ve Kaya 2015). Bu enerji kaynaklarına ilave olarak jeotermal, dalga ve hidrojen enerjisi de alternatif ve sürdürülebilir enerji kaynağı olarak gösterilebilir (Emeksiz ve Fındık 2021). Bu tür enerji kaynakları atmosfere sera gazı yaymadıkları için temiz enerji kaynakları olarak kabul edilirler.

Son yıllarda güneş enerjisinden elektrik enerjisi üreten fotovoltaik enerji sistemleri hızla gelişmektedir. Bu nedenle küresel enerji piyasasındaki fotovoltaik enerji sistemlerinin önemi büyük oranda artış göstermektedir (Sak ve ark., 2019). Ülkemizde ve dünyada elektrik enerjisi üretiminde kullanılan fosil kaynaklı yakıt kullanım oranları oldukça büyüktür. Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketinden alınan verilere göre, 2022 yılı Ağustos ayı itibarıyla Türkiye'nin birincil enerji kaynaklarına göre kurulu güçleri incelenmiştir. Yapılan incelemede, enerji üretiminin % 30,9 oranında hidrolik enerjisinden, % 24,7 oranında doğalgaz enerjisinden, % 20,6 oranında kömür enerjisinden, % 10,9 oranında rüzgâr enerjisinden, % 8,6 oranında güneş enerjisinden ve % 4,3 oranında ise diğer enerji kaynaklarından oluştuğu görülmektedir (TEİAŞ 2022). Buna karşın kurulu gücün yaklaşık % 45,3 oranında çevreye zararlı fosil kaynaklar kullanılarak oluştuğu tespit edilmiştir.

Ayrıca ülkemizde elektrik enerjisi üretim santrali sayısı, 2022 yılı Kasım ayı sonu itibarıyla 11382'ye yükselmiştir. Mevcut santrallerin 750 adedi hidroelektrik, 68 adedi

kömür, 358 adedi rüzgâr, 63 adedi jeotermal, 345 adedi doğal gaz, 9308 adedi güneş, 490 adedi ise diğer kaynaklı santrallerdir (Eralp 2023). Gelişen teknoloji ile dünya birincil enerji ihtiyacı 1973 ve 2022 yılları arasında iki kattan fazla artmıştır. 2014 yılındaki artış oranı ise bir önceki yıla göre % 0,9 düzeyindedir (Taştan ve Birol 2023). Artan bu ihtiyaç doğrultusunda yakın bir gelecekte petrol, doğalgaz, kömür gibi enerji kaynaklarının giderek azalacağı ve tükenme boyutuna ulaşacağı öngörülmektedir.

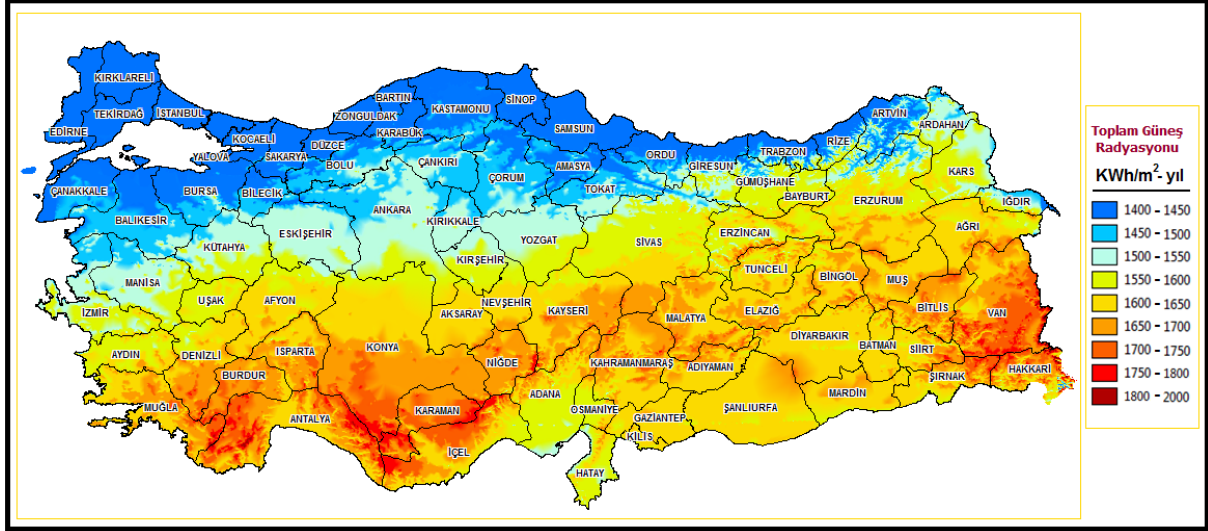
Ülkeler enerji kaynakları konusunda dışa bağımlılığı en aza indirme, iklimsel değişikliğinden ve aşırı kullanımdan kaynaklanan tükenbilir enerji kaynaklarının azalmasını önleme doğrultusunda çeşitli kararlar almaya başlamışlardır. Bu amaçla dünya çapındaki en büyük adım olarak, alternatif enerji kaynaklarına yönelme ve yatırımları bu doğrultuda yapma konusunda ortak kararlar alınmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, bir yandan ekonomik büyüme ile sosyal kalkınma hedeflerinin sürdürülebilirliği, diğer yandan ise ısı tutma etkisine sahip olan sera gazı salınım oranlarının azaltılmasında oynadığı etkili rol nedeniyle ele alınması gereken konuların başında gelmektedir. Son yıllarda teknolojik gelişmeler, yasal mevzuatlarda yapılan değişiklikler ve kurulum maliyetlerinin azalması gibi nedenlerle ülkemizde güneş enerjisi kaynaklı üretim tesislerinin yaygınlaştığı görülmektedir.

Türkiye'de ilk defa 10 Mayıs 2005 tarihinde yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak "Elektrik Enerjisi Üretimine" ilişkin kanun çıkartılarak yasal düzenlemede önemli bir adım atılmıştır (5346 Sayılı Kanun 2023). Bu kanun ile yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak elektrik enerjisi üretiminin yaygınlaştırılması, bu kaynakların güvenilir, ekonomik ve kaliteli bir biçimde ekonomiye kazandırılması, kaynak çeşitliliğinin artırılması, sera gazı emisyon oranlarının azaltılması, atıkların değerlendirilmesi ve çevrenin korunması amaçlanmıştır. Ayrıca yenilenebilir enerji kaynaklarının desteklenmesi amacıyla 3 Aralık 2010 tarihinde 500 kW güç üretim değerini geçmeyen elektrik tesislerinin lisanssız olarak enerji üretebilmeleri amacıyla "Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik" yayınlanmıştır (Yönetmelik 2023). Kanun ve yönetmeliklerde yapılan düzenlemeler ile, ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım oranları artırılmıştır. Bu alanda gerçekleştirilen teknolojik gelişmeler neticesinde özellikle güneş enerjisinin birincil enerji kaynağı olarak kullanılması yönünde büyük ilerlemeler kaydedilmiştir.

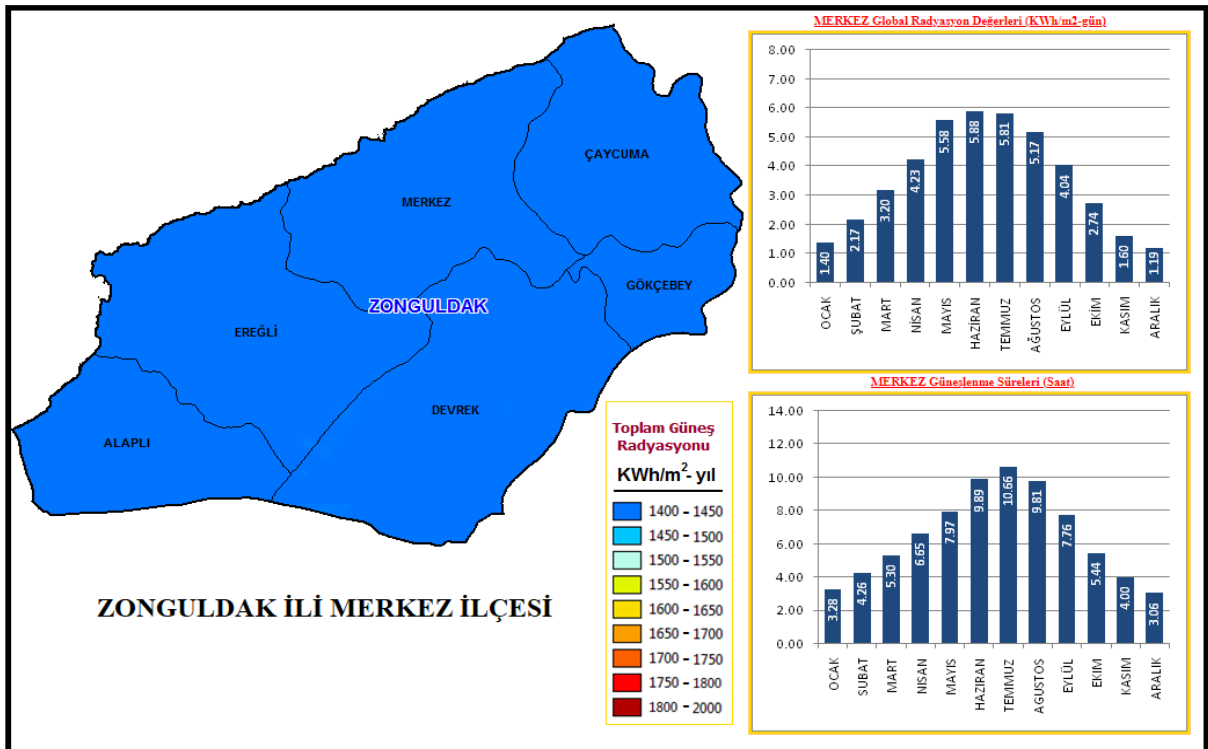
Şekil 1'de Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası gösterilmiştir. Ülkemizin güney bölgelerinin daha fazla güneş radyasyonuna sahip olduğu, kuzey bölgelerinin ise daha az güneş gücü potansiyeline sahip olduğu görülmektedir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının hazırladığı Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına (GEPA) göre, ülkemizin yıllık toplam güneşlenme süresi 3,75 saat (günlük ortalama 7,5 saat), yıllık toplam gelen güneş enerjisi 1.527 kWh/m².yıl (günlük ortalama 4.18

kWh/m².gün) olmaktadır (GEPA 2023). Çalışmanın gerçekleştirildiği Zonguldak ili içerisinde ise yıllık toplam güneşlenme süresi 3,25 saat (günlük ortalama 6,5 saat), yıllık toplam gelen güneş enerjisi 1.313 kWh/m².yıl (günlük ortalama 3.60 kWh/m².gün) olmaktadır. Şekil 2'de Zonguldak ili merkez ilçesine ait toplam güneş radyasyon değerleri, Global radyasyon değerleri ile

güneşlenme süreleri gösterilmiştir. Zonguldak ili merkez ilçesinin güneş enerjisi güç potansiyeli ülkemizin diğer bölgelerine oranla daha düşük değerlerde oluşmaktadır. Ayrıca bölgede yaygın olarak kömür madenleri bulunması nedeniyle, bölgede kömüre dayalı termik santraller yoğun olarak yer almaktadır.



Şekil 1. Türkiye'nin güneş enerjisi güç potansiyel atlası.



Şekil 2. Zonguldak ili merkez ilçesinin güneş enerjisi güç potansiyel atlası

Bölgede kömür kaynaklarının yoğun olarak bulunması ve bir liman şehri olması nedeniyle, şehir merkezinin 18 km doğusunda Çatalağzı Belediyesi sınırları içerisinde toplam kurulu gücü 2.790 MW olan Zonguldak Eren Enerji Termik Santrali de bulunmaktadır (Eren Enerji 2023). Son yıllarda bilim adamları tarafından yapılan çalışmalarda termik santrallerin kurulu olduğu

bölgelerdeki hava kalitesinin belirlenmesi amacıyla SO₂, NO_x ve PM₁₀ yoğunluk ölçümleri gerçekleştirilmektedir (Yılmaz ve ark., 2022). Çalışma bölgesinin hava kalitesi SO₂ yoğunluğu için tehlikeli, NO_x yoğunluğu için sağlıklı, kötü ve tehlikeli, PM₁₀ yoğunluğu için ise iyi, orta ve hassas olarak belirlenmiştir (Zeydan ve Yıldırım 2015). Bu durum bölgedeki hava kirliliğinin yüksek boyutlarda

olduğunu göstermektedir. Ülkemizin toplam güneş radyasyon oranları Avrupa Birliği ülkeleri ile karşılaştırıldığında "Global Radyasyon Değerlerinin" ve "Güneşlenme Sürelerinin" daha yüksek olduğu görülmektedir. Avrupa Birliği üye ülkelerinden Almanya, 2020 yılı aralık ayı itibarıyla 53.783 MW güneş enerjisi kurulu gücüne sahiptir (Anonim 2023). Bu durum Almanya'nın güneş enerjisi kurulu gücünün, ülkemizin güneş enerjisi kurulu gücünden yaklaşık 6 kat daha fazla olduğunu göstermektedir. Buna rağmen güneş enerjisi güç potansiyel haritaları incelendiğinde ise, Almanya'nın toplam güneş radyasyon oranının ülkemize oranla daha az olduğu görülecektir. Bu durum ülkemizde güneş enerjisi kullanımının yaygınlaştırılması gerektiğini göstermektedir.

Bu çalışma fosil kaynaklı yakıtlara dayalı enerji üretim tesislerinin yoğun olarak bulunduğu, hava kirliliğinin yüksek derecede olduğu, güneş enerjisi güç potansiyelinin ise ülkemizin diğer bölgelerine göre daha az olduğu bir bölgede gerçekleştirilmiştir. Çalışma ile Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Farabi yerleşkesindeki toplam elektrik enerjisi ihtiyacı güneş enerjisi santralleri kurularak elde edilmiş ve kurulması planlanan tesisin ekonomik analizi gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Farabi yerleşkesinde bulunan binaların çatılarına şebekeye bağlı güneş enerjisi tesisleri kurulması planlanmış olup üretilen elektrik enerjisinin ilk etapta tüketim gerçekleştirilen binalarda harcanması hedeflenmiş, üretim fazlası elektrik enerjisinin ise mevcut şebeke bağlantısı aracılığıyla dağıtım sistemine verilmesi öngörülmüştür. Kurulacak tesislerden üretilen ve tüketilen elektrik enerjisi dağıtım sistemine ait ölçü kısmında yer alan mevcut elektrik sayacının çift yönlü sayaç ile değiştirilmesi suretiyle ölçülecek ve mahsuplaşma işlemleri yapılacaktır. Çalışma alanlarında yer alan çatıların durumları incelenmiş güneşlenme durumları göz önüne alınarak güneş paneli yerleşimleri gerçekleştirilmiştir. Panel yerleşimleri sonrasında elde edilen kurulu güce göre inverter seçimleri gerçekleştirilmiş ve PVSOL programı yardımıyla benzetim çalışmaları yapılarak üretililecek elektrik enerjisi miktarı hesaplanmıştır.

2. Çalışma Alanlarının Belirlenmesi

Çalışma bölgesi olarak ülkemizin diğer coğrafi bölgelerine oranla daha düşük güneş enerjisi güç potansiyeline sahip olan Zonguldak ili seçilmiştir. Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesindeki Farabi Yerleşkesi Zonguldak ili merkez ilçesinde yer almaktadır. Farabi yerleşkesinde Fen Bilimleri Enstitüsü, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Mühendislik Fakültesi, Fen Fakültesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, İlahiyat Fakültesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İletişim Fakültesi, kapalı spor salonu, kütüphane, yemekhane ve sosyal donatılara ait binalar bulunmaktadır.

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Farabi Yerleşkesinde bulunan tesis ve binaların elektrik enerjisi

ihtiyaçları, elektrik enerjisi dağıtım şirketi ile imzalanan ve üç farklı noktadan yapılan abonelikler ile karşılanmaktadır (Yılmaz ve Temur 2022). Enerji dağıtım şirketi ile üniversite arasında "Farabi Kampüsü" isminde imzalanan birinci aboneliğin elektrik enerjisi tüketim değeri 2.600.000 kWh gücündedir. İkinci aboneliğin elektrik enerjisi tüketim değerleri ise 550.000 kWh gücünde ve Farabi yerleşkesi içerisinde bulunan Teknolab A-B-C, İş Atölyeleri ve Merkezi Derslik binalarını kapsamaktadır. Üçüncü abonelik ise Yapı İşleri Teknik Dairesi Başkanlığına ait olup, elektrik enerjisi tüketim değeri 52.000 kWh gücündedir. Bu kapsamda Farabi Yerleşkesinin 2023 yılı için toplam elektrik enerjisi tüketim değeri olarak 3.210.000 kWh olacağı öngörülmektedir (Yılmaz ve Temur 2022). Tablo 1'de Farabi kampüsü ve Teknolab A-B-C, İş Atölyeleri ve Merkezi Derslik binalarına ait elektrik aboneliklerinin aylık yaklaşık enerji tüketimleri yer almaktadır.

Tablo 1. Aboneliklere ait aylık yaklaşık enerji tüketimleri

Dönem	Farabi Kampüsü (kWh)	Teknolab A-B-C, (kWh)*
Ocak	200.000	43.000
Şubat	180.000	38.000
Mart	250.000	52.000
Nisan	255.000	54.000
Mayıs	265.000	56.000
Haziran	250.000	53.000
Temmuz	150.000	32.000
Ağustos	140.000	29.000
Eylül	230.000	48.000
Ekim	205.000	43.000
Kasım	240.000	52.000
Aralık	235.000	50.000

*İş atölyeleri ve merkezi derslik binaları

Yerleşke içerisinde gerçekleştirilecek olan yıllık elektrik enerjisi tüketim miktarının çok yüksek olması nedeniyle elektrik enerjisi giderlerine yüksek oranlarda pay ayrılmaktadır. Bölge için elektrik enerjisi üretiminde çevreye zararlı fosil kaynakların yoğun olarak kullanılacak olması, söz konusu tüketilecek olan elektrik enerjisinin, temiz, yenilenebilir, çevreci ve ülke ekonomisine katkı sağlayan kaynaklar ile karşılanması gerektiğini göstermektedir. Bu nedenle Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Farabi Yerleşkesindeki binaların elektrik enerjisi tüketim değerlerini karşılamak amacıyla yerleşke içerisinde güneş enerjisi ile elektrik enerjisi üreten tesislerin kurulması planlanmıştır.

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Farabi Yerleşkesi incelendiğinde, üniversite içerisinde yeterli büyüklükte boş arazilerin bulunmaması, mevcut binaların ve ağaçların ise yerleşke içerisinde kısmen boş olarak bulunan arazilerde gölgelenmelere sebep olacağı görülmüştür. Bu tür olumsuzluklar nedeniyle arazi uygulamalı tipte güneş enerjisi elektrik üretim sistemleri kurulmasının uygun olmayacağı değerlendirilmiş, buna göre çatı durumları uygun olan binalar dikkate alınarak

çatı tipi güneş enerjisi santrallerinin kurulması planlanmıştır. Arazi uygulamalı güneş enerjisi tesislerinin çatı uygulamalı tesislere ilave olarak altyapı ve konstrüksiyon maliyetleri de içermesi nedeniyle daha yüksek ücretlendirme olacağı öngörülmektedir. Bununla birlikte çatı uygulamalı tesisin elektrik bağlantısının, kurulum yapılacak binaya ait ana elektrik dağıtım panosuna irtibatlanması maliyet ve kurulum açısından daha avantajlı olacağı tespit edilmiştir. Arazi uygulamalı tesis yapılması durumunda elektrik bağlantısının ise daha uzun mesafelerde bağlantı yapılacak aboneliğe ait ana dağıtım noktasına yapılmasına ihtiyaç olacağından bağlantı hattı işçilik ve maliyet giderlerinin daha yüksek olacağı öngörülmektedir. Bu nedenle kampüs içerisinde yer alan bina çatılarına kurulum yapılmasının, arazi uygulamalı güneş enerjisi tesisi kurulumuna göre daha avantajlı olacağı değerlendirilmektedir.

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Farabi Yerleşkesinde yer alan Mühendislik Fakültesi derslik ve laboratuvarlarından, Teknolab A-B-C binalarından, Mühendislik Fakültesi Ek binasından, Kapalı Spor Salonu binasından, Bilgi İşlem Daire Başkanlığı binasından, Yemekhane ve Sosyal Tesis binalarından faydalanılmıştır. Ayrıca Maden Mühendisliği binası, İletişim Fakültesi binası, Güzel Sanatlar Fakültesi binası, Kütüphane ve İlahiyat Fakültesi binası, Yeni Fen Fakültesi binası ile İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi binasının da kullanılacağı değerlendirilmiştir. Söz konusu tüm binaların çatı durumları kurulum için incelenmiş ve kurulum açısından uygun olacağı değerlendirilmiştir. Şekil 3'te Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Farabi Yerleşkesindeki çalışma yapılacak olan binalar gösterilmiştir.



Şekil 3. Zonguldak Ecevit Üniversitesi Farabi yerleşkesinde güneş enerjisi kurulumu planlanan binalar

Belirlenen bina gruplarından Teknolab A-B-C bloklarının ikinci grup elektrik aboneliği dağıtım kök noktasından ayrı olacak şekilde bağımsız olarak yapılmaktadır. Güneş enerjisi tesisi kurulacak olan diğer tüm binaların elektrik aboneliği ise birinci grup elektrik aboneliği şeklinde ve yine dağıtım kök noktasından ayrı olacak biçimde Farabi Kampüsü ismiyle bağımsız olarak yapılmaktadır. İki abonelik durumu için ayrı dağıtım kabinlerinde enerji tüketim değerlerini ölçecek şekilde elektrik sayaçları yer almaktadır. Mevcut elektrik sayaçları, çift yönlü elektrik sayaçları ile değiştirilmek suretiyle bina gruplarında üretilen ve tüketilen elektrik enerjisi miktarlarının ölçülmesi gerçekleştirilecektir. Her bina çatısına yapılacak güneş enerjisi santralleri için bina ana dağıtım panoları yanına güneş enerjisi panosu kurulacak ve

koruma sistemleri bu panolar içerisine yerleştirilecektir. Birbirinden bağımsız iki ayrı enerji dağıtım kabininden yapılan elektrik enerjisi ölçümleri sonucunda tüketilen ve üretilen elektrik enerjisi değerleri aylık olarak hesaplanacak ve güncel yasal mevzuatlar çerçevesinde ay sonunda mahsuplaşma yapılmak suretiyle, üretilen enerji miktarı bedelleri tahsil edilmiş olacaktır.

Çatı tipi güneş enerjisi elektrik üretim tesisleri kurulumuna başlanılmadan önce, güncel Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği mevzuatı kapsamında ön çalışmalar yapılacak, gerekli belgelerle birlikte elektrik dağıtım şirketine bağlantı başvurusu yapılacaktır. Bağlantı başvurusu akabinde dağıtım şirketinden çağrı mektubu alınarak uygulama projelerinin hazırlanması aşamasına geçilecek ve hazırlanan projeler elektrik

dağıtım şirketine onaylatılacaktır. Hazırlanan uygulama projelerinde kurulum yapılacak çatı alanlarına ilişkin mimari ve statik hesap raporları, genel yerleşim planları, tek hat şemaları, panel-inverter uyumluluk hesap raporları, gerilim düşümü hesapları, kısa devre hesapları, topraklama ve yıldırımdan korunma planları, keşif özeti, mevzuat kapsamında istenilen ve ihtiyaç duyulabilecek diğer projelendirme işlemleri gerçekleştirilecektir. Uygulama projelerinin elektrik dağıtım şirketi tarafından onaylanmasının ardından imalatlara başlanılacak, tesis yapımı, uygulama projesi doğrultusunda fen, sanat kurallarına uygun olarak tamamlanacaktır. Tesis tamamlanmasından sonra elektrik dağıtım şirketiyle Dağıtım Sistemine Bağlantı Anlaşmaları imzalanacak, geçici kabul işlemleri yaptırılacak ve ardından sistem kullanım anlaşmaları imzalanarak üretim ve mahsuplaşma işlemlerine başlanılacaktır.

Çatı tipi güneş enerjisi tesislerinin kurulumuna başlamadan önce, gerçek duruma yakın sonuçlar verebilen benzetim programları ile ön fizibilite çalışmalarının yapılması gerekmektedir. Gerçekleştirilen ön fizibilite çalışmalarının çıktıları ile tesisin ekonomik sonuçları, sistem verimliliği, doğaya katkısı hakkında önceden fikir sahibi olunmaktadır. Literatürde güneş enerjisi üretim sistemlerinin benzetimini gerçekleştiren, hesaplamalarını ve analizlerini yapan birçok program bulunmaktadır. Bu programlardan bazıları PVSOL, HelioScope, Polysun, PVsyst isimli programlardır. Ayrıca PVGIS gibi çevrimiçi veritabanı platformu olan programda sistem tasarımında kullanılmaktadır (Sarı ve Özyiğit 2020).

Benzetim programlarının doğruluğunun kanıtlanabilmesi amacıyla, 2004 yılında Uluslararası Enerji Ajansı tarafından Fotovoltaik Güç Sistemleri Programı (PVPS) kullanılmaya başlanmıştır (Jahn ve Nasse 2004). Benzetim çalışmasında Almanya'da 235 adet, diğer Avrupa ülkelerinde ise 133 adet kurulu güneş enerjisi santrallerinin verileri kullanılmıştır. 368 adet güneş enerjisi santralının PVSOL benzetim programı ile simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Elde edilen benzetim çalışması sonuçları ile gerçek santral verileri karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmada benzetim sonucunda yıllık 793 kWh/kWp enerji üretimi gerçekleştirilirken ve % 73,6 sistem performans oranı elde edilirken, gerçek değerlerin yıllık 820 kWh/kWp enerji üretimi ve % 76,5 sistem performans oranı olduğu gözlemlenmiştir. Çalışma sonucunda gerçek veriler ile PVSOL programı arasında elde edilen veriler arasında % 3-4 arasında farklılık olduğu tespit edilmiştir (Ceylan ve Taşdelen 2018). Ayrıca benzetim sonuçları ile gerçek verilerin karşılaştırıldığı bir başka çalışmada ise PVsyst, PVSOL, PVGIS simülasyon programları kullanmış ve PVSOL benzetim programıyla yapılan çalışma sonuçları ile gerçek veriler incelendiğinde hata payının % 4,84 olduğu tespit edilmiştir (Arslan 2022). Tüm bu çalışmalar tesis kurulumuna başlanmadan önce simülasyon sonuçları ile ön fizibilite çalışmalarının yapılabileceğini ve önceden fikir sahibi olunabileceğini göstermektedir.

3. Benzetim Çalışmaları

Bu çalışmada PVSOL benzetim programı kullanılarak hesaplama ve analizler gerçekleştirilmiştir. PVSOL benzetim programında şebekeye bağlı, öz tüketimli şebekeye bağlı, elektrikli cihazlı şebekeye bağlı PV sistemlerin, batarya sistemlerinin, elektrikli cihazlı şebekeye bağlı PV sistemlerin, elektrikli araçların, elektrikli cihazlı şebekeye bağlı PV sistemli elektrikli araçların benzetim çalışmaları yaygın olarak yapılmaktadır. Ayrıca batarya sistemlerinin, elektrikli aletlerin, termal sistem ile şebekeye bağlı PV sistemlerinin, şebekeden bağımsız PV sistemlerin, yedek jeneratörlü ve şebekeden bağımsız PV sistemlerinin bir yıllık süre zarfındaki projelendirme ve benzetim çalışmaları gerçekleştirilebilmektedir. Benzetim programında 3D tasarım modülü kullanılarak tesislerin kurulmak istendiği alanlar görsel olarak modellenmektedir. Modelleme de gölge analizleri ve gölgelendirme kayıpları ayrıca dikkate alınmaktadır. Meteorolojik veri tabanı kaynağı olarak Meteororm kullanılmakta olup, bu çalışmada Zonguldak 1996-2015, Meteororm 8.1 veri tabanı kullanılmıştır. Çalışma kapsamında belirlenen binalar için öncelikle 3D tasarımları gerçekleştirilmiştir. 3D tasarım aşamasında PVSOL benzetim programındaki modül yerleştirme alanları belirlenerek her bir bina için panel yerleşimleri tasarlanmıştır. Tablo 2'de çatılar üzerinde oluşturulan modül alanlarındaki güneş panellerinin karakteristik özellikleri verilmiştir.

Tablo 2. Güneş panellerinin karakteristik özellikleri

Özellikler	Değerleri
Maksimum güç (P_{max})	315 W
Modül verimliliği	18.79
Maksimum güç gerilimi	33.55
Maksimum güç akımı (I_{mp})	9.41
Açık devre gerilimi (V_{oc})	40.73
Kısa devre akımı (I_{sc})	10.05
Güç toleransı	0~+5 W
MSAG	1000 V DC / 1500 V DC
Çalışma sıcaklık aralığı	-40 °C ~ +85 °C
Güvenlik sınıfı	C
Maksimum seri sigorta akımı	15A / 20A
Hücre boyutu (mm)	158.75x158.75
Hücre sayısı (adet)	60 (6x10)
Ağırlık (kg)	19
Panel boyutu (mm)	1668x1007x35

MSAG= maksimum sistem anma gerilimi

Güneş panellerinin çatı durumlarına göre yönleri belirlenmiş ve panellerden en iyi verim alınacak şekilde tasarım ve panel yerleştirme işlemleri yapılmıştır. Güneş panelleri birbirlerine seri olarak bağlanması sonucu dizi grupları oluşturulmuş olup, her dizi grubu inverter

cihazlarda toplanmıştır. Panel dizilerinin inverterlere bağlantısı için 1x6 mm² DC kablolar kullanılmıştır. Panel yerleşimleri esnasında bakım onarım işlemlerini gerçekleştirebilmek için panel yerleşim mesafelerinin 15 m üzerindeki durumlarda bakım yolları oluşturulmak suretiyle uygun boş çatı kısımları bırakılmıştır. Panel gruplarının inverterlere bağlantısı gerçekleştirilirken güneşlenme yönleri dikkate alınarak gruplamalar yapılmış ve inverterlere irtibat sağlanmıştır. Tüm dizilere ait DC kablolar çatı üstündeki kısımlarda kablo tavası içerisinde çekilmesi planlanmıştır. İnverter cihazlarının AC bağlantıları, kurulum yapılan binaların ana panolarının yanına konulacak GES panolarından yapılmıştır. Kurulum yapılan her binaya ait mevcut şebeke besleme kablosu bulunması nedeniyle bu besleme kabloları aynı zamanda üretilen elektriğin veriş yönlü şebekeye iletilmesinde de kullanılmış, binalara ana sayacın bulunduğu noktadan ayrıca kablo çekilmesine ihtiyaç duyulmamıştır.

Tablo 3'te mevcut durumda kurulum yapılması planlanan bina çatılarının kullanılabilir alanları, eğim yönleri ve eğim bilgileri verilmiştir.

Binaların büyük bir kısmında doğrudan çatı üzerine montaj yapılması planlanmıştır. Sadece Mühendislik Fakültesi Binası, Sosyal Tesis Binaları ve İktisadi İdari

Bilimler Fakültesi Binaları üzerinde yer alan çatısız teras alanları üzerlerine doğu-batı istikametinde teras tabanı üzerine 10° eğimli olacak şekilde kaide üzerinde panel montajı yapılması tercih edilmiştir. Çalışmalarda SMA Solar Technology AG firmasına ait invertör cihazları kullanılmıştır. Binaların çatılarında belirlenen alanlara PV-SOL programı yardımıyla panellerin yerleşimleri yapılmıştır. Panel yerleşimleri yapılırken Mühendislik Fakültesi Binasındaki modül alanı 3'te, Sosyal Tesis Binalarının modül alanı 4 ve modül alanı 5 kısımlarında çatı bulunmamakta ve çatının teras şeklinde ve eğimsiz olduğu anlaşılmaktadır. Belirtilen bu kısımlarda doğu batı istikametinde olacak şekilde yüzeye montaj yapılması karar verilmiş ve karşı ağırlıklarla rüzgâr dayanımı sağlanması suretiyle tasarım yapılmıştır. Teras montajlarında panel eğimleri 10° olarak gerçekleştirilmiştir. Diğer tüm binalarda ise, bina üzerlerinde yer alan çatı malzemesi üzerine montaj yapılması planlanmıştır. Şekil 4'te çalışma yapılacak olan 14 adet bina grubu üzerindeki en verimli çatı tipi güneş enerjisi elektrik üretim tesislerinin panel dizilimleri gösterilmiştir. Panel yerleşimleri sonrası PV-SOL programı üzerinde invertör seçimleri gerçekleştirilmiş ve tesislerin gölgelenme analizleri yapılarak benzetim çalışmaları tamamlanmıştır.

Tablo 3. Güneş enerjisi tesisi kurulması planlanan binaların çatı durumları

Bina No	Bina Adı	Modül Alanları	Kullanılabilir Çatı Alanı	Eğim Yönü	Çatı Eğimi
1	Teknolab A-Blok	Modül Alanı 1	273.42	Güneybatı 245 ⁰	9 ⁰
		Modül Alanı 2	273.42	Kuzeydoğu 65 ⁰	9 ⁰
2	Teknolab B-Blok	Modül Alanı 1	113.925	Güneybatı 243 ⁰	9 ⁰
		Modül Alanı 2	113.925	Kuzeydoğu 63 ⁰	9 ⁰
3	Teknolab C-Blok	Modül Alanı 1	197.47	Güneybatı 243 ⁰	9 ⁰
		Modül Alanı 2	197.47	Kuzeydoğu 63 ⁰	9 ⁰
4	Mühendislik Fakültesi Ek Bina Havacılık ve Uzay Mühendisliği Bölümü & Makine Mühendisliği Bölümü	Modül Alanı 1	356.31	Kuzey 13 ⁰	17 ⁰
		Modül Alanı 2	339.9	Güney 193 ⁰	17 ⁰
		Modül Alanı 3	61.44	Batı 283 ⁰	17 ⁰
		Modül Alanı 4	81.48	Güney 193 ⁰	30 ⁰
		Modül Alanı 5	35.12	Kuzey 13 ⁰	18 ⁰
		Modül Alanı 6	50.26	Doğu 103 ⁰	30 ⁰
		Modül Alanı 7	34.15	Batı 283 ⁰	30 ⁰
		Modül Alanı 8	34.15	Doğu 103 ⁰	30 ⁰
		Modül Alanı 9	50.26	Batı 283 ⁰	30 ⁰
		Modül Alanı 1	89.61	Güney 193 ⁰	7 ⁰
		Modül Alanı 2	69.20	Doğu 103 ⁰	5 ⁰
5	Bilgi İşlem Dairesi Başkanlığı Binası	Modül Alanı 3	119.23	Batı 283 ⁰	5 ⁰
		Modül Alanı 4	159.02	Batı 283 ⁰	5 ⁰
		Modül Alanı 5	40.32	Doğu 103 ⁰	19 ⁰
		Modül Alanı 6	20.03	Batı 283 ⁰	19 ⁰
		Modül Alanı 7	63.98	Doğu 103 ⁰	19 ⁰
		Modül Alanı 8	63.98	Batı 283 ⁰	19 ⁰
		Modül Alanı 9	35.08	Doğu 103 ⁰	19 ⁰
		Modül Alanı 10	35.08	Batı 283 ⁰	19 ⁰
		Modül Alanı 11	71.48	Doğu 103 ⁰	10 ⁰
		Modül Alanı 12	71.48	Batı 283 ⁰	10 ⁰

Tablo 3. Güneş enerjisi tesisi kurulması planlanan binaların çatı durumları (devamı)

Bina No	Bina Adı	Modül Alanları	Kullanılabilir Çatı Alanı	Eğim Yönü	Çatı Eğimi
6	Kapalı Spor Salonu	Modül Alanı 1	1.113.68	Batı 281 ⁰	10 ⁰
7	Mühendislik Fakültesi Binası	Modül Alanı 1	479.68	Güney 194 ⁰	20 ⁰
		Modül Alanı 2	305.65	Güney 198 ⁰	15 ⁰
		Modül Alanı 3	1.917.46	Doğu 90 ⁰ - Batı 270 ⁰	0 ⁰
		Modül Alanı 1	356.31	Kuzey 13 ⁰	17 ⁰
		Modül Alanı 2	339.90	Güney 193 ⁰	17 ⁰
8	Maden Mühendisliği Binası	Modül Alanı 3	61.44	Batı 283 ⁰	17 ⁰
		Modül Alanı 4	81.48	Güney 193 ⁰	30 ⁰
		Modül Alanı 5	35.12	Kuzey 13 ⁰	18 ⁰
		Modül Alanı 6	50.26	Doğu 103 ⁰	30 ⁰
		Modül Alanı 7	34.15	Batı 283 ⁰	30 ⁰
		Modül Alanı 8	34.15	Doğu 103 ⁰	30 ⁰
		Modül Alanı 9	50.26	Batı 283 ⁰	30 ⁰
		Modül Alanı 1	356.31	Batı 284 ⁰	17 ⁰
		Modül Alanı 2	339.90	Doğu 104 ⁰	17 ⁰
		Modül Alanı 3	61.44	Kuzey 14 ⁰	17 ⁰
9	İletişim Fakültesi Binası	Modül Alanı 4	81.48	Doğu 105 ⁰	30 ⁰
		Modül Alanı 5	35.12	Batı 286 ⁰	18 ⁰
		Modül Alanı 6	50.26	Güney 194 ⁰	30 ⁰
		Modül Alanı 7	34.15	Kuzey 17 ⁰	30 ⁰
		Modül Alanı 8	34.15	Güney 195 ⁰	30 ⁰
		Modül Alanı 9	50.26	Kuzey 14 ⁰	30 ⁰
		Modül Alanı 1	356.31	Batı 284 ⁰	17 ⁰
		Modül Alanı 2	339.90	Doğu 104 ⁰	17 ⁰
		Modül Alanı 3	61.44	Kuzey 14 ⁰	17 ⁰
		Modül Alanı 4	81.48	Doğu 105 ⁰	30 ⁰
10	Güzel Sanatlar Fakültesi Binası	Modül Alanı 5	35.12	Batı 286 ⁰	18 ⁰
		Modül Alanı 6	50.26	Güney 194 ⁰	30 ⁰
		Modül Alanı 7	34.15	Kuzey 17 ⁰	30 ⁰
		Modül Alanı 8	34.15	Güney 195 ⁰	30 ⁰
		Modül Alanı 9	50.26	Kuzey 14 ⁰	30 ⁰
		Modül Alanı 1	726.00	Kuzey 12 ⁰	13 ⁰
		Modül Alanı 2	172.00	Doğu 102 ⁰	13 ⁰
		Modül Alanı 3	172.00	Batı 282 ⁰	13 ⁰
		Modül Alanı 4	101.00	Doğu 102 ⁰	18 ⁰
		Modül Alanı 5	109.09	Doğu 102 ⁰	18 ⁰
11	Kütüphane & Yeni İlahiyat Fakültesi Binası	Modül Alanı 6	109.09	Batı 282 ⁰	18 ⁰
		Modül Alanı 7	48.87	Batı 282 ⁰	30 ⁰
		Modül Alanı 8	53.00	Doğu 102 ⁰	9 ⁰
		Modül Alanı 9	45.00	Doğu 102 ⁰	9 ⁰
		Modül Alanı 10	45.00	Batı 282 ⁰	9 ⁰
		Modül Alanı 11	55.00	Batı 282 ⁰	9 ⁰
		Modül Alanı 12	60.00	Doğu 102 ⁰	9 ⁰
		Modül Alanı 13	45.00	Doğu 102 ⁰	9 ⁰
		Modül Alanı 14	45.00	Batı 282 ⁰	9 ⁰
		Modül Alanı 15	55.00	Güney 192 ⁰	9 ⁰
12	Yemekhane & Sosyal Tesis Binaları	Modül Alanı 16	55.00	Güney 192 ⁰	9 ⁰
		Modül Alanı 1	223.62	Güney 195 ⁰	15 ⁰
		Modül Alanı 2	197.61	Kuzey 15 ⁰	15 ⁰
		Modül Alanı 3	29.87	Batı 285 ⁰	15 ⁰
		Modül Alanı 4	260.92	Batı 286 ⁰ - Doğu 104 ⁰	0 ⁰
13	Yeni Fen Fakültesi Binası	Modül Alanı 5	331.36	Batı 286 ⁰ - Doğu 104 ⁰	0 ⁰
		Modül Alanı 1	168.85	Güneybatı 209 ⁰	9 ⁰
		Modül Alanı 2	115.00	Güneydoğu 119 ⁰	9 ⁰
		Modül Alanı 3	572.57	Kuzeybatı 299 ⁰	9 ⁰
14	İİBF Binası	Modül Alanı 4	371.23	Güneydoğu 119 ⁰	9 ⁰
		Modül Alanı 1	1.581.46	Doğu 90 ⁰ - Batı 270 ⁰	9 ⁰



Şekil 4. Bina çatıları üzerine güneş panellerinin yerleşim planları

4. Bulgular

PV-SOL programı üzerinde bina çatılarına panel yerleştirme işlemleri gerçekleştirildikten sonra çalışma yapılan tüm binalar için kullanılan toplam PV modül sayıları çıkartılmıştır. Toplam modül sayısı kullanılarak bina çatılarında kurulması planlanan güneş enerjisi tesislerinin kurulu güçleri elde edilmiştir. Tablo 4'te kullanılan PV modül sayıları, PV jeneratör çıkış değerleri ve kapladıkları yüzey alanları, kullanılan evirici sayıları, yıllık özgül kazançları, toplam üretilen elektrik enerjisi ve

önlenebilen karbondioksit emisyon değerleri gösterilmiştir. Farabi yerleşkesi içerisinde yer alan Teknolab A-B-C binaları bağımsız bir elektrik aboneliği ile elektrik tüketimi gerçekleştirmekte, diğer tüm binalar ise farklı bir noktadan ayrı bir elektrik aboneliği ile enerji tüketimi gerçekleştirmektedirler. Belirtilen iki ayrı aboneliğe ilişkin yapılan benzetim çalışması sonucunda üretilen toplam elektrik enerjisinin aylık dağılımı Tablo 5'te gösterilmiştir.

Tablo 4. Benzetim çalışması sonuçları

Bina No	Bina Adı	PV Modül Sayısı (Adet)	PV Jeneratör Çıkışı (kWp)	PV Jeneratör Yüzeyi (m ²)	Evirici Sayısı	Yıllık Özgül Kazanç (kWh/kWp)	Toplam Üretilen Elektrik Enerjisi (kWh)	Önlenebilen CO ₂ Emisyonu (kg/yıl)
1	Teknolab A-Blok	216	68.04	354.2	6	1.278.40	87.092	40.882
2	Teknolab B-Blok	96	30.24	157.4	1	1.275.66	38.591	18.131
3	Teknolab C-Blok	156	49.14	255.8	2	1.269.21	62.399	29.313
4	Mühendislik Fakültesi Ek Binası	395	124.43	647.7	8	1.215.00	151.291	71.053
5	Bilgi İşlem Dairesi	349	109.94	572.3	10	1.013.38	111.579	52.361
6	Kapalı Spor Salonu	540	170.10	885.5	3	1.276.56	217.208	102.057
7	Mühendislik Fakültesi	842	265.23	1.380.7	18	1.294.48	343.692	161.368
8	Maden Mühendisliği	395	124.43	647.7	8	1.215.00	151.291	71.053
9	İletişim Fakültesi	400	126	655.9	12	1.203.60	151.899	71.277
10	Güzel Sanatlar Fakültesi	401	126.32	657.5	10	1.208.18	152.801	71.728
11	Kütüphane ve İlahiyat Fakültesi	807	254.21	1.323.3	21	1.206.81	307.203	144.186
12	Yemekhane ve Sosyal Tesisler Binası	401	126.32	657.5	8	1.228.16	155.278	72.913
13	Fen Fakültesi	555	174.83	910.1	9	1.221.63	213.717	100.379
14	İktisadi ve İdari Bilimler	534	168.21	875.6	6	1.252.69	210.844	99.036
TOPLAM		6.087	1.917.44	9.981.20	122	17.158.76	2.354.885	1.105.737

Tablo 5. Üretilen Elektrik Enerjisinin Aylık Dağılımı

Dönem	Farabi Kampüsü (kWh)	Teknolab A-B-C, İş Atölyeleri ve Merkezi Derslik binaları (kWh)
Ocak	73.886	6.604
Şubat	92.900	8.323
Mart	154.100	13.512
Nisan	212.732	18.352
Mayıs	282.768	24.301
Haziran	310.239	26.913
Temmuz	305.458	26.350
Ağustos	269.925	23.390
Eylül	196.581	17.166
Ekim	73.886	6.604
Kasım	92.900	8.323
Aralık	154.100	13.512

Yapılan piyasa fiyatı araştırmalarında çatı tipi güneş enerjisi santrallerinin kurulum maliyetinin 2023 yılı için kW başına yaklaşık 1000\$ + KDV olduğu görülmektedir. T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu verilerine göre Elektrik Faturalarına Esas Tarife Tabloları içerisinde yer alan 01/01/2023 tarihinden itibaren geçerli olan elektrik tarife tablolarına göre Orta Gerilim Tek Terimli Kamu ve Özel Hizmetler Sektörüne ait elektrik birim fiyatının 3,44 TL/kWh +KDV (0,1815\$/kWh + KDV) olduğu görülmektedir (Anonim 2022).

5. Sonuçlar

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Farabi yerleşkesi içerisinde yer alan binalarda tüketilen elektrik enerjisi ihtiyacını, çevreye ve insan sağlığına zararı olmayan, sürdürülebilir, yenilenebilir enerji kaynakları ile karşılayabilmek için çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Çatı durumları iyi olan ve güneş enerjisi tesisi kurulması uygun olan binalar incelenmiş ve 14 adet bina grubunun uygun olacağı değerlendirilmiştir. Belirlenen tüm binalar için yapılan çalışmalar neticesinde toplam 6.087 adet PV modül kullanılmış olup, toplam 1.917,44 kW'lık kurulu güç elde edilmiştir. Ayrıca üretilen elektrik enerjisi ile

yılda 1.105.737 kg karbondioksit emisyonu engellenmiş olacaktır. Tesis kurulumu için, 2023 yılı piyasa fiyatı (1000\$+KDV) / kW göz önüne alındığında güneş enerjisi santrallerinin toplam maliyetinin yaklaşık 1.917.440\$ + KDV olacağı anlaşılmaktadır.

Tasarlanan ve simülasyon çalışmaları gerçekleştirilen güneş enerjisi tesislerinden yıllık toplam 2.354.885 kWh elektrik enerjisi üretilebileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Çalışma kapsamında belirtilen iki farklı aboneliğe ait elektrik enerjisi ölçümleri mevcut elektrik sayaçları aracılığıyla gerçekleştirilmekte ve buna göre faturalandırılmaktadır. Bu sayaçların proje kapsamında çift yönlü elektrik sayacı ile değiştirilmesi sonucu hem tüketilen elektrik enerjisi miktarı hem de üretilen elektrik enerjisi miktarının sayaç tarafından kaydedilmesi sağlanmış olacaktır. Mevcut yönetmelik kapsamında mahsuplaşma işleminin her ayın sonunda üretilen ve tüketilen enerji miktarının ölçülmesi sonucu aylık olarak yapılacaktır. Buna göre benzetim çalışması sonucu elde edilen veriler aracılığıyla Tablo 6'da aylık olarak üretilen ve tüketilen elektrik enerjisi miktarı gösterilmiştir.

Tablo 6. Üretilen ve tüketilen elektrik enerjisi

Dönem	Farabi Kampüsü			Teknolab A-B-C*		
	Üretilen	Tüketilen	Mahsuplaşılan	Üretilen	Tüketilen	Mahsuplaşılan
	Elektrik Enerjisi Miktarı (kWh)	Elektrik Enerjisi Miktarı (kWh)		Elektrik Enerjisi Miktarı (kWh)	Elektrik Enerjisi Miktarı (kWh)	
Ocak	73.886	200.000	-126.114	6.604	43.000	-36.396
Şubat	92.900	180.000	-87.100	8.323	38.000	-29.677
Mart	154.100	250.000	-95.900	13.512	52.000	-38.488
Nisan	212.732	255.000	-42.268	18.352	54.000	-35.648
Mayıs	282.768	265.000	17.768	24.301	56.000	-31.699
Haziran	310.239	250.000	60.239	26.913	53.000	-26.087
Temmuz	305.458	150.000	155.458	26.350	32.000	-5.650
Ağustos	269.925	140.000	129.925	23.390	29.000	-5.610
Eylül	196.581	230.000	-33.419	17.166	48.000	-30.834
Ekim	126.832	205.000	-78.168	10.968	43.000	-32.032
Kasım	77.259	240.000	-162.741	6.562	52.000	-45.438
Aralık	64.123	235.000	-170.877	5.641	50.000	-44.359

*İş atölyeleri ve merkezi derslik binaları

Tablo 6 incelenirse, Farabi Kampüsü aboneliği için Ocak, Şubat, Mart, Nisan, Eylül, Ekim, Kasım ve Aralık aylarında, Teknolab A-B-C, İş Atölyeleri ve Merkezi Derslik binaları aboneliği için yılın tüm aylarında tüketilen elektrik enerjisinin üretilen elektrik enerjisinden fazla olduğu anlaşılmaktadır. Bu durumda gerçekleşecek aylık mahsuplaşma işlemi sonucunda, sadece tüketilen fazla kısma ilişkin dağıtım şirketine fatura ödemesi gerçekleştirilecektir. Farabi kampüsü aboneliği için Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos aylarında üretim miktarının tüketim miktarından fazla olduğu anlaşılmakta olup bu durumda üretilen fazla elektrik enerjisi miktarı dağıtım sistemine verilerek

mahsuplaşılacak ve fazla kısma ilişkin bedel ödemesi alınacaktır.

Üretilen elektrik enerjisi tüketilen enerjilerden mahsuplaşılması planlandığından, tüketim fiyatından değerlendirildiğinde yıllık toplam elde edilebilecek gelirin yaklaşık 427.411,63 \$ olacağı hesaplanmaktadır. Bu kapsamda kurulumu yapılan tesislerin yaklaşık 4,49 yılda kendini amorti edebileceği sonucuna ulaşılmıştır. Bu bağlamda fotovoltaik güç potansiyeli olarak Türkiye'nin en düşük sayılabilecek bölgesinde yer alan Zonguldak ilinde, güneş enerjisinden elektrik elde edilmesi için simülasyon programı yardımıyla analizler yapılmış, kurulan tesislerin kendini 4,49 yıl gibi kısa süre

zarfında amorti edebileceği sonucuna ulaşılmıştır. Türkiye'nin güneş potansiyeli olarak en kuzey bölgelerinin dahi tüketiciler tarafından değerlendirilerek, güneş enerjisinden elektrik elde edilmesinin yaygınlaştırılması, çevreye olan zararları önleme, enerjide dışa bağımlılığı azaltma adına büyük önem arz etmektedir.

Katkı Oranı Beyanı

Yazarların katkı yüzdesi aşağıda verilmiştir. Yazarlar makaleyi incelemiş ve onaylamıştır.

	E.A.	N.P.
K	50	50
T	50	50
Y	50	50
VTI	50	50
VAY	50	50
KT	50	50
YZ	50	50
KI	50	50
GR	50	50
PY	50	50
FA	50	50

K= kavram, T= tasarım, Y= yönetim, VTI= veri toplama ve/veya işleme, VAY= veri analizi ve/veya yorumlama, KT= kaynak tarama, YZ= Yazım, KI= kritik inceleme, GR= gönderim ve revizyon, PY= proje yönetimi, FA= fon alımı.

Çatışma Beyanı

Yazarlar bu çalışmada hiçbir çıkar ilişkisi olmadığını beyan etmektedirler.

Etik Onay Beyanı

Bu çalışmada hayvanlar ve insanlar üzerinde herhangi bir çalışma yapılmadığı için etik kurul onayı alınmamıştır.

Kaynaklar

- 5346 Sayılı Kanun. 2023. Elektrik piyasası mevzuat listesi yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi amaçlı kullanımına ilişkin kanun. T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu. URL: <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/23-2-3/mevzuat> (erişim tarihi: 12 Mart 2023).
- Anonim. 2022. Elektrik piyasası tarifeler elektrik faturalarına esas tarife tabloları. T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu. URL: <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-1327/elektrik-faturalarına-esas-tarife-tabloları> (erişim tarihi: 12 Mart 2023).
- Anonim. 2023. Ülkelere göre güneş enerjisi Enerji atlası. URL: <https://www.enerjiatlası.com/ulkelere-gore-gunes-enerjisi.html> (erişim tarihi: 12 Mart 2023).
- Arslan M. 2022. Güneş enerji santrallerinin simülasyon ile üretim verilerinin karşılaştırılması ve analizi. Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya, Türkiye, ss: 26-27.
- Ceylan O, Taşdelen K. 2018. Isparta ili için fotovoltaik programlarının simülasyon sonuçlarının doğruluğunun

- incelenmesi. Afyon Kocatepe Üniv Fen Müh Bilim Derg, 18(3): 895-903. <https://doi.org/10.5578/fmbd.67547>.
- Emeksiz C, Fındık MM. 2021. Sürdürülebilir kalkınma için yenilenebilir enerji kaynaklarının Türkiye ölçeğinde değerlendirilmesi. Avrupa Bilim Teknoloji Derg, 26: 155-164. <https://doi.org/10.31590/ejosat.948729>.
- Eralp A. 2023. Türkiye sanayi sektöründeki elektrik tüketimi ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkinin mekânsal analizi. Verimlilik Derg, Döngüsel Ekonomi ve Sürdürülebilirlik Özel Sayısı: 99-112. <https://doi.org/10.51551/verimlilik.1111823>.
- Eren Enerji. 2023. URL: <https://www.eren-enerji.com.tr/tr/kurumsal/eren-enerji/zetes-1> (erişim tarihi: 12 Mart 2023).
- GEPA. 2023. Güneş enerjisi potansiyel atlası. T.C. Enerji İşleri Genel Müdürlüğü. URL: <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/> (erişim tarihi: 12 Mart 2023).
- Jahn U, Nasse W. 2004. Operational performance of grid-connected PV systems on buildings in Germany. Prog Photovol: Res Applicat, 12: 441-448. <https://doi.org/10.1002/pip.550>.
- Karaağaç MO, Oğul H, Bardak S. 2020. Kanatlı hayvan çiftliği için güneş enerji sisteminin tasarımı ve maliyet hesabı. Düzce Üniver Bilim Teknoloji Derg, 8(1): 712. <https://doi.org/10.29130/dubited.490154>.
- Kocalmış Bilhan A, Emikönel S. 2021. Nevşehir ili güneş enerji potansiyelinin analizi ve kurulu güneş enerji santralleri, Avrupa Bilim Teknoloji Derg, 24: 289-294. <https://doi.org/10.31590/ejosat.900024>.
- Koç E, Kaya K. 2015. Enerji kaynakları-yenilenebilir enerji durumu. Müh Mak, 56: 36-47.
- Sak T, Gönen Ç, Kara E.E. 2019. Niğde ilinde güneş enerjisi santrallerinin yaygınlaştırılması ve sera gazı emisyonlarının azaltılmasının potansiyeli. Fırat Üniv Müh Bilim Derg, 31(2): 327-335. <https://doi.org/10.35234/fumbd.613302>.
- Sarı V, Özyiğit FY. 2020. Sivas cumhuriyet üniversitesi yerleşkesinde güneş enerjisi santralının ekonomik analizi. Dokuz Eylül Üniv Müh Fak Fen Müh Derg, 22(65): 517-526. <https://doi.org/10.21205/deufmd.2020226519>.
- Taştan S, Birol YE. 2023. Türkiyenin enerji arz güvenliğinin ölçülmesi ve öngörüsü. Dumlupınar Üniv Sos Bilim Derg, 75: 194-206. <https://doi.org/10.51290/dpusbe.1160349>.
- TEİAŞ. 2022. Yük tevzi dairesi başkanlığı santral kurulu güç raporları. Türkiye Elektrik İletim A.Ş. URL: <https://www.teias.gov.tr/kurulu-guc-raporlari> (erişim tarihi: 12 Mart 2023).
- Yılmaz E, Temur R. 2022. 2022/687838 İhale kayıt numaralı elektrik enerjisi alımı teknik şartnamesi 03/09/2023 tarihli elektronik kamu alımları platformu. URL: <https://ekap.kik.gov.tr/EKAP/Ortak/IhaleArama/index.html> (erişim tarihi: 12 Mart 2023).
- Yılmaz Z, Karagözoğlu MB, Köker B, Selçuk SF. 2022. Kirlenici parametrelerin atmosferdeki yoğunluklarına dair sınır değerler: örnek çalışma muş ilinin hava kirliliği. Kırklareli Üniv Müh Fen Bilim Derg, 8(1): 69-87. <https://doi.org/10.34186/klujes.1109956>.
- Yönetmelik. 2023. Elektrik piyasasında lisanssız elektrik üretimine ilişkin yönetmelik (Mülga). T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu. URL: <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/23-2-3/mevzuat> (erişim tarihi: 12 Mart 2023).
- Zeydan Ö, Yıldırım Y. 2015. Zonguldak Metropolitan bölgesinde hava kalitesi modellemesi. 6. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu, 7-9 Ekim, İzmir, Türkiye, ss: 29.



BAŞKALAŞIMIN OCTOROTOR BOYLAMASINA UÇUŞUNA ETKİSİ

Oğuz KÖSE^{1*}

¹Erzincan Binali Yıldırım University, Vocational School, Aircraft Technology Program, 24000, Erzincan, Türkiye

Özet: İnsansız hava araçları (İHA) son yıllarda popülerliği artan hava araçları olarak endüstriyel ve bilimsel çevrede dikkatleri üzerine çekmektedir. İHA'lar üzerinde bulunduğu rotor sayısına göre isimlendirilir. Bu çalışmada döner kanat kategorisinde ve sekiz rotora sahip bir octorotor incelenmiştir. Çalışma kapsamında octorotor kol uzunlukları değiştirilerek (uzatılarak ya da kısaltılarak) başkalaşım uygulanmıştır. Başkalaşım, İHA'larda son yıllarda uçuş üzerine olan etkisinin incelenmesi konusunda araştırmacılar tarafından tercih edilen yöntem olmuştur. Başkalaşım döner kanatlı İHA'larda en yaygın olarak kol uzunluklarının eşzamanlı ya da eş zamanlı olmayan bir şekilde değiştirilmesi ile gerçekleştirilmektedir. Başkalaşımın boylamasına uçuşa olan etkisi yükselme zamanı, yerleşme zamanı ve aşım gibi parametreler kontrol edilerek incelenmiştir. Octorotor tam modeli ve başkalaşım durumuna ait dört adet modeli Solidworks çizim programında gerçeğine uygun olarak çizilmiştir. Ardından buradan elde edilen kütle ve eylemsizlik momenti değerleri ile durum uzay modeli yaklaşımı kullanılarak Matlab/Simulink ortamında 1°lik yörüngeyi izleyen boylamasına uçuş simülasyonları oransal-integral-türev (PID) kontrol algoritması ile gerçekleştirilmiştir. Octorotor matematiksel modeli için Newton Euler yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde doğrusal olmayan yapıya sahip hareket denklemleri doğrusal denklemlere dönüştürülmüştür. Simülasyonlarda verilen yörünge başarılı bir şekilde izlenmiş ve tasarım performans kriterlerine göre değerlendirilmeler yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: İHA, Octocopter, Kontrol, PID, Başkalaşım


Effect of Morphing on Octorotor Longitudinal Flight

Abstract: Unmanned aerial vehicles (UAVs) have attracted attention in industrial and scientific environment as air vehicles that have increased in popularity in recent years. UAVs are named according to the number of rotors on them. In this study, an octorotor in the rotary wing category with eight rotors is analysed. Within the scope of the study, morphing was applied by changing (lengthening or shortening) the octorotor arm lengths. In recent years, morphing has been the method preferred by researchers to examine the effect on flight in UAVs. Morphing is most commonly performed by changing the arm lengths collectively or differentially in rotary wing UAVs. Effect of morphing on longitudinal flight was analysed by controlling parameters such as rise time, settling time and overshoot. The full model of the octorotor and four models of the morphing state were drawn in Solidworks drawing program in accordance with the reality. Then, with the mass and inertia moments values obtained from here, longitudinal flight simulations following a 1° trajectory in Matlab/Simulink environment with the state space model approach were performed with the proportional-integral-derivative (PID) control algorithm. Newton Euler method was used for the mathematical model of the octorotor. In this method, equations of motion with nonlinear structure are transformed into linear equations. In the simulations, the given trajectory was successfully followed and evaluated according to the design performance criteria.

Keywords: UAV, Octocopter, Control, PID, Morphing

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Erzincan Binali Yıldırım University, Vocational School, Aircraft Technology Program, 24000, Erzincan, Türkiye

E mail: oguz.kose@erzincan.edu.tr (O. KÖSE)

Oğuz KÖSE  <https://orcid.org/0000-0002-8069-8749>

Gönderi: 29 Mart 2023

Kabul: 17 Nisan 2023

Yayınlanma: 01 Temmuz 2023

Received: March 29, 2023

Accepted: April 17, 2023

Published: July 01, 2023

Cite as: Köse O. 2023. Effect of morphing on octorotor longitudinal flight. BSE Eng Sci, 6(3): 185-192.

1. Giriş

Son yıllarda dikey kalkış ve iniş yapan çok rotorlu İHA'lar kontrol ve modelleme alanında araştırmacıların ilgi odağı haline gelmiştir. Dikey kalkış ve iniş yapabilen İHA'lar yüksek manevra kabiliyetine sahiptir. Bu özelliğinden dolayı doğal afetlerde insanlar için girilmesi riskli alanlarda arama kurtarma aracı olarak kullanılabilirler (Estrada ve Ndoma, 2019). Bunun yanında bu tür araçlar sivil kullanımda fotoğrafçılık (Chen ve ark., 2020), sinema (Mademlis ve ark., 2023), hobi ve posta sektöründe (Iwatav ve ark., 2007) askeri kullanımda ise trafik denetleme (Gupta ve

Verma, 2022), sınır devriyesi (Ahmadian ve ark., 2022) ve istihbarat toplamak (Wilcox, 2015) amaçlı kullanılmaktadır. Bu kadar yaygın kullanılması sonucu İHA'lar havacılık sektörünün önemli bir pazarını oluşturmada, endüstriyel ve akademik olarak geliştirilmesi hızla devam etmektedir. İHA'lar aerodinamik yapısına göre sabit kanatlı ve multi rotor (döner kanatlı) olmak üzere ikiye ayrılır (Singhal ve ark., 2018). Multi rotor İHA'lar ise kullanılan rotor sayısına göre isimlendirilir. Dört rotolu bulunan multi rotor İHA'lara quadrotor (quadcopter), altı rotolu bulunan multi rotor İHA'lara hexarotor (hexacopter) ve



sekiz rotor bulunduran İHA'lara ise octorotor(octocopter) adı verilmektedir. İsmi anılan üç multi rotor en çok tercih edilen multi rotor İHA türleridir. Bunun yanında on ve on iki rotora sahip decacopter ve dodecapter türleride bulunmaktadır. Multi rotor İHA'lar yapısal olarak basit olmasına rağmen kontrol sistemi olarak karmaşık bir yapıya sahiptir. Bundan dolayı son yıllarda multi rotor İHA'ların modellenmesi ve kontrolü üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Wang ve ark. (2016) rüzgar gibi dış bozucular etkisi altında dengesini koruyabilen ve uçuşunu devam ettirebilen bir quadrotor tipi İHA'yı kaskat PID algoritması kullanarak modellemişlerdir. Quadrotor dinamiklerinin matematiksel modeli Newton-Euler metodu kullanılarak geliştirilmiştir. Matematiksel modelde hem doğrusal hem de doğrusal olmayan denklemler türetilmiştir. Ancak durum uzay modeli yaklaşımında doğrusal denklemler kullanılmıştır. Kaskat PID algoritması katsayıları geçmiş deneyimler ve benzer çalışmalardan deneme yanılma yöntemi ile elde edilmiştir. Quadrotor x, y ve z eksenleri üzerindeki hareketleri aşımı en azaltmış, quadrotor'un hız cevabını ise önemli ölçüde artırmıştır. Bununla birlikte quadrotor hareket değişikliklerine karşı daha stabil ve güçlü bir davranış sergilemiştir. Stabil uçuş büyük drift'ler olmadan başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Kurak ve Hodzic (2018) LQ ve LQG metodolojilerini uygulayarak quadrotor kontrol sistemi geliştirmişlerdir. Kontrol sistemi için quadrotor doğrusal olmayan modelini ilk adım için kullanmışlardır. Ardından quadrotor askıda uçuş ya da hover olarak adlandırılan uçuş durumunu dikkate alarak quadrotor doğrusal modelini elde etmişlerdir. Kontrol sisteminin amacı sensör hataları ve çevresel bozulmalar altında quadrotor'un verilen yörüngeyi izlemesidir. Bunun için LQ kontrolör yanında Kalman Filtresi modele dahil edilmiştir. Bununla birlikte kontrolör düzenli olmayan bozulmalar ve belirli bir giriş sinyali için güçlü bir performans sergilemiştir. Ayrıca verilen yörüngeyi sensör hataları ve çevresel bozulmalar altında daha az hata ile izlediğini grafiklerle ortaya koymuş ve geçici hal hatası iyi ayarlanan kontrolör parametreleri ile en aza indirgenmiştir. Sharipov ve ark. (2019) Matlab yazılım paketini kullanarak hexarotor tipi İHA üzerine etkiyen kuvvet dinamiklerinin matematiksel simülasyon sürecini ele almışlardır. Simülasyonda hexarotor üzerine etkiyen rüzgar ve harici bozulmalar ile sensör hataları dikkate alınmıştır. Matlab programında kullanılan bloklar teorik formüller kullanılarak hesaplanmıştır. Matematiksel formüller kullanılarak yapılan simülasyonlar İHA yazılım ve donanımının gelişmesinin her aşamasında hataları etkili bir şekilde hesaplamaya ve ortadan kaldırmaya olanak tanıyarak daha etkili bir uçuş yapılmasını sağlamıştır. Le ve Nam (2015) hexarotor'un kontrol ve yörünge izleme problemini matematiksel model ile ele almışlardır. Hexarotor diferansiyel denklemlerini Newton-Euler denklemleri ile türetmişlerdir. Hexarotor dinamik modelinin daha stabil çalışması için durum uzay modeli quaternion yöntemi ile oluşturulmuştur. Ayrıca

kontrol algoritması olarak PID algoritmasının kullanıldığı çalışmada yatay ve dikey eksenlerdeki uçuşlar başarılı ile Matlab ortamında test edilmiştir. Hemza ve Boualem (2018) bir octorotor için mekanik ve elektrik aksamaları ile dinamik modeli tasarlanmıştır. Octorotor sisteminin dinamik modeli dönme ve öteleme hareketleri için Euler-Lagrangian ve Newton-Euler modelleri ile desteklenmiştir. PID kontrol algoritması octorotor kontrolü için tercih edilmiştir. Octorotor ile yapılan testlerde hem model hem de PID algoritması ağırlık dağıtımı ve rüzgar türbülansı altında hataları minimize ederek uçuşları başarı ile gerçekleştirmiştir.

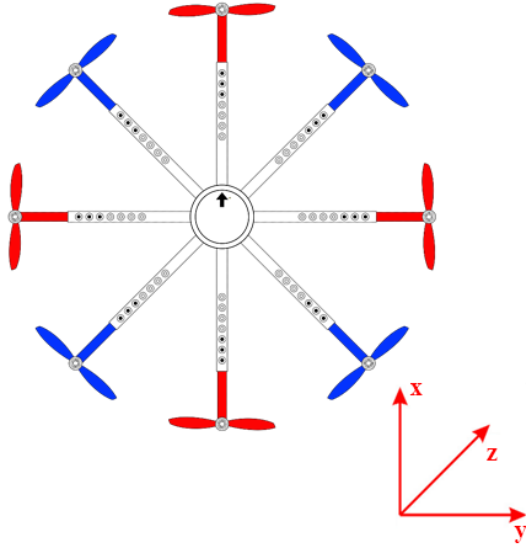
Son yıllarda İHA kontrol ve modellemesi yanında başkalaşım üzerine de birçok çalışma yapılmıştır. Kose ve Oktay (2020a,b) bir octorotor için hem boylamasına hem de yanlamasına uçuşu başkalaşım ve PID algoritması kullanarak Matlab ortamında testlerini gerçekleştirmiştir. Başkalaşım ile kol uzunluklarını değiştirerek uçuşa etkisi incelenmiştir. Başkalaşım ile değişen parametrelerin tespiti için Solidworks programı kullanılarak belirli kol uzunluklarındaki uçuş durumları incelenmiştir. Oktay ve Kose (2020) başkalaşım ile değişen parametreler ve PID katsayılarını belirlemek için optimizasyon yöntemlerini de kullanarak başkalaşımın uçuşa olan etkisini incelemiştir. Çalışmalarında octorotor için simülasyonlarda ki yükselme zamanı, yerleşme zamanı ve aşım gibi tasarım performans kriterleri değerlendirilerek uçuş performansı iyileştirilmeye çalışılmıştır. Kose ve Oktay (2022) başkalaşımın hexarotor sapma uçuşu üzerine etkisini optimizasyon yöntemleri ve PID algoritması kullanarak Matlab ortamında incelemiştir. Kose ve Oktay (2023) başkalaşımın hexarotor boylamasına uçuşu üzerine etkisini derin sinir ağları ve PID algoritması kullanarak incelemişlerdir. Seçilen bir kol uzunluğu derin sinir ağları ile öğrenme gerçekleştirilerek en uzun parametrelerin bulunması sağlanmıştır. Çalışmalarda tasarım performans kriterleri göz önüne alınarak uçuşun hangi durumlarda iyileştiği tespit edilmiştir.

Bu çalışmada octorotor tipi bir İHA modellenmesi ve PID kontrol algoritması kullanılarak başkalaşımın boylamasına uçuş üzerine etkisi incelenmiştir. Octorotor modellemesinde Newton-Euler yaklaşımı kullanılarak doğrusal hareket denklemleri oluşturulmuştur. Doğrusal hareket denklemleri octorotor tüm uçuş durumları için değil sadece boylamasına uçuş durumu için kullanılmıştır. Doğrusal hareket denklemleri kullanılarak durum uzay modeli yaklaşımı kullanılarak Matlab ortamında simülasyon testleri yapılmıştır. Octorotor tam modeli Solidworks programında gerçeğine uygun olarak çizilmiştir. Başkalaşım ise belirli kol uzunluklarına uygulanmıştır. Belirli kol uzunluklarında değişen parametrelerin tespiti için her kol uzunluğu için Solidworks programında tam model çizilerek parametreler buradan elde edilmiştir. Octorotor kontrol algoritması olarak ise yapı basitliği ve kolay uygulanabilirliğinden dolayı PID kontrol algoritması tercih edilmiştir. Simülasyonlar Matlab/Simulink

ortamında gerçekleştirilerek tasarım performans kriterlerine göre hangi kol uzunluklarının octorotor boylamasına uçuşu üzerinde nasıl bir etkiye sahip olduğu belirlenmiş sayısal ifadeler ve grafikler ile ortaya konulmuştur.

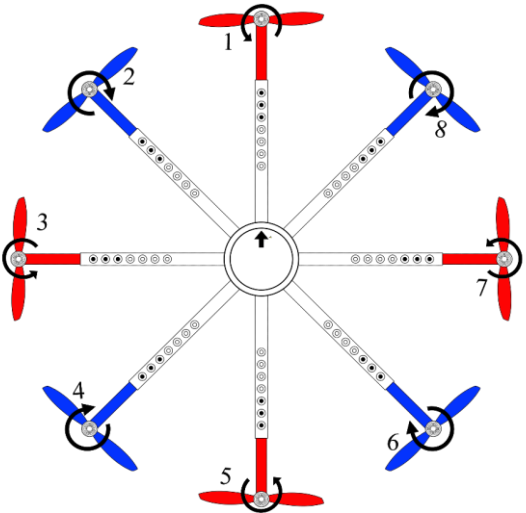
2. Octorotor'un Sistem Modeli ve Başkalaşım

Bir octorotor tipi İHA'nın basitleştirilmiş modeli Şekil 1'de gösterilmiştir. Bir octorotor sekiz adet fırçasız doğru akım motoru bulundurur ve motorlar simetrik olarak çapraz şekilde yerleştirilmiştir.



Şekil 1. Octorotor modeli ve eksen takımı.

Octorotor üzerinde bulunan her rotor bir itki sağlar ve octorotor'un 3 boyutlu uzayda hareketini sağlar. Octorotor hareketi için her rotor bağımsız olarak kontrol edilir. Şekil 2'de gösterilen kırmızı renkli rotorlar saat yönünün tersine doğru dönerken, mavi renkli rotorlar saat yönünde döner.



Şekil 2. Rotor dönüş yönleri

Octorotor kontrolünde her rotor bağımsız olarak kontrol edilir. Boylamasına hareketi gerçekleştirmek için 2 ve 8

numaralı rotor hızları azaltılırken 4 ve 6 numaralı rotor hızları artırılır. Şekil 2'de ok yönü ileriye gösterir. Bu durumda octorotor ileri yönlü bir hareket gerçekleştirir. Eğer 2 ve 8 numaralı rotor hızları artırılır, 4 ve 6 numaralı rotor hızları azaltılırsa octorotor geri yönlü bir boylamasına hareket gerçekleştirilir. Octorotor üzerine etki eden iki tür kuvvet vardır. Bunlar her motorun ürettiği itki(T) ve yer çekimi kuvveti(G). Her rotorun ürettiği toplamları Eşitlik 1'de gösterilmiştir.

$$T = b \sum_{i=1}^8 \Omega_i^2 \quad (1)$$

Burada b rotor itki sabitini ve Ω_i ise i . rotorun açısal hızını göstermektedir. Boylamasına hareket gerçekleştirilirken rotor hızlarının değişmesinden dolayı octorotor boylamasına ekseninde bir tork oluşacaktır. Bu tork ise Eşitlik 2'de gösterilmiştir.

$$\tau_b = bl(\Omega_1^2 + \frac{\sqrt{2}}{2}\Omega_2^2 + \frac{\sqrt{2}}{2}\Omega_8^2 - \Omega_5^2 - \frac{\sqrt{2}}{2}\Omega_4^2 - \frac{\sqrt{2}}{2}\Omega_6^2) \quad (2)$$

Octorotor simetrik bir yapı olduğu için her rotor ağırlık merkezi ve octorotor kendi ağırlık merkezi arasındaki mesafe her kol için eşittir ve bu uzunluk Eşitlik 2'de l ile gösterilmiştir.

Octorotor matematiksel modelini elde edebilmek için Newton'un hareket kanunlarından ve Euler açılarından faydalanılır (Sadeghi ve ark., 2016). Boylamasına eksen üzerinde hareket etmek için her rotorun hızları bağımsız olarak değiştirilirken octorotor üzerinde oluşan tork τ_b ve octorotor'un sahip olduğu eylemsizlik momenti I_y ile ifade edilirse boylamasına uçuş için Euler açısı Eşitlik 3'deki gibi gösterilir.

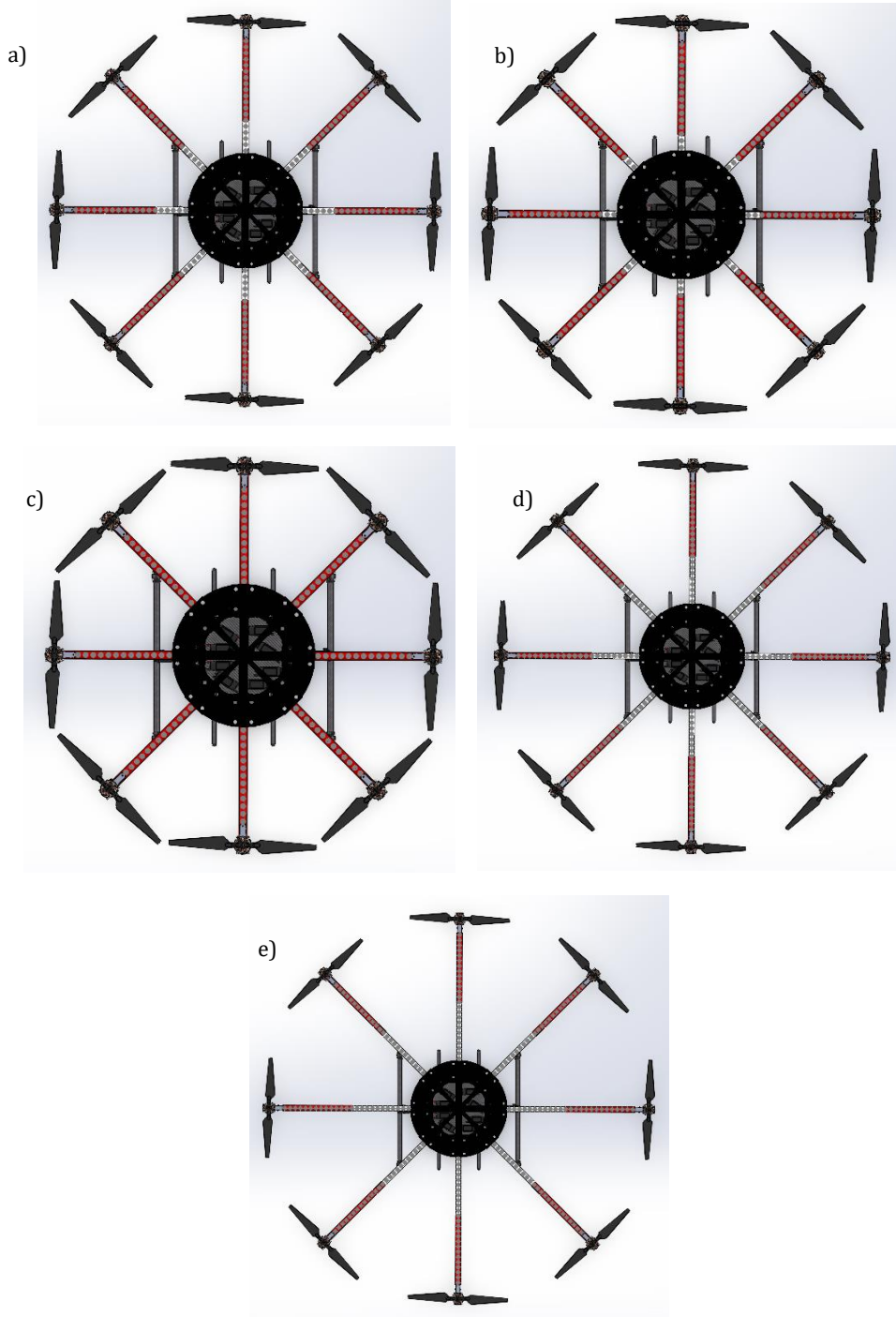
$$\dot{\theta} = \frac{\tau_b}{I_y} \quad (3)$$

Döner kanat İHA'lar tarım sektöründen güvenliğe, hobiden eğlenceye kadar geniş bir yelpazede kullanılan araçlardır. Manevra kabiliyetleri ve kullanım kolaylıklarından dolayı sabit kanatlı hava araçlarına göre daha tercih edilir hale gelmişlerdir (Şahin et al., 2022). Yüksek manevra kabiliyetleri ile farklı uçuş koşullarına ve durumlarına adapte edilmeye uygun hava araçlarıdır. Mağara veya yer altı tünelleri gibi alanların keşfedilmesi veya dar alanlardan geçilmesi gibi durumlarda döner kanatlı İHA'nın geometrik olarak özelliklerinde değişim getirilebilir (Bai, 2017). Bu durum başkalaşım olarak ifade edilir. Daha geniş manada başkalaşım, genel olarak bir İHA'nın geometrisinde meydana gelen değişiklikler olarak nitelendirilebilir (Oktay ve Kose, 2020). Başkalaşım İHA'nın kol uzunluklarının değiştirilmesi ve kolların birbirlerine göre açıların değiştirilmesi gibi yöntemlerle gerçekleştirilebilir. Ayrıca başkalaşım eğer uçuştan önce henüz İHA yerde iken gerçekleştirilirse pasif başkalaşım, İHA havada uçuşuna devam ederken gerçekleştirilirse aktif başkalaşım olarak nitelendirilir (Oktay ve Coban, 2017).

Bu çalışmada octorotor uçuşu esnasında kol uzunlukları uzatılıp kısaltılarak aktif başkalaşım gerçekleştirilmiştir. Uçuşa başlangıç durumu ile birlikte dört adet başkalaşım

gerçekleştirilerek boylamasına uçuş üzerindeki etkisi test edilmiştir. Şekil 3'te sırası ile octotorotor'un başlangıç ve başkalaşım durumları gösterilmiştir. Octotorotor uçuşa başladığı anda kol uzunluğu 0.45 cm'dir. Başkalaşım durumlarında ise kol uzunlukları önce artırılıp sonra azaltılmaktadır. Başlangıç durumundan sonra ilk başkalaşım durumunda kol uzunluğu 0.51 cm, ikinci başkalaşım durumunda 0.39 cm, üçüncü başkalaşım durumunda 0.57 cm ve son başkalaşım durumunda ise 0.33 cm olarak gerçekleşmektedir. Başkalaşım esnasında kolların octotorotor dönme eksenine olan mesafeleri değiştiği için octotorotor eylemsizlik momentinde

değişikler olacaktır. Eylemsizlik momenti ise Eşitlik 3'te gösterildiği gibi doğrudan boylamasına uçuş için kullanılan Euler açısı üzerinde etkilidir. Eylemsizlik momenti basit yapıli cisimler için sabit formüller ile elde edilmesi mümkündür. Ancak octotorotor gibi birçok yapısal eleman barındıran sistemlerde sabit formüller ile elde etmek yerine Şekil 3'te gösterilen Solidworks çizimleri üzerinden elde edilmiştir. Başkalaşım durumunda octotorotor kütlesi sabit kalırken değişen kol uzunluklarına göre eylemsizlik momentleri Tablo 1'de gösterilmiştir.



Şekil 3. (a) Başlangıç durumu(0.45 cm kol uzunluğu), (b) Başkalaşım 1 (0.51 cm kol uzunluğu), (c) Başkalaşım 2 (0.39 cm kol uzunluğu), (d) Başkalaşım 3(0.57 cm kol uzunluğu), (e) Başkalaşım 4 (0.33 cm kol uzunluğu).

Tablo 1. Octorotor başkalaşım durumuna göre eylemsizlik momentleri

Durum	Kol uzunluğu(cm)	Kütle(kg)	Ix(kg*m ²)	Iy(kg*m ²)	Iz(kg*m ²)
Başlangıç	0,45	4,89	1,61	1,61	0,29
1. Başkalaşım	0,51	4,89	1,58	1,66	0,26
2. Başkalaşım	0,39	4,89	1,55	1,57	0,24
3. Başkalaşım	0,57	4,89	1,66	1,72	0,35
4. Başkalaşım	0,33	4,89	1,5	1,54	0,19

3. Kontrol Algoritması

Octorotor boylamasına uçuşu başkalaşım durumlarında uçuş kontrolcüsü olarak oransal-integral-türev(PID) denetleyici tercih edilmiştir. PID kontrol algoritması endüstriyel sistemlerde popüler olarak kullanılır. Performans olarak yüksek olması, kolay anlaşılabilirliği ve analog-dijital süreçlere kolayca uyum sağlaması popüler olmasında etkilidir (Clarke, 1984). Günümüz kontrol sistemlerinin neredeyse tamamına yakını(%95'ten fazlası) PID tipindedir (Kose, 2021). PID kontrolörde ölçülen bir sistem değişkeni bulunur. Bunun yanında sistem değişkeninin gelmesi istenilen birde ayar noktası bulunmaktadır. Ölçülen sistem değişkeni ile ayar noktası arasında ki fark hata değeri olarak ölçülür. PID kontrol burada devreye girerek ölçülen hata değerini minimize etmeye çalışır. Hatayı minimize ederken çeşitli katsayılar sistem içerisinde kullanılır. PID kontrol algoritması oransal (K_p), integral (K_i) ve türevsel (K_d) olmak üzere üç katsayı içerir. Bu katsayıların her birinin kendine özgü görevi vardır. Bu görevler; K_p katsayısı oransal kontrol görevini yerine getirir. Oransal kontrol, türev ve integral kontrol ile

karşılaştırıldığında daha kolaydır. Oransal kontrol, erişilmek istenilen bir noktayı gerçek değer ile karşılandıktan sonra bir hata değeri (e ile gösterilir) elde eder. Bu hata değerini K_p katsayısı ile çarparak küçültmeyi amaçlar. Oransal kontrol görevinde hata hızlı bir şekilde iyileştirilir ancak çıktı değerindeki salınım görülme olasılığı artar.

K_i katsayısı ise integral görevi yerine getirir. İntegral işlemi, elde edilen hata değerinin eğri altında kalan toplamı anlamına gelir. İntegral, hatayı sıfır değerine ulaşıncaya kadar entegre eder. Negatif hata meydana geldiği zaman ise kontrol çıkışı azaltılır, cevap hızını sınırlar ve sistem kararlılığı etkilenir.

K_d katsayısı türevsel görevi yerine getirir. Türevsel kontrol ise zamana bağlı hata değişimi ile ilgilidir. Türevsel kontrol, geçmişteki hata değişimlerinden gelecekte olabilecek değişimleri öngörür. Bu öngörü ile sistemi sınırlar ve yavaşlatır. Eğer kontrolde iki örnekleme arasındaki hatada bir değişim olmadı ise türev sıfırdır. Katsayıların sistem üzerindeki etkisi Tablo 2'de gösterildiği gibidir.

Tablo 2. PID katsayılarının etkileri

Katsayı	Yükselme Zamanı	Aşım	Yerleşme Zamanı	Kalıcı durum hatası
K_p	Kısalır	Artar	Az değişir	Azalır
K_i	Kısalır	Artar	Artar	Ortadan kalkar
K_d	Az Değişir	Azalır	Azalır	Az değişir

Tablo 2'ye göre PID kontrol algoritmasının avantajları şu şekilde sıralanabilir:

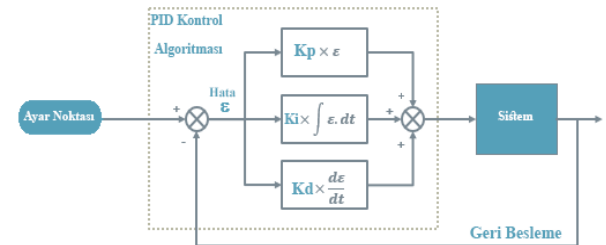
- Uygulanması kolaydır,
- Düşük kaynak tüketimi vardır,
- Ayar uyumsuzluklarına karşı dayanıklıdır,
- Deneme yanılma yöntemleri ile ayarlanması kolaydır,
- Ölçülmemiş bozulmalara karşı iyi yanıt verir.

PID algoritması Şekil 4'deki gibi gösterilebilir. Boylamasına uçuş için kullanılan PID formülü ise Eşitlik 4'te gösterilmiştir.

$$u(t)_{boy} = K_{p_{boy}} e(t) + K_{i_{boy}} \int_0^t e(t)dt + K_{d_{boy}} de(t)/dt \quad (4)$$

Octorotor'un boylamasına hareketi için seçilen PID katsayıları tüm uçuş durumları için sabit kabul edilmiştir. PID katsayıları Ziegler-Nichols, Yuwana-Seborg, Cohen-Coon ve deneme yanılma ya da geçmiş tecrübelerle

dayanılarak belirlenebilir. Bu çalışmada boylamasına uçuş için PID katsayıları geçmiş tecrübelerle dayanılarak elde edilmiştir. Buna göre PID katsayıları Tablo 3'de gösterilmiştir.



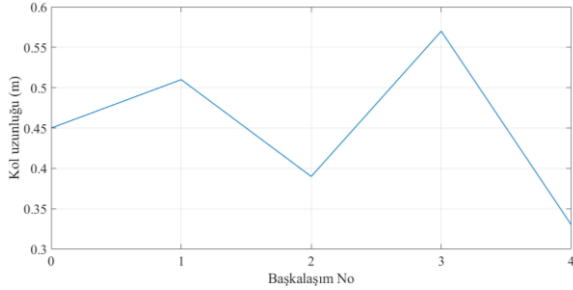
Şekil 4. PID kontrol algoritması.

Tablo 3. PID katsayıları

P	I	D
64	6	64

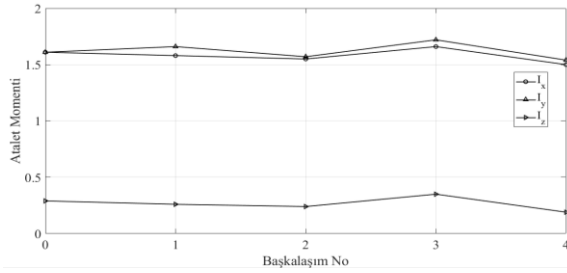
4. Bulgular ve Tartışma

Simülasyonlarda kullanılan octorotor tam modeli ve başkalaşım durumlarının tamamı Solidworks programında çizilmiştir. Kol uzunlukları başkalaşım durumuna göre değiştirilmiştir. Uçuş üzerindeki etkisini kavrayabilmek için kollar sırası ile uzatılmış ve kısaltılmıştır. Kol uzunluklarının başlangıç ve ardından devam eden uzunluk grafiği Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 4. Başkalaşım durumlarında kol uzunluğu.

Başkalaşım ile birlikte kol uzunluklarının değişimi octorotor eylemsizlik momentleri üzerinde de değişiklikler meydana getirecektir. Bu değişim Solidworks programında çizilen tam model ve başkalaşım modelleri üzerinden elde edilerek Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 5. Başkalaşım durumlarında eylemsizlik momentleri.

Tablo 4. Tasarım performans kriterleri

	Yükselme Zamanı(saniye)	Yerleşme Zamanı(saniye)	Aşım(%)
Başlangıç	0.0369	0.296	4,20
Başkalaşım 1	0.0381	0.331	3,99
Başkalaşım 2	0.0359	0.267	4,40
Başkalaşım 3	0.0395	0.373	3,77
Başkalaşım 4	0.0352	0.245	4,56

Tasarım performans kriterleri incelendiğinde başlangıç durumuna göre kollar kısaltıldığında yükselme zamanında düşüş kollar uzadığında ise artış gözlemlenmiştir. Yerleşme zamanında ise kollar kısaltıldığında yerleşme zamanı düşmüş, kollar uzadığında ise yerleşme zamanı artmıştır. Aşım ise kollar kısaltıldığında artmış ve kollar uzadığında artmıştır. Buna göre kolların kısaltılması yükselme ve yerleşme zamanı üzerinde olumlu etki yaparken aşımı artırarak olumsuz etkilemiştir. Burada aşım değerleri PID katsayıları değiştirilerek düşürülebilir fakat çalışmada sabit PID katsayıları tercih edildiği için farklı yöntemlerin kullanılması yoluna gidilmemiştir.

Euler açıları genel olarak $\phi \in]-\pi, \pi], \theta \in]-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}[$ ve $\psi \in]-\pi, \pi]$ arasında kabul edilir. Bundan dolayı verilen PID katsayıları ile birlikte başlangıç ve başkalaşım durumlarında octorotor boylamasına uçuş için 1°'lik yörüngeyi 3 saniye boyunca takip etmesi istenmiştir. Simülasyon grafiklerinde octorotor'un tüm durumlar için yörüngeyi başarılı bir şekilde takip ettiği görülmüştür.

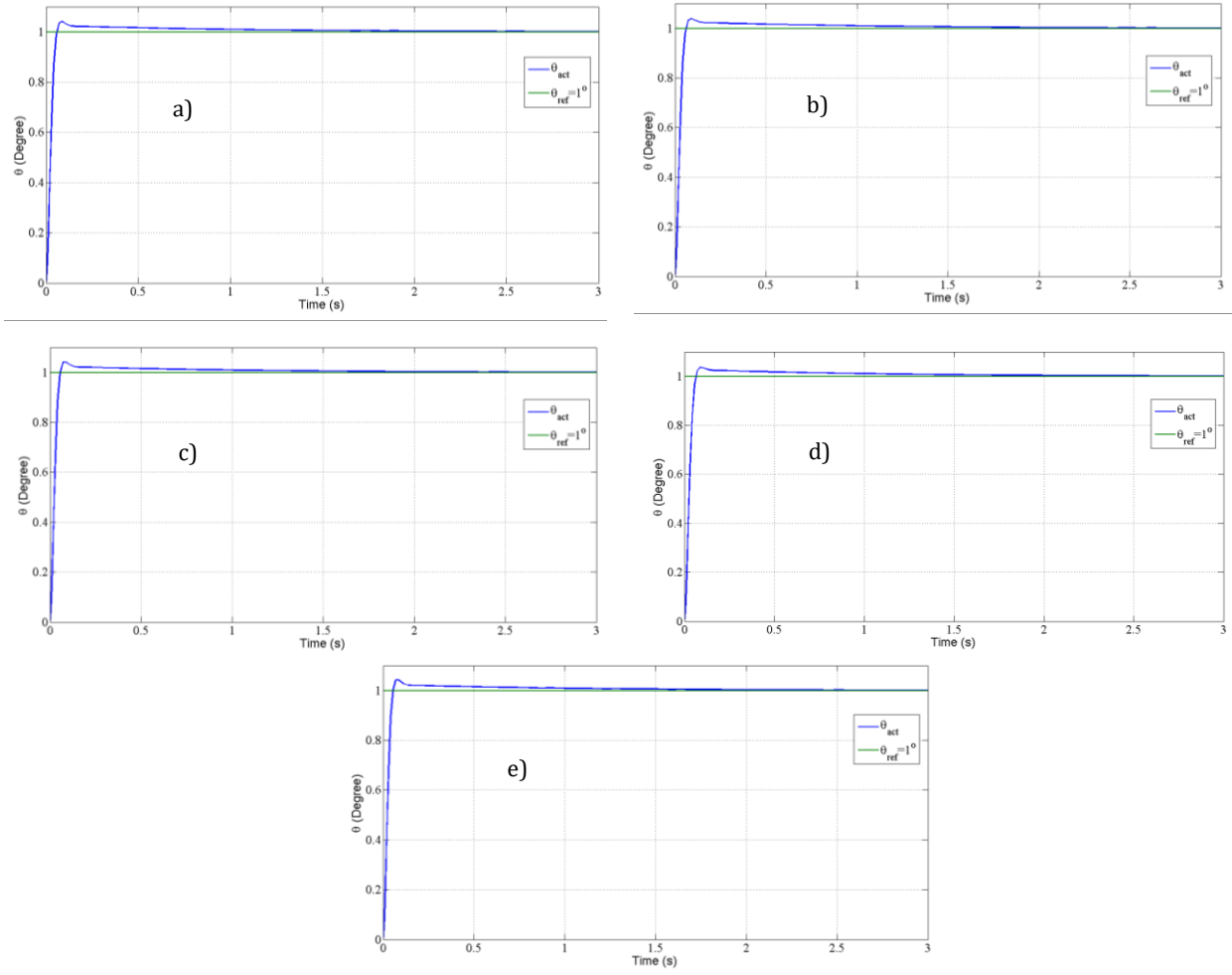
5. Sonuç

Bu çalışmada, octorotor bir İHA'nın başkalaşım durumunun boylamasına uçuş üzerine etkisi incelenmiştir. Değişen kol uzunluklarına bağlı olarak atalet momenti değerlerini belirlemek uçuş kontrolcüsü için zor bir iştir. Bunun üstesinden gelmek için octorotor tam modeli ve başkalaşım modelleri Solidworks programında çizilmiştir. Bu çizimlerden ise atalet momentleri kol uzunluklarına göre elde edilmiştir. Simülasyonlar için ise Matlab/Simulink ortamı kullanılmıştır. Newton Euler yaklaşımı kullanılarak elde edilen hareket denklemleri doğrusal formda kullanılmıştır. Doğrusal formda kullanılan denklemler durum uzay modeli yaklaşımı ile simülasyonlarda kullanılmıştır.

Octorotor boylamasına uçuş için tüm başkalaşım durumları için 1°'lik yörüngeyi takip etmesi istenmiştir. Şekil 7'deki gibi simülasyon grafikleri incelendiğinde, octorotor'un tüm başkalaşım durumları için yörüngeyi izlediği görülmüştür. Ancak başkalaşımın uçuş üzerinde nasıl bir etkisi olduğunu incelemek için yülseme zamanı, yerleşme zamanı ve aşım gibi tasarım performans kriteri değerlerine tek tek bakılması gerekmektedir. Tablo 4'te tasarım performans kriterleri gösterilmiştir.

Buna rağmen PID kontrol algoritması güçlülüğü sayesinde yörüngeyi izleme üzerinde etkili ve başarılı olmuştur.

Gelecekteki çalışmalarda ise hem başkalaşım da ki kol uzunluğu hem de PID katsayıları ve eylemsizlik momentleri gibi değişkenlik gösteren parametreler yapay sinir ağları, derin sinir ağları ve optimizasyon algoritmaları ile tahmin edilerek kol uzunluğuna göre dinamik PID katsayıları belirlenerek tasarım performans kriterlerinin maksimum düzeyde iyileştirilmesi hedeflenmektedir.



Şekil 7. Simülasyon sonuçları (a) Başlangıç Durumu, (b) Başkalaşım 1, (c) Başkalaşım 2, (d) Başkalaşım 3, (e) Başkalaşım 4.

Katkı Oranı Beyanı

Yazar katkı yüzdesi aşağıda verilmiştir. Yazar makaleyi incelemiş ve onaylamıştır.

	O.K.
K	100
T	100
Y	100
VTI	100
VAY	100
KT	100
YZ	100
KI	100
GR	100
PY	100
FA	100

K= kavram, T= tasarım, Y= yönetim, VTI= veri toplama ve/veya işleme, VAY= veri analizi ve/veya yorumlama, KT= kaynak tarama, YZ= Yazım, KI= kritik inceleme, GR= gönderim ve revizyon, PY= proje yönetimi, FA= fon alımı.

Çatışma Beyanı

Yazar bu çalışmada hiçbir çıkar ilişkisi olmadığını beyan etmektedir.

Etik Onay Beyanı

Bu çalışmada hayvanlar ve insanlar üzerinde herhangi bir çalışma yapılmadığı için etik kurul onayı alınmamıştır.

Kaynaklar

- Ahmadian N, Lim GJ, Torabbeigi M, Kim SJ. 2022. Smart border patrol using drones and wireless charging system under budget limitation. *Comput Indust Engin*, 164: 107891. doi: 10.1016/j.cie.2021.107891.
- Bai Y. 2017. Control and simulation of morphing quadcopter. MSc thesis, Saint Louis University, Institute of Science, Missouri, USA, pp: 72.
- Chen X, Li G, Yang L, Nie Q, Ye X, Liang Y, Xu T. 2020. Profiling unmanned aerial vehicle photography tourists. *Current Issue Tourism*, 23(14): 1705-1710. doi: 10.1080/13683500.2019.1653832.
- Clarke DW. 1984. PID algorithms and their computer implementation. *Transact Instit Measure Control*, 6(6): 305-316. doi: 10.1177/014233128400600605.
- Estrada MAR, Ndoma A. 2019. The uses of unmanned aerial vehicles -UAV's- (or drones): in social logistic: Natural disasters response and humanitarian relief aid. *Proc Comput Sci*, 149: 375-383. doi: 10.1016/j.procs.2019.01.151.
- Gupta H, Verma OP. 2022. Monitoring and surveillance of urban road traffic using low altitude drone images: a deep learning approach. *Multimed Tools Applicat*, 81(14): 19683-19703.

- doi: 10.1007/s11042-021-11146-x.
- Hemza S, Boualem D. 2018. Study and realization of a prototype octocopter system with PID controller. *Inter J Vehicle Struct Systems*, 10(4): 273–277. doi: 10.4273/ijvss.10.4.09.
- Iwata K, Onda M, Sano M, Komoriya K. 2007. UAV for small cargo transportation. *AIAA InfoTech at Aerospace Conference*, 7-10 May, California, USA, pp: 734–739. doi: 10.2514/6.2007-2784.
- Kose O. 2021. İnovatif yöntemlerle kuadrokopter modellenmesi kontrolü ve gerçek zamanlı uygulamaları. *Doktora Tezi*, Erciyes Üniversitesi, Fenbilimleri Enstitüsü, Kayseri, Türkiye, ss: 127.
- Kose Oguz Oktay T. 2020a. Investigation of the effect of differential morphing on forward flight by using PID algorithm in quadrotors. *J Aviation*, 4(1): 15–21.
- Kose Oguz Oktay T. 2020b. Investigation of the effect of differential morphing on lateral flight by using PID algorithm in quadrotors. *European J Sci Technol*, 18 636–644. doi: 10.31590/ejosat.702727.
- Kose Oguz Oktay T. 2022. Hexarotor yaw flight control with SPSA PID algorithm and morphing. *Inter J Intel Systems Applicat Engin*, 10(2): 216–221. doi: 10.1039/b000000x.
- Kose Oguz Oktay T. 2023. Simultaneous design of morphing hexarotor and autopilot system by using deep neural network and SPSA. *Aircraft Engin Aerospace Technol*, 95(6): 0002-2667. doi: 10.1108/AEAT-07-2022-0178.
- Kurak S, Hodzic M. 2018. Control and estimation of a quadcopter dynamical model. *Period Engin Nat Sci*, 6(1): 63–75. doi: 10.21533/pjen.v6i1.164.
- Le D-K, Nam T-K. 2015. A study on the modeling of a hexacopter. *J Korean Soci Marine Engin*, 39(10): 1023–1030. doi: 10.5916/jkosme.2015.39.10.1023.
- Mademlis I, Torres-González A, Capitán J, Montagnuolo M, Messina A, Negro F, Le Barz C, Gonçalves T, Cunha R, Guerreiro B, Zhang F, Boyle S, Guerout G, Tefas A, Nikolaidis N, Bull D, Pitas I. 2023. A multiple-UAV architecture for autonomous media production. *Multimedia Tools Applicat*, 82(2): 1905–1934. doi: 10.1007/s11042-022-13319-8.
- Oktay T, Coban S. 2017. Lateral autonomous performance maximization of tactical unmanned aerial vehicles by integrated passive and active morphing. *Inter J Adv Res Engin*, 3(1): 1. doi: 10.24178/ijare.2017.3.1.01.
- Sadeghi PS, Shahri AM, Ardestani MA, Rezazadeh S. 2016. LQG-I control for attitude stabilization of V8 octorotor flying robot. 2016 Artificial Intell Robot IRANOPEN, 2016: 151–157. doi: 10.1109/RIOS.2016.7529506.
- Şahin H, Kose O, Oktay T. 2022. Simultaneous autonomous system and powerplant design for morphing quadrotors. *Aircraft Engin Aerospace Technol*, 94(8): 1228–1241. doi: 10.1108/AEAT-06-2021-0180.
- Sharipov D, Abdullaev Z, Tazhiev Z, Khafizov O. 2019. Implementation of a mathematical model of a hexacopter control system. *International Conference on Information Science and Communications Technologies: Applications Trends and Opportunities ICISCT*, 3-4 November, Tashkent, Uzbekistan, pp: 1-5. doi: 10.1109/ICISCT47635.2019.9011842.
- Singhal G, Bansod B, Mathew L. 2018. Unmanned aerial vehicle classification applications and challenges: A review. Preprint, 1–19. doi: 10.20944/preprints201811.0601.v1.
- Oktay T, Kose O. 2020a. Simultaneous quadrotor autopilot system and collective morphing system design. *Aircraft Engin Aerospace Technol*, 92(7): 1093–1100. doi: 10.1108/AEAT-01-2020-0026.
- Oktay T, Kose O. 2020b. Hover control with differential and collective morphing in quadrotors. 10th International Conference on Mathematics Engin Natural and Medical Sciences, 5-7 May 2020, Batumi, Georgia, pp: 124–132.
- Wang P, Man Z, Cao Z, Zheng J, Zhao Y. 2016. Dynamics modelling and linear control of quadcopter. *International Conference on Advanced Mechatronic Systems ICAMechS*, November 30 - December 3, Melbourne, Australia, pp: 498–503. doi: 10.1109/ICAMechS.2016.7813499.
- Wilcox L. 2015. Drone warfare and the making of bodies out of place. *Crit Stud Secur*, 3(1): 127–131. doi: 10.1080/21624887.2015.1005422.



HİSPİDULİNİN SAĞLIKLI HÜCRE HATLARINDA SİTOTOKSİK, APOPTOTİK VE NEKROTİK ETKİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Ferhunde AYSİN^{1*}

¹Atatürk University, Faculty of Science, Department of Biology, 25240, Erzurum, Türkiye.

²Atatürk University, Eastern Anatolia High Technology Application and Research Center, 25240, Erzurum, Türkiye

Özet: Hispidulin çeşitli farmakolojik özelliklere sahip olmasından dolayı uzun süredir kanser araştırmalarında kullanılmaktadır ancak bu maddenin sağlıklı hücrelerde sitotoksik etkisiyle ilgili sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmada ilk defa, hispidulin geniş doz aralığında (0-800 µM) sağlıklı hücre hatları ile denendi ve kullanımının güvenliği MTT ve Akım sitometrisi analizleriyle değerlendirildi. Bu amaçla, İnsan akciğer fibroblastı (MRC-5), Sıçan Primer Akciğer Fibroblastı (RA-6013) ve Sıçan Primer Trakeal Fibroblastı (RA-6217) hücreleri 48 saat boyunca hispidulinle muamele edildi. Hispidulin, düşük dozlarda hücre canlılığı üzerinde önemli etkiler göstermedi ancak özellikle 400 ve 800 µM dozlarında hücrelerin canlılığında istatistiksel anlamda ciddi bir azalmaya neden oldu. Hispidulinin IC50 değeri, MRC-5 hücreleri için 563.63 µM, RA-6013 hücrelerinde 194.30 µM ve RA-6217 hücrelerinde ise 311.98 µM olarak belirlendi. Ayrıca 800 µM hispidulin, tüm sağlıklı hücreler üzerinde güçlü apoptotik ve nekrotik etki gösterdi. Sonuçlarımız, hispidulinin düşük dozlarda (0-200 µM) sağlıklı hücrelerde antisitotoksik nitelikte olduğunu ve gelecekteki kanser ve solunum yolu hastalıkları tedavisi için güvenilir doğal bir bileşik olma potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Hispidulin, MRC-5, RA-6013, RA-6217, Sitotoksosite


Evaluation of Cytotoxic, Apoptotic, and Necrotic Efficiency of Hispidulin in Healthy Cell Lines

Abstract: Since hispidulin has various pharmacological properties, its use in cancer research has been increasing for a long time, but there are very limited studies on its cytotoxic effect in healthy cells. In this study, for the first time, the safety of hispidulin in a wide dose range (0-800 µM) was evaluated on healthy cell lines by MTT and Flow cytometry assays. For this purpose, Human lung fibroblast (MRC-5), Rat Primary Lung Fibroblast (RA-6013), and Rat Primary Tracheal Fibroblast (RA-6217) cells were treated with hispidulin for 48 hours. Hispidulin did not show significant effects on cell viability at low doses; however, caused a statistically significant reduction in cell viability, especially at doses of 400 and 800 µM. The IC50 value of hispidulin was determined as 563.63 µM for MRC-5 cells, 194.30 µM for RA-6013 cells, and 311.98 µM for RA-6217 cells. Moreover, 800 µM hispidulin showed a strong apoptotic and necrotic effect on all healthy cells. Our results show that hispidulin is anticytotoxic in healthy cells at low doses (0-200 µM) and has the potential to be a safe natural compound for future treatment of cancer and respiratory diseases.

Keywords: Hispidulin, MRC-5, RA-6013, RA-6217, Cytotoxicity

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Atatürk Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümüm, Doğu Anadolu Yüksek Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi (DAYTAM), 25240, Erzurum, Türkiye.

E mail: ferhundeaysin@gmail.com (F. AYSİN)

Ferhunde AYSİN  <https://orcid.org/0000-0003-1971-8031>

Gönderi: 23 Ocak 2023

Kabul: 29 Nisan 2023

Yayınlanma: 01 Temmuz 2023

Received: January 23, 2023

Accepted: April 29, 2023

Published: July 01, 2023

Cite as: Aysin F. 2023. Evaluation of cytotoxic, apoptotic, and necrotic efficiency of hispidulin in healthy cell lines. BSJ Eng Sci, 6(3): 193-198.

1. Giriş

Modern tıbbın insan hastalıklarına karşı tam tedaviyi sağlayabilecek nitelikte olmaması ve yan etkilerin ortaya çıkması nedeniyle son yıllarda doğal ve bitkisel kaynaklı tedaviye dünya genelinde artan bir ilgi vardır. Bitkilerin içerdiği aktif bileşiklerin insan vücudunda sinerjistik etki göstermesi yan etkisi olmayan veya çok az olan, güçlü bir tedaviyi sağlayabilmektedir (Kaufman, 1998). Ancak kanser konusunda mevcut tedavi stratejilerinin bazılarında ilaç direncinin üstesinden gelmek, ayrıca tümöral olmayan hücreler için daha güvenli ve daha az toksik olan ilaçları bulmak adına yeni kanser tedavilerine ihtiyaç vardır (Lin ve ark., 2017). Hispidulin (6-methoxy-5,7,4'-trihydroxyflavone), yüksek farmakolojik potansiyele sahip doğal bileşikler arasındadır.

Laboratuvar ve kliniklerde çokça çalışılan hispidulin, çeşitli bitkilerde bulunan doğal bir flavon türevidir (Mocan ve ark., 2015; Patel ve ark., 2017). Çalışmalar, hispidulinin güçlü antioksidan (Lin ve ark., 2014), anti-enflamatuar (An ve ark., 2018), nöroprotektif (Huang ve ark., 2018), anti epileptik (Lin ve ark., 2012), antimutajenik ve antitümör (Yu ve ark., 2013; Gao ve ark., 2015) aktiviteler dahil olmak üzere çeşitli farmakolojik özellikler sergilediğini göstermiştir. Dahası hispidulinin, kökenlerine ve genetik yapılarına bakılmaksızın, birçok insan kanserine karşı düşük dozlarda bile geniş spektrumlu bir sitotoksositeye sahip olduğu rapor edilmiştir. Bu flavonun, hücre bölünmesini ve büyüme kontrol yollarını, apoptozu, enflamasyonu, anjiyogenez ve metastazı modüle ederek karsinogenezin her üç



aşamasında da (başlangıç, ilerleme ve ilerleme) etki gösterdiği kanıtlanmıştır (Ashaq ve ark., 2021). Bu umut verici etkilerine rağmen hispidulinin zararlı etkisi ve optimum biyoyararlanımı üzerine araştırmalar çok sınırlıdır. Bilindiği üzere kanser tedavisi genotoksik ajanların kullanımına dayanmakta ve kullanılan ajanın optimum biyoyararlanımını için doz seviyelerinin belirlenmesi gerekmektedir (Kavakcıoğlu Yardımcı ve ark., 2021). Farmasötik sitotoksik ilaçların aksine, hispidulinin normal hücreler üzerinde *in vivo* hayvan modeli çalışmalarından da anlaşılacağı gibi çok düşük veya ihmal edilebilir düzeyde sitotoksik etkisi vardır. Diğer taraftan hispidulinin tümöral akciğer ve trake hücreleri de dâhil olmak üzere çeşitli kanserli hücre hatlarında antiproliferatif etkilerine dair kanıtlara rağmen sağlıklı hücre hatlarında *in vitro* sitotoksik etkilerini rapor eden hiçbir güncel veri yoktur. Bu nedenle mevcut çalışmada, hispidulinin geniş doz aralığında İnsan Akciğer Fibroblastı (MRC-5), Sıçan Primer Akciğer Fibroblastı (RA-6013) ve Sıçan Primer Trake Fibroblastı (RA-6217) hücreleri üzerindeki sitotoksik etkileri test edildi. Bu fibroblast hücre hatları, normal insan akciğer, normal sıçan akciğer ve trake epiteline yapısal benzerliği nedeniyle toksisite çalışmalarında yaygın şekilde bir model olarak kullanıldığı için tercih edildi (Kavakcıoğlu Yardımcı ve ark., 2021, Wilcox ve Edelman, 2022).

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Kimyasallar ve Hücre kültürleri

MRC-5 (İnsan akciğer fibroblastı) (Kat No. CCL-171™, ATCC®), RA-6013 (Sıçan primer akciğer fibroblastı) (Kat. No. M2267, Cell Biologics) ve RA-6217 (Sıçan primer trake fibroblastı) (Kat. No. M2267, Cell Biologics) hücre hatları Doğu Anadolu Yüksek Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi (DAYTAM) (Atatürk Üniversitesi, Erzurum, Türkiye) tarafından temin edildi. Araştırma için kullanılan tüm kimyasallar analitik saflıktaydı ve Sigma-Aldrich, Inc.'den (St. Louis, MO, ABD) temin edildi.

2.2. Sitotoksik Testler

Hücre canlılığı, mitokondriyal aktiviteyi değerlendirmek için çok yönlü olan ve sıklıkla kullanılan MTT (3-(4,5-Dimetiltiazol-2-il)-2,5-difeniltetrazolyum bromür) testiyle belirlendi. MRC-5, RA-6013 ve RA-6217 hücre hatları, sırasıyla yüksek glukozlu DMEM ve DMEM/F12 besiyerinde kültürlendi. Her iki besiyerine de 100 IU/ml penisilin, 100 µg/ml streptomisin ve %10 fetal sığır serumu (FBS) katıldı ve hücreler 37 °C'de %5 CO₂ ile %95 nem sağlayan inkübatörde büyütüldü. Her bir hücre hattı, kuyu başına 150 µl olacak şekilde 1×10⁴ yoğunlukta 96 kuyulu plakalara eşit şekilde ekildi ve bir gün boyunca 37 °C'de CO₂ inkübatörüne uygulama öncesi çoğalmaya bırakıldı. Stok solüsyonu hazırlamak için hispidulin, dimetilsülfoksit (DMSO) (%0,1 v/v) içinde sonikatör kullanılarak çözüldü ve sonrasında seyreltilti. Her bir hücre hattı, 48 saat boyunca 0, 12,5, 25, 50, 100, 200, 400 ve 800 µM arasında değişen farklı konsantrasyonda hispidulin flavonuyla muamele edildi.

Pozitif kontrol olarak 500 µM H₂O₂ kullanıldı. İnkübasyonun sonunda her bir kuyuya fosfat tamponlu salin (PBS) içinde 20 µl 5 mg/ml MTT ilave edildi ve plakalar, 37 °C'de CO₂ inkübatörüne yerleştirildi. 4 saatlik inkübasyonun ardından kuyucuklardan süpernatant çıkarıldı ve oluşan formazan ürünü (mavi-kristaller), 150 µl DMSO ilave edilerek çözüldü. Canlı hücreler tarafından üretilen çözünür formazan ürününün absorbansı, Epoch mikropilaka okuyucusunda (BioTek, ABD) 570 nm dalga boyunda ölçüldü. Hücre canlılığı, kontrol grubunun absorbansı %100 kabul edilerek aşağıdaki formül kullanılarak belirlendi (eşitlik 1);

$$\% \text{ Canlı hücre} = \frac{(\text{Hispidulinle muamele edilen hücrenin absorbansı}) - (\text{boş kuyucuğun absorbansı})}{(\text{Kontrol hücre absorbansı}) - (\text{boş kuyucuğun absorbansı})} \times 100 \quad (1)$$

2.3. Annexin V-FITC ve PI analizi

MRC-5, RA-6013 ve RA-6217 hücre hatlarında hispidulinin etkisiyle meydana gelen apoptotik ve nekrotik hücre ölümünün kantitatif tayini, Annexin V Apoptosis Detection Kit FITC ile üreticinin protokolü (FITC Annexin V Apoptosis Detection Kit with PI, BioLegend) izlenerek yapıldı. Özetle, kontrol ve ajanlarla muamele edilen tüm hücreler toplandı, ardından PBS ve 1X bağlama tamponu ile 1500 rpm'de 5 dakika santrifüjleme yapılarak yıkandı. Daha sonra 1×10⁶ hücre, 1 ml 1X bağlama tamponunda yeniden süspansiyon edildi. Her 100 µl hücre süspansiyonuna 5 µl florokrom-konjuge Annexin V eklendi ve oda sıcaklığında ışıktan koruyarak 15 dakika boyunca inkübasyona bırakıldı. Tüm hücreler tekrar 1X bağlama tamponunda yıkandıktan sonra 200 µl aynı tamponda yeniden süspansiyon edildi ve 5 µl propidyum iyodür (PI) eklendi. Boyalı hücreler, bağlama tamponu ile seyreltilti ve tüm örnekler DAYTAM'da bulunan Beckman Coulter CytoFLEX Flow Sitometresi ile analiz edildi. Floresans dağılımı, iki renkli nokta çizimi analizi olarak gösterildi ve her kadradaki floresan hücrelerin yüzdesi ölçüldü.

2.4. İstatistik Analiz

Veriler, ortalama ±S.E.M olarak sunuldu. Varyanstaki farklılıklar için Graphpad prism 6.0 istatistik yazılımında (GraphPad, La Jolla, CA, ABD) tek yönlü varyans analizi (ANOVA) ve Tukey çoklu karşılaştırmaları kullanıldı. Gruplar arasındaki anlamlı farklılıkları belirtmek için P<0,05 kabul edildi.

3. Bulgular

3.1. Hispidulinin MRC-5, RA-6013 ve RA-6217 Hücreleri Üzerinde Sitotoksik Etkisi

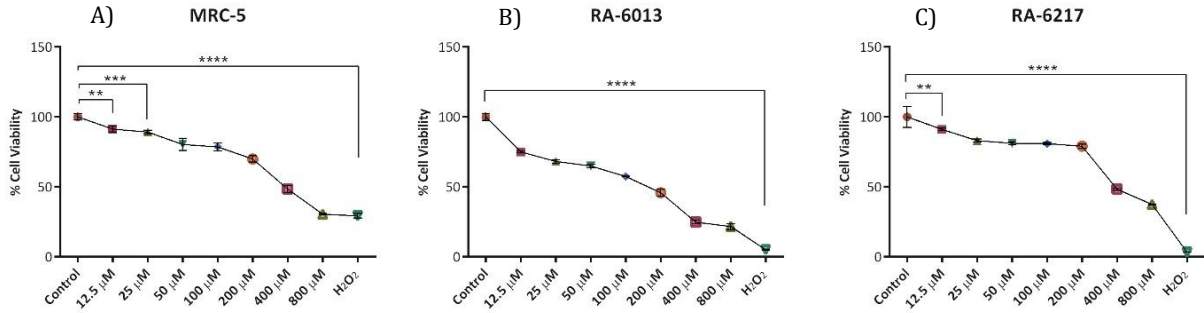
Hispidulin 12,5–800 µM konsantrasyon aralığında, 48 saat süreyle MRC-5, RA-6013 ve RA-6217 hücrelerinin canlılığı üzerindeki etkileri sırasıyla Şekil 1A, B ve C'de gösterilmiştir. Şekil 1A'dan görüldüğü gibi 48 saat boyunca 12,5–200 µM arası konsantrasyonlarda hispidulinle muamele edilen MRC-5 hücreleri, kontrol grubuyla karşılaştırıldığında hücre canlılığında önemli bir değişikliğe neden olmadı ve canlılık yüzdeleri

sırasıyla %91,31, %89,18, %80,33, %78,57 ve %69,96 olarak belirlendi. Öte yandan, daha yüksek hispidulin konsantrasyonları (400 ve 800 μM), tedavi periyodu için insan akciğer fibroblast hücresi canlılığını %48,38 ve %30,40 olmak üzere önemli ölçüde azalttı. Aynı hücre hattında 48 saat boyunca H_2O_2 (500 μM) ile muamele ise hücre canlılığını %29,32'ye kadar düşürdü.

Şekil 1B, 48 saat süreyle hispidulinin değişen konsantrasyonlarında RA-6013 hücrelerinin canlılığı üzerindeki etkilerini göstermektedir. 12,5–100 μM hispidulinin RA-6013 hücreleri üzerinde canlılık açısından ciddi bir etkiye sahip olmadığı görüldü. 48 saatlik süre sonunda, 12,5–100 μM konsantrasyon aralığında hispidulin uygulanan sıçan primer akciğer fibroblast hücrelerinin canlılığı sırasıyla %75,03, %68,17, %64,97 ve %57,48 olarak belirlendi. 200, 400 ve 800 μM olmak üzere artan hispidulin konsantrasyonlarına maruz kalan fibroblastlarda hücre canlılığı ise sırasıyla %45,78, %24,85 ve %21,64 olarak bulundu. Diğer taraftan bu hücre hattında aynı süreyle H_2O_2 (500 μM)'le maruziyet, RA-6013 hücre canlılığını oldukça azaltarak %5,09'a

düşürdü.

Son olarak, hispidulinin RA-6217 hücreleri üzerindeki etkileri Şekil 1C'de görülebilir. MRC-5 hücre hattı durumunda olduğu gibi 48 saat boyunca 12,5–200 μM hispidulin tedavisinden sonra RA-6217 hücre canlılığı %50'nin altına düşmedi. 200 μM 'ye kadar olan tüm hispidulin konsantrasyonları, ilgili kontrol ile karşılaştırıldığında, primer trake fibroblast hücre canlılığını, artan konsantrasyonlarda önemli olmayan seviyelerle azalttı. Diğer taraftan 400 ve 800 μM olan yüksek hispidulin konsantrasyonlarıyla 48 saatlik tedaviden sonra hücre canlılığı yüzdesi %48,26 ve %37,38 olarak belirlendi. Ayrıca RA-6217 hücre hattının H_2O_2 (500 μM) ile maruziyeti sonucu hücre canlılığının %3,361 olduğu görüldü. Genel olarak hispidulinin, doza bağlı bir şekilde hücre ölüm oranını arttırdığı ve yüksek dozlarda hücre hatları üzerinde daha ciddi bir etkiye sahip olduğu belirlendi. Elde edilen sonuçlar, MRC-5 ve RA-6217 hücre hatlarının 200 μM konsantrasyonunda hispiduline RA-6013'den daha dirençli olduklarını gösterdi.

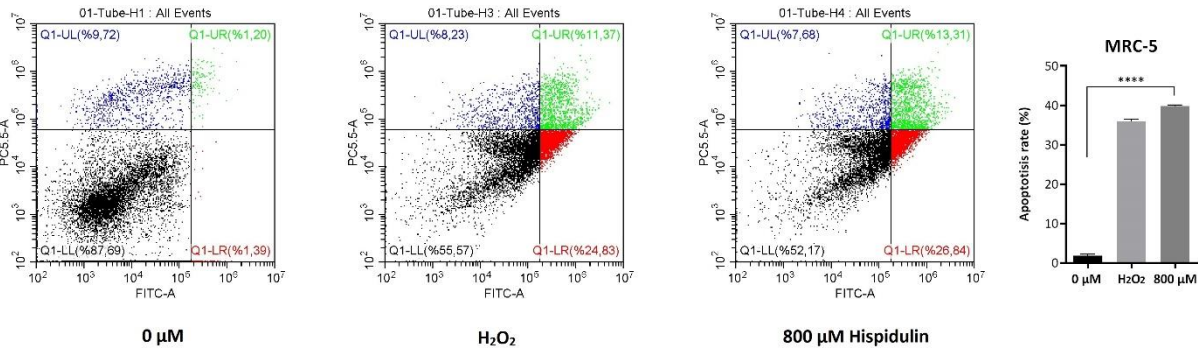


Şekil 1. 48 saat boyunca farklı konsantrasyonlarda hispidulin muamelesinin İnsan akciğer fibroblastı (A; MRC-5), Sıçan Primer Akciğer Fibroblastı (B; RA-6013) ve Sıçan Primer Trakeal Fibroblastı (C; RA-6217) hücre hatlarında hücre canlılığı üzerindeki etkileri. Sonuçlar, herhangi bir madde kullanılmamış olan kontrol grubuna göre hesaplanan hücre canlılığı yüzdeleri olarak sunulmuştur. Hata çubukları, tekrarlanan üç deneyin ortalamasının standart hatasına karşılık gelir. **P<0,01; ***P<0,001; ****P<0,0001

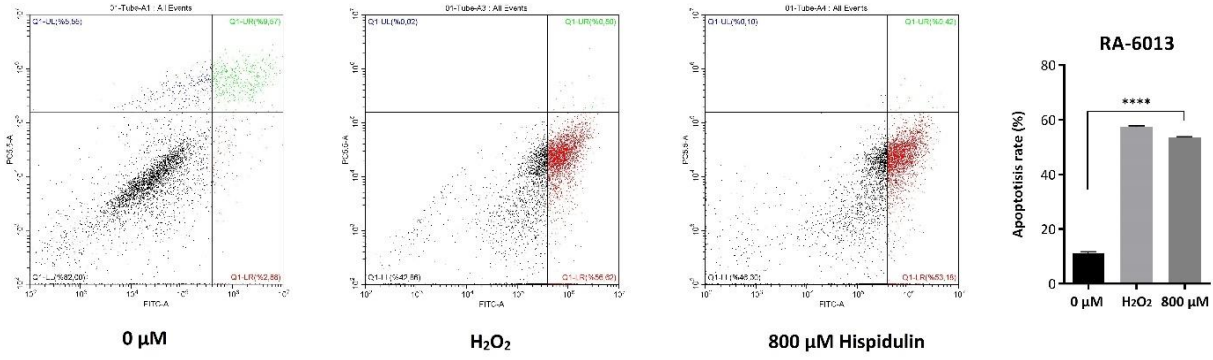
3.2. RA-6013, RA-6217 ve MRC-5 Hücrelerinde Hispidulin Kaynaklı Ölüm Tiplerinin Belirlenmesi

Bu çalışmada, sağlıklı insan akciğer hücreleri ile sağlıklı sıçan akciğer ve trake hücrelerinde hispidulin flavonunun etkisiyle meydana gelen baskın ölüm tipi karakterize edildi. Bu amaçla canlı, erken/geç apoptotik

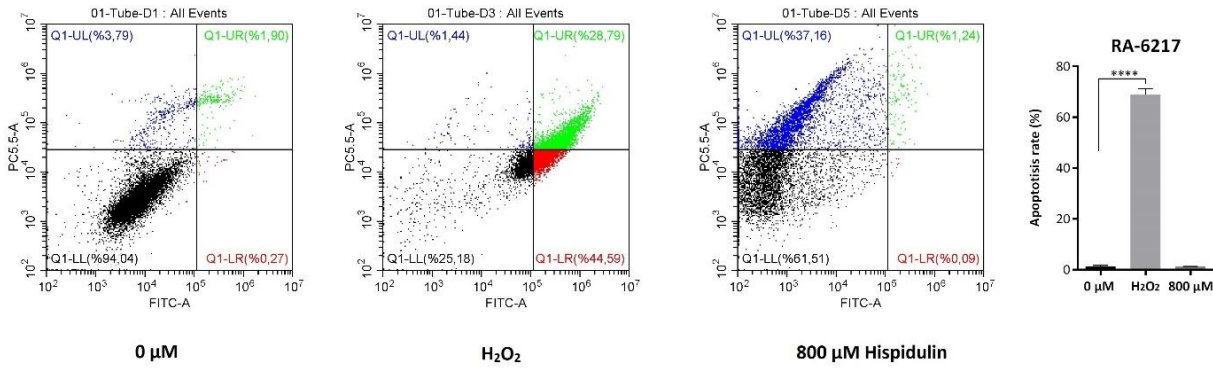
ve nekrotik hücre yüzdelerini ölçmek için Annexin V/PI çift boyama metodu kullanıldı. 48 saat boyunca 500 μM H_2O_2 (pozitif kontrol), 0 (kontrol) ve 800 μM (en yüksek konsantrasyon) hispiduline maruz bırakılan MRC-5, RA-6013 ve RA-6217 hücrelerinin akım sitometrik çizelgeleri, Şekil 2, 3 ve 4'te gösterildi.



Şekil 2. İnsan akciğer fibroblastı (MRC-5) hücrelerinde 48 saat boyunca 800 μM hispidulinle tedaviden sonra canlı, erken, geç apoptotik ve nekrotik hücre popülasyonlarının dağılımı. H_2O_2 (500 μM); pozitif kontrol olarak kullanılmıştır. ****p < 0,0001.



Şekil 3. Sıçan Primer Akciğer Fibroblastı (RA-6013) hücrelerinde 48 saat boyunca 800 μM hispidulinle tedaviden sonra canlı, erken, geç apoptotik ve nekrotik hücre popülasyonlarının dağılımı. H₂O₂ (500 μM); pozitif kontrol olarak kullanılmıştır. ****P<0,0001.



Şekil 4. Sıçan Primer Trakeal Fibroblastı (RA-6217) hücrelerinde 48 saat boyunca 800 μM hispidulinle tedaviden sonra canlı, erken, geç apoptotik ve nekrotik hücre popülasyonlarının dağılımı. H₂O₂ (500 μM); pozitif kontrol olarak kullanılmıştır. ****P<0,0001.

Söz konusu bu hücrelerin akım sitometri analizinin sonucu, 800 μM konsantrasyonunda hispidulinle muamelesinde hücrelerin canlıdan apoptotik duruma geçme eğiliminde olduğunu gösterdi. 48 saat süreyle 800 μM hispidulin uygulamasının kontrole göre MRC-5 hücrelerinde apoptotik olduğu bulundu (Şekil 2). 800 μM konsantrasyonunda hispidulin, MRC-5 hücrelerinde %40,15 oranında apoptoza neden olurken, kontrol hücrelerinde %2,59 oranında apoptotik hücre ölümüne yol açtı. Bununla birlikte 500 μM H₂O₂, MRC-5 hücrelerinde %36,60 oranında apoptoza indükledi.

Hispidulinin 800 μM konsantrasyonu, 48 saat sonra RA-6013 hücrelerinde ağırlıklı olarak apoptotik ölüme neden oldu (Şekil 3). RA-6013 hücreleri için apoptotik hücre yüzdeleri hispidulin 800 μM konsantrasyonunda %53,36, kontrolde %12,14 olarak bulundu. Öte yandan, aynı hücre hattında pozitif kontrol olarak kullanılan 500 μM H₂O₂'de ise apoptotik hücre yüzdesi %57,12 olarak gözlemlendi. 800 μM hispidulin uygulamasının kontrole göre RA-6217 hücrelerinde de nekrotik olduğu bulundu (Şekil 4). 800 μM konsantrasyonunda hispidulin RA-6217 hücrelerinde %37,16 oranında nekroza ve %1,33 oranında apoptoza neden olurken, kontrol hücrelerinde bu oranlar sırasıyla %3,79 ve %2,17 olarak belirlendi. Dahası 500 μM H₂O₂, RA-6217 hücrelerinde %73,38 oranında apoptoza neden oldu. Aslında, 800 μM konsantrasyonundaki hispidulin, RA-6217 hücrelerinde

indüklenenlerden istatistiksel olarak daha güçlü bir şekilde MRC-5 ve RA-6013 hücrelerinde erken ve geç apoptoza indükledi.

4. Tartışma

Yapılan çok sayıda *in vivo* ve *in vitro* çalışma, potansiyel bir antikanser ilaç olarak hispidulinin hücre proliferasyonunu, apoptoza, hücre döngüsünü, anjiyogenezi ve metastazı etkilediğini göstermiştir. Ayrıca hispidulinin klinikte yaygın olarak kullanılmakta olan bazı antikanser ilaçlarla birlikte kullanıldığında bu ilaçların hassasiyetini artırarak sinerjistik anti-tümör etkiler sergilediği belirtilmiştir. Mevcut literatüre dayanarak, hispidulinin kanserin önlenmesi ve tedavisi için önemli bir tamamlayıcı ilaç olma potansiyeline sahip olduğu anlaşılmaktadır (Liu ve ark., 2020). Bunun yanı sıra hispidulin, oral yolla alındıktan sonra %4.02'lik mutlak biyoyararlanım ile mide ve bağırsaklarda hızla emildiği ifade edilmektedir (Cong ve ark., 2016). Ancak bu flavonun farmakokinetiği ve organlarda biyobirikimi, spesifik hücresel hedeflerin olmaması ve toksikolojik güvenliği hakkında sınırlı veri vardır. Bu nedenle, bahsi geçen sorunların ele alınması ve klinik uygulamada kemoprevensiyon ve kemoterapide kullanımı için hispidulin ve hispidulin türevli bileşiklerin güvenliğini garantileme konusunda araştırmaların yapılması gerekmektedir.

Bu çalışmada, hispidulinin geniş konsantrasyon aralığında sağlıklı MRC-5, RA-6013 ve RA-6217 hücre hatları üzerindeki güvenilirliği MTT ve Akım sitometri analizleriyle değerlendirildi. MTT analiziyle elde edilen bulgulara göre; hispidulinin uygulanan dozlarından yalnızca en yüksek seviyede olanları, sağlıklı MRC-5, RA-6013 ve RA-6217 hücrelerin canlılığını %50 oranında azaltmaya başlattı. Bununla birlikte hesaplanan %50 inhibitör konsantrasyon (IC_{50}) değerinin, MRC-5 hücreleri için 563.63 μ M, RA-6013 hücrelerinde 194.30 μ M ve RA-6217 hücrelerinde ise 311.98 μ M olduğu bulundu. Sonuçlarımıza göre 48 saat boyunca 200 μ M'a kadar olan dozların uygulandığı sağlıklı hücreler, en umut verici canlılık profiline sahipti. Kanserle ilgili yapılan *in vitro* çalışmalarda kullanılan hispidulin dozları, mevcut çalışmamızdakinden daha düşük seviyede olmasına rağmen, kanserli hücreler üzerinde güçlü sitotoksik etki sergilediği görülmektedir. Yakın zamanda yapılan bir çalışmada, hispidulinin, insan nazofaringeal karsinom (CNE-2Z) hücrelerinde proliferasyon, invazyon, migrasyon ve apoptoz üzerindeki etkileri araştırılmış ve MTT analiziyle CNE-2Z hücre proliferasyonunu inhibe ettiği ortaya çıkarılmıştır. Çalışmada ayrıca hispidulinin 25, 50 ve 100 μ M dozlarında CNE-2Z hücrelerinde doza bağlı bir şekilde apoptozu indüklediği akım sitometrisiyle tespit edilmiş ve apoptoz oranının sırasıyla %13,3, %17,1 ve %24,6, kontrol hücrelerinin ise %5,3 olduğu gösterilmiştir (Dai ve ark., 2021). Diğer bir çalışmada, 2,5-160 μ M'a kadar değişen çeşitli konsantrasyonlarda uygulanan hispidulinin, meme kanseri (MCF-7 ve HCC38) hücrelerinde IC_{50} değerlerinin 25,44 μ M ve 65,42 μ M olduğu tespit edilmiştir (Kim and Lee, 2021). Başka bir önemli çalışmanın analizlerinde, insan hepatosellüler karsinom (SMMC7721 ve Bel7402) hücreleri üzerine 10 ve 20 μ M dozlarındaki hispidulinin, hücre büyümesini inhibe ettiği ve apoptozu indüklediği ortaya çıkmıştır (Han ve ark., 2018). Hispidulinin daha düşük konsantrasyonlarının (0, 4, 8, 15, 30 ve 60 μ M) çalışıldığı farklı bir çalışmada, 24 ve 48 saat boyunca hispidulin tedavisinin insan küçük hücreli olmayan akciğer kanseri hücre hatlarında (NCI-H460 ve A549), hücre canlılığını zamana ve konsantrasyona bağlı olarak belirgin bir şekilde azalttığı belirtilmiştir. Aynı çalışmada, akım sitometriyle de 15 ve 30 μ M dozlarında hispidulinle tedavinin apoptotik hücrelerin yüzdesinde önemli bir artışa yol açtığı görülmüştür (Lv ve ark., 2020). Bir diğer çalışmada ise 48 saat boyunca 10 ve 50 μ M dozlarında hispidulin muamelesinin, insan prostat kanseri (Du145 ve VCaP) hücrelerinde apoptozu hızlandırdığı, akım sitometrisi analiziyle rapor edilmiştir (Wang ve ark., 2021). Bu çalışmalarda belirtilen hispidulinin etkin dozlarının aksine mevcut çalışmamızda, akım sitometrisi analizine göre hispidulinin 800 μ M dozunda sağlıklı hücrelerde benzer apoptotik seviyelere erişildiği ortaya çıkmıştır. Ayrıca, H_2O_2 (500 μ M) ile karşılaştırıldığında hispidulinin, tümör olmayan hücrelerde yakın bir güvenlik profiline sahip olduğu belirlenmiştir. Kanserli hücrelerin dışında yapılan bir *in vitro* çalışmada,

hispidulinin 50, 100 ve 200 μ M konsantrasyonlarında önemli bir sitotoksositeye neden olmadan, insan $CD4^+$ ve $CD8^+$ T lenfositlerinde erken aktivasyon üzerine inhibitör etkisi oluşturduğu kanıtlanmıştır (Thitilertdecha ve ark., 2022). Benzer bir çalışmada, hispidulinin, inflamasyonla ilişkili hastalıklar için uygun immüno-supresan olarak hücre ölümüne neden olmadan, erken T-hücresi aktivasyonunun 200 μ M'a kadar doza bağlı inhibitör aktivitesini sergilediği tespit edilmiştir (Thitilertdecha ve ark., 2019).

5. Sonuç

Literatürde konuyla ilgili gerçekleştirilen çalışmaların sonuçlarından da anlaşıldığı üzere, hispidulinle ilgili *in vitro* çalışmalarda kullanılan düşük dozların bile, kanserli hücreler üzerinde sitotoksik etkisi varken, aynı dozlarda sağlıklı hücrelerde herhangi bir zararı söz konusu değildir. Bu araştırma, daha önceki çalışmalarda kullanılan hispidulin dozunun çok üstündeki doz seviyeleri (0-800 μ M) ilk defa denenmiş olması açısından, literatüre hispidulinin güvenli kullanımına yönelik önemli katkılar sağlamaktadır.

Mevcut verilerimiz, hispidulinin sağlıklı akciğer ve trake hücrelerinin çoğalmasında üzerindeki inhibe edici etkisinin çok yüksek dozlarla ilişkili olabileceğini ortaya koymaktadır. Hispidulinin, solunum yolu hastalıklarının tedavisi için güvenilir doğal bir bileşik olma potansiyeline sahip olduğu ve çeşitli kanser tiplerinin gelecekteki tedavisi için ayrıcalıklı bir terapötik ajan haline gelebileceği düşünülmüştür.

Katkı Oranı Beyanı

Yazar katkı yüzdesi aşağıda verilmiştir. Yazar makaleyi incelemiş ve onaylamıştır.

	F.A.
K	100
T	100
Y	100
VTI	100
VAY	100
KT	100
YZ	100
KI	100
GR	100
PY	100
FA	100

K= kavram, T= tasarım, Y= yönetim, VTI= veri toplama ve/veya işleme, VAY= veri analizi ve/veya yorumlama, KT= kaynak tarama, YZ= Yazım, KI= kritik inceleme, GR= gönderim ve revizyon, PY= proje yönetimi, FA= fon alımı.

Çalışma Beyanı

Yazar bu çalışmada hiçbir çıkar ilişkisi olmadığını beyan etmektedir.

Etik Onay Beyanı

Bu araştırmada hayvanlar ve insanlar üzerinde herhangi bir çalışma yapılmadığı için etik kurul onayı alınmamıştır.

Destek ve Teşekkür Beyanı

Yazar sağladığı imkanlardan dolayı Doğu Anadolu Yüksek Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi (DAYTAM)'ne teşekkür etmektedir.

Kaynaklar

An P, Wu T, Yu H, Fang K, Ren Z, Tang M. 2018. Hispidulin protects against focal cerebral ischemia reperfusion injury in rats. *J Mol Neurosci*, 65(2): 203-212.

Ashaq, A., Maqbool, M. F., Maryam, A., Khan, M., Shakir, H. A., Irfan, M., Qazi JI, Li Y, Ma, T. 2021. Hispidulin: A novel natural compound with therapeutic potential against human cancers. *Phytother Res*, 35(2): 771-789.

Cong Y, Wu S, Han J, Chen J, Liu H, Sun Q, Wu Y, Fang, Y. (2016). Pharmacokinetics of homoplantagin in rats following intravenous, peritoneal injection and oral administration. *J Pharm Biomed Anal*, 129: 405-409.

Dai, Y., Sun, X., Li, B., Ma, H., Wu, P., Zhang, Y., Zhu M, Li HM, Qin M., Wu, C.Z. 2021. The Effect of Hispidulin, a Flavonoid from *Salvia plebeia*, on Human Nasopharyngeal Carcinoma CNE-2Z Cell Proliferation, Migration, Invasion, and Apoptosis. *Molecules*, 26(6): 1604.

Gao H, Jiang Q, Han Y, Peng J, Wang C. 2015. Hispidulin potentiates the antitumor effect of sunitinib against human renal cell carcinoma in laboratory models. *Cell Biochem Biophys*, 71(2): 757-764.

Han M, Gao H, Ju P, Gao MQ, Yuan YP, Chen XH, Liu K, Han Y, Han, ZW. 2018. Hispidulin inhibits hepatocellular carcinoma growth and metastasis through AMPK and ERK signaling mediated activation of PPAR γ . *Biomed Pharmacother*, 103: 272-283.

Huang L, Huang K, Ning H. 2018. Hispidulin prevents sevoflurane—Induced memory dysfunction in aged rats. *Biomed Pharmacother*, 97: 412-422.

Kaufman PB, Csake LJ, Warber S, Duke JA, Brielmann HL. 1998. *Natural products from plants*, CRC Press, Boca Raton.

Kavakcıoğlu Yardımcı B, Geyikoglu F, Aysin F, Koc K, Simsek Ozek N, Küçükataş V. 2021. The cytotoxic and apoptotic effects of beta-blockers with different selectivity on cancerous and healthy lung cell lines. *Mol Biol Rep* 48(5): 4009-4019.

Kim HA, Lee J. 2021. Hispidulin modulates

epithelial-mesenchymal transition in breast cancer cells. *Oncol. Lett*, 21(2): 1-1.

Lin FJ, Yen FL, Chen PC, Wang MC, Lin CN, Lee CW, Ko HH. 2014. HPLC-fingerprints and antioxidant constituents of *Phylla nodiflora*, *Sci. World J*. 2014.

Lin SR, Fu YS, Tsai MJ, Cheg H, Weng CF. 2017. Natural compounds from herbs that can potentially execute as autophagy inducers for cancer therapy. *Int J Mol Sci*, 18:1412.

Lin TY, Lu CW, Wang CC, Lu JF, Wang SJ. 2012. Hispidulin inhibits the release of glutamate in rat cerebrocortical nerve terminals. *Toxicol Appl Pharmacol*, 263(2): 233-243.

Liu K, Zhao F, Yan J, Xia Z, Jiang D, Ma P. 2020. Hispidulin: A promising flavonoid with diverse anti-cancer properties. *Life Sci*, 259: 118395.

Lv L, Zhang W, Li T, Jiang L, Lu X, Lin J. 2020. Hispidulin exhibits potent anticancer activity in vitro and in vivo through activating ER stress in non-small-cell lung cancer cells. *Oncol Reports*, 43(6): 1995-2003.

Mocan A, Vodnar DC, Vlase L, Crişan O, Gheldiu AM, Crişan G. 2015. Phytochemical characterization of *Veronica officinalis L.*, *V. teucrium L.* and *V. orchidea Crantz* from Romania and their antioxidant and antimicrobial properties. *Int J Mol Sci*, 16(9): 21109-21127.

Patel, K., Patel, DK. 2017. Medicinal importance, pharmacological activities, and analytical aspects of hispidulin: A concise report. *J Tradit Complement Med*, 7(3): 360-366.

Thitilertdech P, Tantithavorn V, Pongpaiboon P, Onlamoon N. 2019. Determination of suppressive effect on human T-cell activation by hispidulin, nepetin, and vanillic acid. *Immunopharmacol Immunotoxicol* 41(6): 591-598.

Thitilertdech P, Tantithavorn, V, Pongpaiboon P, Onlamoon N. 2022. Synergistic immunosuppressive effect of hispidulin and nepetin mixtures on human T lymphocytes. *Immunopharmacol Immunotoxicol*, 44(5): 693-703.

Wang Y, Guo S, Jia Y, Yu X, Mou R, Li X. 2021. Hispidulin inhibits proliferation, migration, and invasion by promoting autophagy via regulation of PPAR γ activation in prostate cancer cells and xenograft models. *Biosci Biotechnol Biochem*, 85(4): 786-797.

Wilcox EC, Edelman ER. 2022. Substratum interactions modulate interplay between endothelial cell, epithelial cell, and fibroblast phenotype and immunomodulatory function. *Biomaterials*, 289: 121785.

Yu CY, Su KY, Lee PL, Jhan JY, Tsao PH, Chan DC, Chen YLS. 2013. Potential therapeutic role of hispidulin in gastric cancer through induction of apoptosis via NAG-1 signaling. *Evid Based Complementary Altern Med*, 2013.



Marrubium astracanicum subsp. *astracanicum* Jacq. (Lamiaceae)'UN ANATOMİK, EKOLOJİK VE TÜY ÖZELLİKLERİNİN TAKSONOMİK ÖNEMİ

Kamer Volkan KOÇAK¹, Nezahat KANDEMİR^{2*}

¹Amasya University, Institute of Science, Department of Biology, 05100, Amasya, Türkiye

²Amasya University, Faculty of Education, Department of Mathematics and Science Education, 05100, Amasya, Türkiye

Özet: Bu çalışmada, *Marrubium astracanicum* subsp. *astracanicum*'un anatomik, ekolojik ve tüy özelliklerinin taksonomik önemi belirlenmiştir. Anatomik incelemelerde, kök, gövde, petiyol ve yapraktan enine kesitler ve yaprakların alt ve üst yüzeylerinden yüzeysel kesitler alınmıştır. Anatomik bulgular incelendiğinde, taksonun sekonder kök yapısına ve dörtgen şekilli bir gövde yapısına sahip olduğu görülmüştür. Gövdenin köşelerinde belirgin lamellar kollenkima tabakasına rastlanmıştır. Takson, mezofil yapı bakımından bifasiyal yapraklara sahiptir. Yaprakların hem alt hemde üst yüzeylerinde anomositik stomalar görülmüştür. Stoma komşu hücrelerinin kenarları kıvrımlıdır. Bu taksonun vejetatif organları üzerinde yıldızlı, dendroid, marruboid ve basit tüyleri, sap ve baş hücre sayıları farklı kapitat salgı tüyleri ve peltat salgı tüyleri gözlenmiştir. Toprak örnekleri taksonun çiçeklenme periyodunda alınmış, fiziksel ve kimyasal özellikleri tespit edilmiştir. Toprak örneklerinin fiziksel ve kimyasal analiz sonuçlarına göre, takson hafif asidik ve hafif bazik, orta derecede tuzlu ve çok tuzlu, orta derecede kireçli, zengin ve çok zengin organik madde içeren, azot bakımından orta ve azotça zengin, potasyum ve fosfor bakımından zengin, kumlu ve kumlu-tuzlu topraklarda yayılış göstermektedir. Kökteki periderma tabaka sayısı, gövdenin köşelerindeki kollenkima tabaka sayısı, korteksteki kollenkima, parankima ve sklerenkima tabaka sayısı, gövde de kristallerin oluşu, stoma komşu hücrelerinin marjin yapısı, mezofil yapısı, petiyolün uç kısımlarının düz ve kıvrık olması, petiyoldeki kollenkima ve parankima tabaka sayısı, vejetatif organlar üzerindeki yıldızlı tüylerin yoğunluğu, kapitat ve peltat salgı tüylerinin varlığı, tipi ve yoğun olup olamaması, dendroid tüylerinin olması ve yoğunluğu taksonun ayırt edilmesinde önemli anatomik karakterler olarak belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: *Marrubium astracanicum* subsp. *astracanicum*, Anatomi, Ekoloji, Tüy tipleri

Taxonomic importance of Anatomical, Ecological and Trichome Features of *Marrubium astracanicum* subsp. *astracanicum* Jacq. (Lamiaceae)

Abstract: In this study, taxonomic importance of anatomical, ecological and trichome features of *Marrubium astracanicum* subsp. *astracanicum* were determined. In anatomical examinations, cross sections were taken from the root, stem, petiole and leaf, and surface sections were taken from the lower and upper surfaces of the leaves. When the anatomical findings were examined, it was seen that the taxon had a secondary root structure and a quadrangular stem structure. A prominent lamellar collenchyma layer was encountered at the corners of the stem. The taxon has bifacial leaves in terms of mesophyll structure. Anomocytic stomata were seen on both the upper and lower surfaces of the leaves. The margins of the adjacent cells of the stoma are undulate. Stellate, dendroid, marruboid and simple trichomes, capitate glandular trichomes with different stalk and head cell numbers, and peltate glandular trichomes were observed on the vegetative organs of this taxon. Soil samples were taken during flowering period of taxon, and their physical and chemical features were determined. According to the results of physical and chemical analysis of soil samples, taxon is distributed in soils slightly acidic and slightly basic, moderately saline and very salty, moderately calcareous, rich and very rich in organic matter, moderate in nitrogen and rich in nitrogen, rich in potassium and phosphorus, sandy and sandy-salty. The number of periderma layers in the root, the number of collenchyma layer in the corners of the stem, the number of collenchyma, parenchyma and sclerenchyma layers in the cortex, the formation of crystals in the stem, the margin structure of the cells adjacent to the stoma, the mesophyll structure, the flat and curved ends of the petiole, the number of the collenchyma and parenchyma layer in the petiole, density of stellate trichomes on vegetative organs, presence, type and density of capitate and peltate glandular trichomes, presence and density of dendroid trichomes were determined as important anatomical characters in distinguishing of the taxon.

Keywords: *Marrubium astracanicum* subsp. *astracanicum*, Anatomy, Ecology, Trichome types

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Amasya University, Faculty of Education, Department of Mathematics and Science Education, 05100, Amasya, Türkiye

E mail: nezahat.kandemir@amasya.edu.tr (N. KANDEMİR)

Kamer Volkan KOÇAK <https://orcid.org/0000-0003-0650-2661>

Nezahat KANDEMİR <https://orcid.org/0000-0002-5428-4139>

Gönderi: 05 Nisan 2023

Kabul: 06 Mayıs 2023

Yayınlanma: 01 Temmuz 2023

Received: April 05, 2023

Accepted: May 06, 2023

Published: July 01, 2023

Cite as: Koçak KV, Kandemir N. 2023. Taxonomic importance of anatomical, ecological and trichome features of *Marrubium astracanicum* subsp. *astracanicum* Jacq. (Lamiaceae). *BSJ Eng Sci*, 6(3): 199-209.



1. Giriş

Lamiaceae familyası dünyanın Akdeniz iklim bölgelerinde, özellikle Güneybatı Asya, Kap bölgesi, Madagaskar, Avustralya'nın tropikal bölgeleri, Çin, Kuzey ve Güney Amerika'da yayılış göstermektedir (Hedge, 1992). Bu familyanın türleri aromatik bileşikler ve uçucu yağlar açısından oldukça zengindir. Türkiye de 48 cins ve 782 takson (603 tür, 179 alttür ve varyete) ile temsil edilmektedir. Bunlardan 346 takson (271 tür, 75 alttür ve varyete) endemiktir ve endemizm oranı %44 olarak bilinmektedir (Celep ve Dirmenci, 2017).

Lamiaceae familyasında yer alan *Marrubium* L. cinsi, tek ve çok yıllık otsu türleri içerir ve genellikle İran-Turan ve Akdeniz fitocoğrafik bölgelerinde yayılış gösterir (Hedge, 1992; Aytaç ve ark., 2012). Dünya florasında bu cinsin yaklaşık 50 türü bulunmaktadır. Türkiye'deki takson sayısı 27 olup endemizm oranı %59 olarak rapor edilmiştir (Celep ve Dirmenci, 2017). Anadolu, cinsin Avrasya'daki önemli gen merkezidir (Akgül ve Selvi, 2014; Fırat, 2016). *Marrubium* cinsi, vejetatif ve generatif organlarında yoğun yıldızlı tüyleri, gövdeleri üzerinde yoğun bir şekilde vertisillaster çiçek dizilişi, borumsu şekilli kaliks ve korollası, kaliks dişlerinin şekli, sayısı, dikenli olup olmaması, dik veya geriye kıvrık oluşu ve stamenlerin korolla içerisinde olması ile karakterize edilmektedir (Cullen, 1982; Ahvazi ve ark., 2016).

Bu cinsin üyeleri, yüksek antioksidan içerikleri nedeniyle diyabet tedavisinde, iltihap önleyici, akciğer enfeksiyonları, astım, kulak ağrılarında, adet söktürücü, iştah açıcı, şişkinlik, kanser önleyici, balgam söktürücü, hiperglisemi, dislipidemi, hazımsızlık, kalp ağrılarında ve bazı hastalıklarda ağrı kesici olarak kullanıldığı rapor edilmiştir (Meyre-Silva ve Cechinel-Filho, 2010; Yousefi ve ark., 2014; Yousefi ve ark., 2016; Selvi ve ark., 2022). Bazı türler meşrubatlarda, dondurulmuş sütlü tatlılarda, jelatinlerde, pudinglerde ve sakızlarda kullanılmaktadır. Mentollü yapraklara sahip olan türler çay ve baharat olarak tercih edilmektedir *M. vulgare* dünyanın birçok ülkesinde süs bitkisi olarak yetiştirilmektedir (Estilai ve Hatemi, 1990; Büyükkartal ve ark., 2016). Bazı türler yoğun nektar içerdiklerinden dolayı arıcılıkta geniş kullanım alanına sahiptir (Öztürk ve Görkan, 2021).

Marrubium türleri vejetatif ve generatif organlarında değişik örtü ve salgı tüyelerine sahiptir (Ahvazi ve ark., 2016; Çalı, 2017). Bu tüyler, Lamiaceae familyasında da çok önemli taksonomik karakterler olarak bilinir ve familyanın diğer taksonların vejetatif ve generatif organlarında yaygın olarak bulunur (Navarro ve El Qualidi 2000; Kandemir, 2003; Kandemir, 2011; Osman 2012; Seyedi ve Salmaki 2015; Haratym ve Werszko-Chmielewska, 2017).

Bu çalışmanın amacı, *M. astracanicum* subsp. *astracanicum*'un anatomik, ekolojik ve tüy özelliklerinin taksonomik önemini ortaya koymaktır.

2. Materyal ve Yöntem

Bitki ve toprak örnekleri çiçeklenme dönemlerinde türün doğal olarak yayılış gösterdiği alanlardan alınmıştır. Bu taksonun taksonomik tanımlaması Cullen (1982) ve Dirmenci (2012) göre yapılmıştır. Bitki örneklerinin bir kısmı standart herbaryum tekniklerine göre kurutulularak saklanmış (Uma ve Düzenli, 2012), bir kısmı anatomik incelemeler için %70'lik alkolde fikse edilmiştir. Anatomik incelemelerde, kök, gövde, petiyol ve yaprakların enine kesitleri, yaprakların üst ve alt yüzeylerinden yüzeysel kesitler alınmıştır. Enine ve yüzey kesitlere sartur reaktif uygulanmıştır (Çelebioğlu ve Baytop, 1949). Anatomik incelemeler %70'lik alkolde bekletilen ortalama 10 bitki örneğinde gerçekleştirilmiştir. Fotoğraflar, Leica ICC50 HD mikroskobunun 4X, 10X ve 40X objektifleri kullanılarak görüntülenmiştir. Taksonun vejetatif ve generatif organları üzerindeki tüylerin morfolojilerinin belirlenmesinde, Leica ICC50 HD mikroskobunun 40X büyütme objektifi ve stero mikroskop kullanılmıştır. Tüyler Navarro ve El Oualidi (2000) ve Osman (2012) göre sınıflandırılmış ve Tablo 1'de verilmiştir. Tablo 2' de taksonun vejetatif organlarının anatomik karakterlerinin analiz sonuçları bulunmaktadır. Toprak örnekleri 0-20 cm derinlikten 1-2 kg alınarak polietilen torbalarda laboratuvara getirilmiştir. Bu numuneler laboratuvarında kurutulularak 2 mm elekten geçirilerek fiziksel ve kimyasal analizler için hazırlanmıştır. Toprak örneklerinin fiziksel ve kimyasal analizleri Amasya Üniversitesi Merkez Araştırma ve Uygulama Laboratuvarı Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde yapılmıştır. Toprak örneklerinin toprak bünyesi, toplam tuzluluk, kalsiyum karbonat, pH, azot, fosfor, potasyum ve organik madde içerikleri standart yöntemlere göre belirlenmiştir (Kaçar, 1995). Toprak analizi sonuçlarının ortalama ve standart sapma değerleri Tablo 3'de verilmiştir. Taksonun toplandığı lokaliteler aşağıda listelenmiştir;

- A5 Amasya: Akdağ Seyfe Köyü üstü, Duacık mevkii, orman açıklıkları, 1400 m., 14.07.2020, K.V. Koçak ve N. Kandemir. Herbaryum numarası:1238.
- A5 Amasya: TV kulesi yanı Ormanözü Köyü üstü, açık alanlar ve yol kenarları, 1500 m., 14. 07. 2020, K.V. Koçak ve N. Kandemir. Herbaryum numarası:1239.
- A5 Çorum: Kargı Köse Dağı, Abdullah Yaylası-Seki Köyü arası açık alanlar, 1500-1600 m., 11.07.2020, K.V. Koçak ve N. Kandemir. Herbaryum numarası:1240.
- A5 Amasya: İmirler Köyü, İmirler Yaylası arası, orman açıklıkları, 1500 m., 14.07.2020, K.V. Koçak ve N. Kandemir. Herbaryum numarası:1241.
- A6 Samsun: Ladik Çakmabelen Yaylası, açık alanlar, 1400 m., 11.07.2020, K.V. Koçak ve N. Kandemir. Herbaryum numarası:1242.

Tablo 1. *Marrubium astracanicum* subsp. *astracanicum*'un vejetatif ve generatif organlarındaki salgı ve örtü tüyleri

Organlar	I. tip kapitat tüy	II. tip kapitat tüy	III. tip kapitat tüy	Peltat tüy	Basit tüy	Yıdızlı tüy	Dendroid tüy
Gövde	Çok yoğun	yoğun	yoğun	seyrek	seyrek	Çok yoğun	-
Petiyol	Çok yoğun	seyrek	seyrek	yoğun	seyrek	Çok yoğun	yoğun
Yaprak	Çok yoğun	seyrek	-	yoğun	seyrek	Çok yoğun	yoğun
Kaliks tüpü	yoğun	-	-	-	seyrek	yoğun	-
Korolla	yoğun	-	-	-	seyrek	yoğun	-

I. tip kapitat salgı tüyü= sap ve baş bir hücreli, II. tip kapitat salgı tüyü= kısa sap bir hücreli ve baş iki hücreli, III. tip kapitat salgı tüyü=uzun sap bir ve boyun bir hücreli, baş iki hücreli.

Tablo 2. *Marrubium astracanicum* subsp. *astracanicum*'un vejetatif organlarındaki anatomik karakterlerinin analizleri

Taksonun özellikleri	Taksonun özellikleri	Taksonun özellikleri	Taksonun özellikleri
Periderma tabaka sayısı	5-7	Petiyol epidermis hücresi	dörtgen şekilli ve seyrek papillalı
Korteks	parankimatik	Kutikula	kalın ve seyrek mikropapillalı
Floem üzerindeki sklerenkima	küçük gruplar şeklinde	Kollenkima tabaka sayısı (floem kısmı)	2-3 (2) sıralı
Floem elemanları	bariz ve dar bölgede	Parankima tabaka sayısı (floem kısmı)	4-5 (4) sıralı
Kambiyum tabaka sayısı	3-4	Endoderma	1 sıralı ve büyük hücreli
Ksilem elemanları	bariz ve geniş bölgede	Merkezde iletim demeti	2
Kök öz bölgesi	altıgen şekilli parankima	Ksilem elemanları	bariz ve geniş bölgede
Gövde epidermis hücresi	dörtgen ve dikdörtgen şekilli ve büyük	Petiyolün uç kısımlarının yapısı	yukarıya doğru hafif kıvrık
Köşelerdeki kollenkima	13-15 sıralı	Yapraklarda kutikula	kalın
Gövdenin diğer bölgesindeki kollenkima	3-4 sıralı	Üst ve alt epidermis hücreleri	dikdörtgen şekilli
Parankima	4-5 sıralı ve kloroplastsız	Mezofil yapısı	bifasiyal
Sklerenkima	2-3 (3) sıralı	Palizat parankiması	1-2 sıralı ve çok daha uzun
İletim demetleri	açık kolleteral	Sünger parankiması	3-4 sıralı
Öz bölgesi	büyük ve yuvarlak şekilli	Stoma tipi	anomositik
		Stoma komşu hücrelerinin kenarları ve hücre sayısı	Kıvrımlı ve 4
		Ana damardaki kollenkima	5-6

Tablo 3. *Marrubium astracanicum* subsp. *astracanicum*'un toprak analiz sonuçları

Lokaliteler	Tekstür	(%) Tuzluluk	(%) CaCO ₃	pH	(%) Organik madde	(%) N	K (mg/kg)	P (mg/kg)
Seyfe Köyü üstü	Kumlu ve tuzlu	0,39	0,78	6,80	5,62	0,09	134,4	52,14
Ormanözü Köyü üstü	Kumlu ve tuzlu	0,46	1,50	6,50	4,95	0,45	172,8	40,62
Abdullah Köyü	Yaylası-Seki Kumlu ve tuzlu	0,48	4,59	7,88	2,85	0,60	154,9	21,20
Ladik Köyü	Çakmabelen Kumlu	0,60	4,30	6,97	3,83	0,19	205,23	30,12
İmirler Köyü	İmirler Kumlu-tuzlu	0,78	3,90	7,53	3,32	0,35	187,9	21,75
Ortalama ± Standart sapma	-	0,54±0,15	3,01±1,74	7,14±0,56	4,11±1,15	0,33±0,20	171±27,6	33,1±13,21

3. Bulgular

3.1. Anatomik Özellikler

3.1.1. Kök

En dışta 5-7 sıralı periderma tabakası bulunur (Şekil 1A). Epiderma bir sıralı, kare şekilli, yer yer parçalanmıştır. Korteks 8-9 sıralı uzunca veya oval şekilli parankima hücrelerinden meydana gelmiştir (Şekil 1B). Floem ve ksilem elemanları bariz olarak görülmektedir. Floem elemanlarının üzerinde küçük gruplar halinde

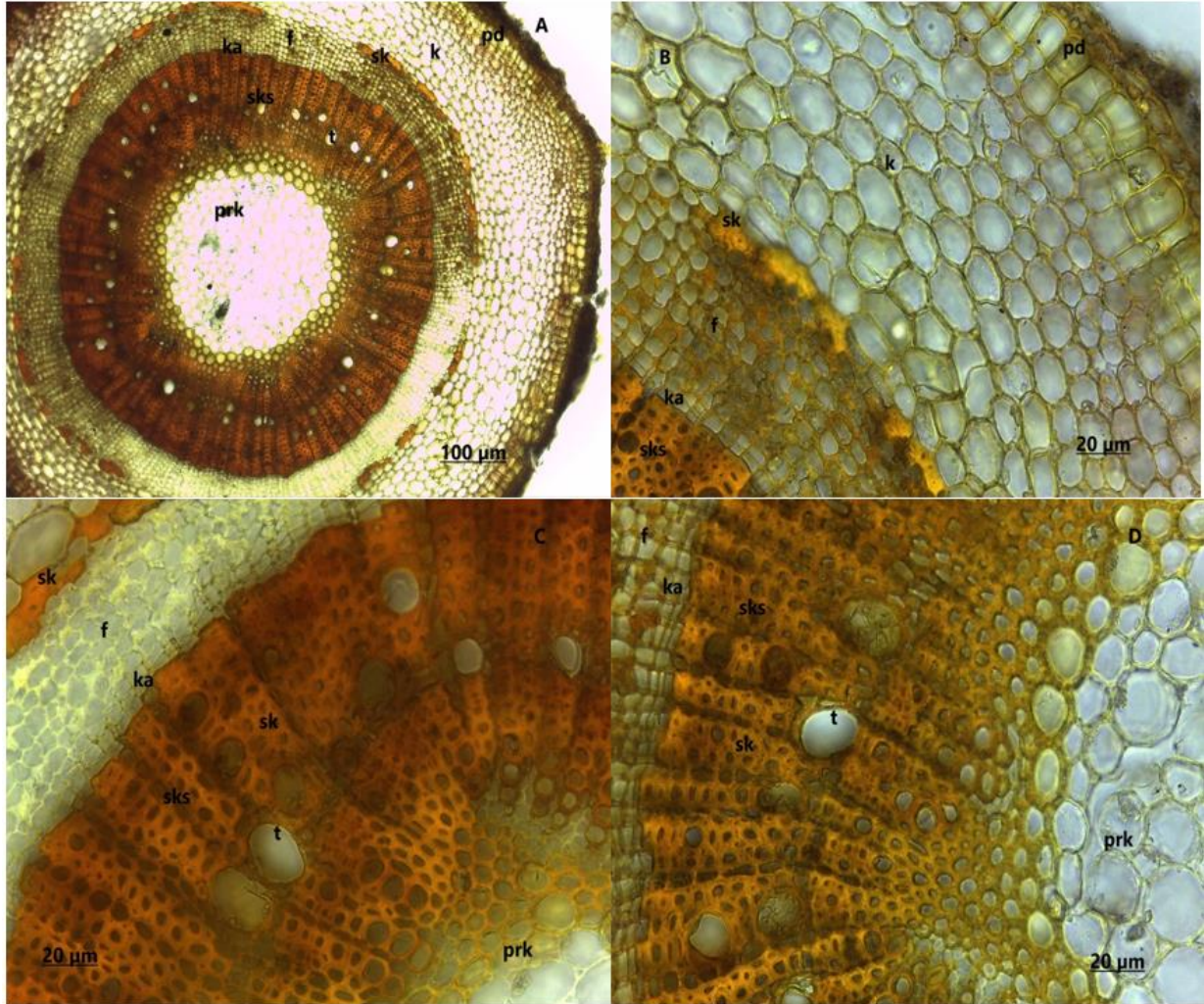
sklerenkima hücre kümeleri bulunmaktadır. Kambiyum 3-4 sıralı, büyük ve yassı şekilli hücrelerden oluşmuştur (Şekil 1C). Sekonder ksilem geniş bir bölgede olup primer ksilem ise dar bir bölgededir. Sekonder ksilemde trakeler oldukça seyrek ve büyüktür (Şekil 1D). Kökte geniş bir öz bölgesi bulunur (Şekil 1A). Öz bölgesindeki parankima hücreleri büyük ve altıgen şekillidir.

3.1.2. Gövde

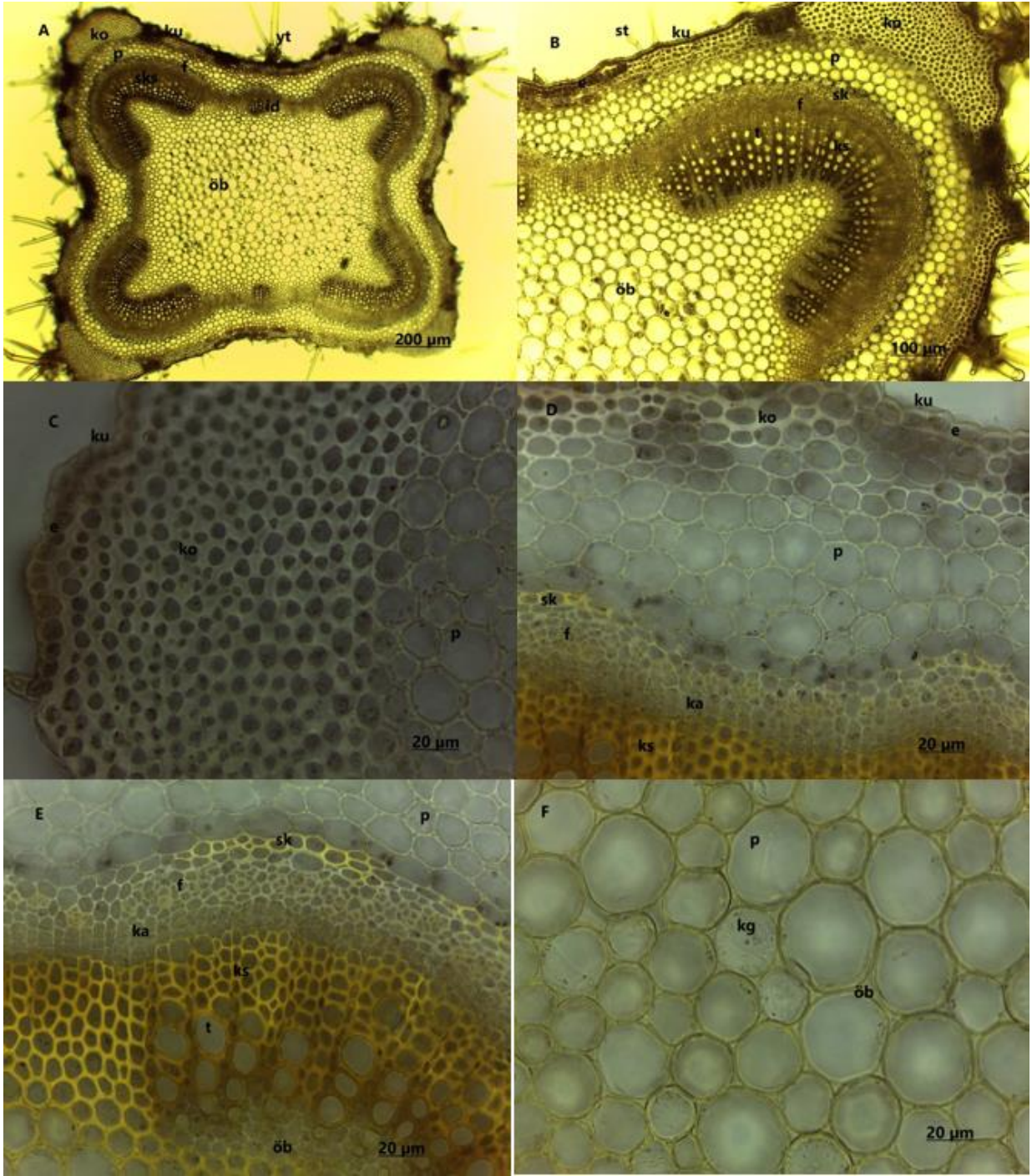
Gövde dört köşelidir (Şekil 2A, B). Epiderma tek sıralı,

dörtgen şekilli ve yoğun papillalıdır. Kutikula kalın ve yoğun mikropapillalıdır. Köşelerde 13-15 sıralı lamellar kollenkima bulunur (Şekil 2C). Parankima 4-5 sıralı ve sklerenkima 2-3 sıralı genellikle 3 sıralıdır (Şekil 2D). Köşeler dışındaki kollenkima 3-4 sıralı. Floem ve ksilem elemanları barizdir. Kambiyum 4-5 sıralı genellikle 4 sıralı, yassı ve büyük hücrelidir (Şekil 2E). Ksilemde trakeler büyük, seyrek ve zincir şekilli. Ksilemde yoğun sklerenkima hücreleri bulunur. Öz bölgesi geniş ve büyük, yuvarlak şekilli parankima hücrelerinden meydana gelmiştir (Şekil 2F). Öz bölgesindeki parankima

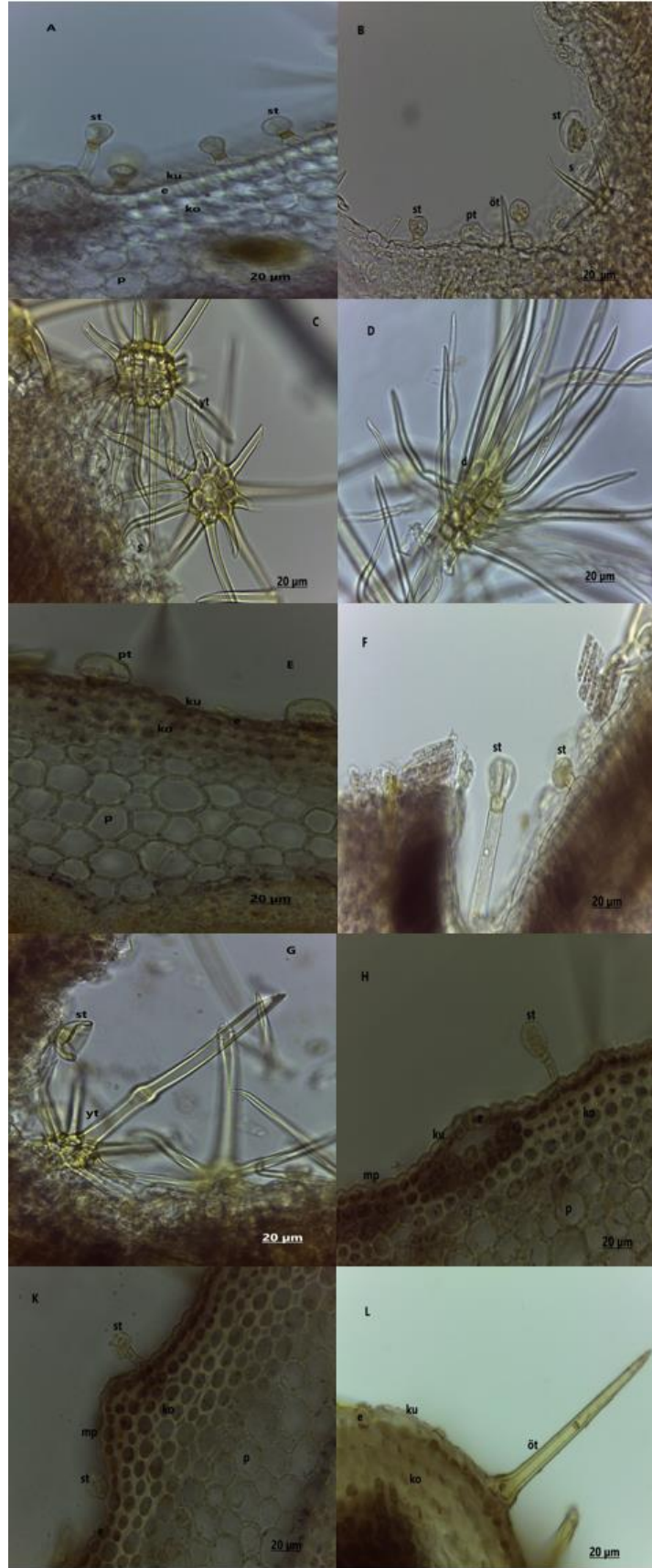
hücrelerinde yoğun rafit ve tek kristaller tespit edilmiştir. Gövde üzerinde yoğun olarak bir hücreli kısa sap ve bir veya iki hücreli başa sahip olan kapitat salgı tüyleri görülmüştür (Şekil 3 H, K). İki hücreli başlı ve saplı kapitat salgı ve peltat salgı tüylerine seyrek olarak rastlanmıştır. Gövde üzerinde yoğun bir şekilde yıldızlı tüyler bulunmaktadır. Bu tüylerin bazılarında orta dal uzun ve iki hücreli, yan dallar tek hücreli, kısa, eşit uzunlukta ve dik yapılıdır. Bazı yıldızlı örtü tüylerinin dalları eşit uzunlukta. Ayrıca gövde üzerinde iki hücreli basit tüyleri de tespit edilmiştir (Şekil 3L).



Şekil 1. *Marrubium astracanicum* subsp. *astracanicum*'un kök enine kesiti A= Kökün genel yapısı, B= Kökün korteks bölgesi, C= Kökün sekonder ksilem ve floem bölgesi. D=Kökün sekonder ksilem ve öz bölgesi, pd= periderma, k= korteks, f= floem, ka= kambiyum, sk= sklerenkima, sks= sekonder ksilem, prk= primer ksilem, t= trake.



Şekil 2. *Marrubium astracanicum* subsp. *astracanicum*'un gövde enine kesiti A-B= Gövdenin genel yapısı, C=Gövdenin korteks bölgesindeki kollenkima ve parankima, D=Gövdedeki kollenkima, parankima, floem ve ksilem, E= Gövdedeki floem ve ksilem, F= Gövdenin öz bölgesi, ku= kutikula, e= epiderma, ko= kollenkima, ka= kambiyum, p= parankima, f= floem, ks= ksilem, sks=sekonder ksilem, öb= öz bölgesi, kg=kristal granülleri, st= kapitat salgı tüyü, yt= yıldız tüy, id= iletim demeti, t= trake.



Şekil 3. *Marrubium astracanicum* subsp. *astracanicum*'un vejetatif organları üzerinde tüy tipleri A= Petiyoldeki kapitat salgı tüyleri, B= Yapraktaki kapitat ve peltat salgı tüyleri, basit tüyler, C=Yapraktaki yıldızlı tüyler, D= Yapraktaki dendroid tüy, E=Petiyoldeki peltat tüyler, F= Yapraktaki kapitat salgı tüyleri, G= Yapraktaki kapitat salgı ve yıldızlı tüyler, H-K= Gövde de kapitat salgı tüyleri, L= Gövde de basit tüy, ku= kutikula, üe= üst epiderma, mp= mikropapilla, ae= alt epiderma, d= dendroid tüy, st= kapitat salgı tüyü, p= parankima, ks= ksilem, f= floem, e= epiderma, yt= yıldızlı tüy, pt= peltat salgı tüyü, ko= kollenkima, öt= basit tüy, s= stoma.

3.1.3. Petiyol

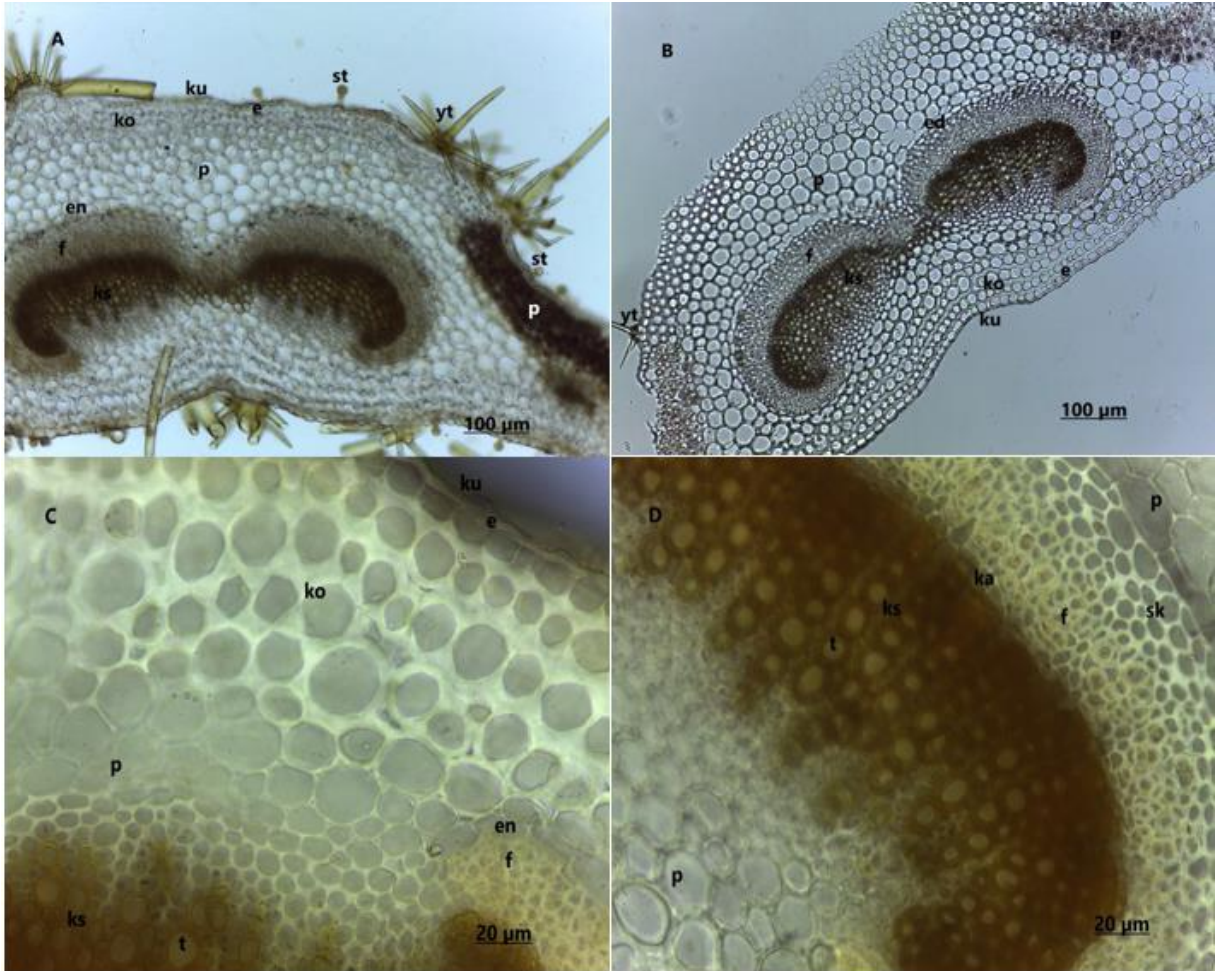
Enine kesitlerde, epiderma tabakası bir sıralı, büyük ve dörtgen şekilli hücrelerden meydana gelmiştir (Şekil 4A, B). Epidermanın üzerindeki kutikula tabakası kalındır. Epidermadaki papillalar ve kutikuladaki mikropapillalar seyrek. Ksilem tarafındaki epiderma tabakasının altında 3 sıralı lamellar kollenkima yer alır (Şekil 4C). Parankima 2 sıralı, büyük, oval şekilli hücrelerden oluşmuştur. Parankima hücrelerinde kristal granüllerine rastlanmıştır. Kollenkima ve parankima hücrelerinde yoğun kloroplastlar görülmüştür.

Petiyolün merkezinde 2 tane büyük iletim demeti bulunmaktadır (Şekil 4A, B). İletim demetlerinin etrafında yer alan endoderma tabakası yassı, büyük ve tek sıralı hücrelerden meydana gelmiştir. Floem ve ksilem elemanları bariz olarak görülmektedir. Ksilem geniş bir bölge halinde olup trakeler zincir şeklindedir (Şekil 4D). Floem tarafındaki lamellar kollenkima 2-3sıralı genellikle 2 sıralı, parankima 4-5 sıralı olup genellikle 4 sıralıdır. Baş ve sap kısmı bir hücreli kapitat salgı tüyleri oldukça yoğundur (Şekil 3A ve Tablo 1). Sap kısmı bir hücreli ve uzun, baş kısmı bir hücreli olan kapitat salgı tüyleri seyrek olarak görülmüştür. Petiyolde hem yıldızlı tüyler hemde peltat salgı tüyleri çok yoğundur (Şekil 3E). Ayrıca bir

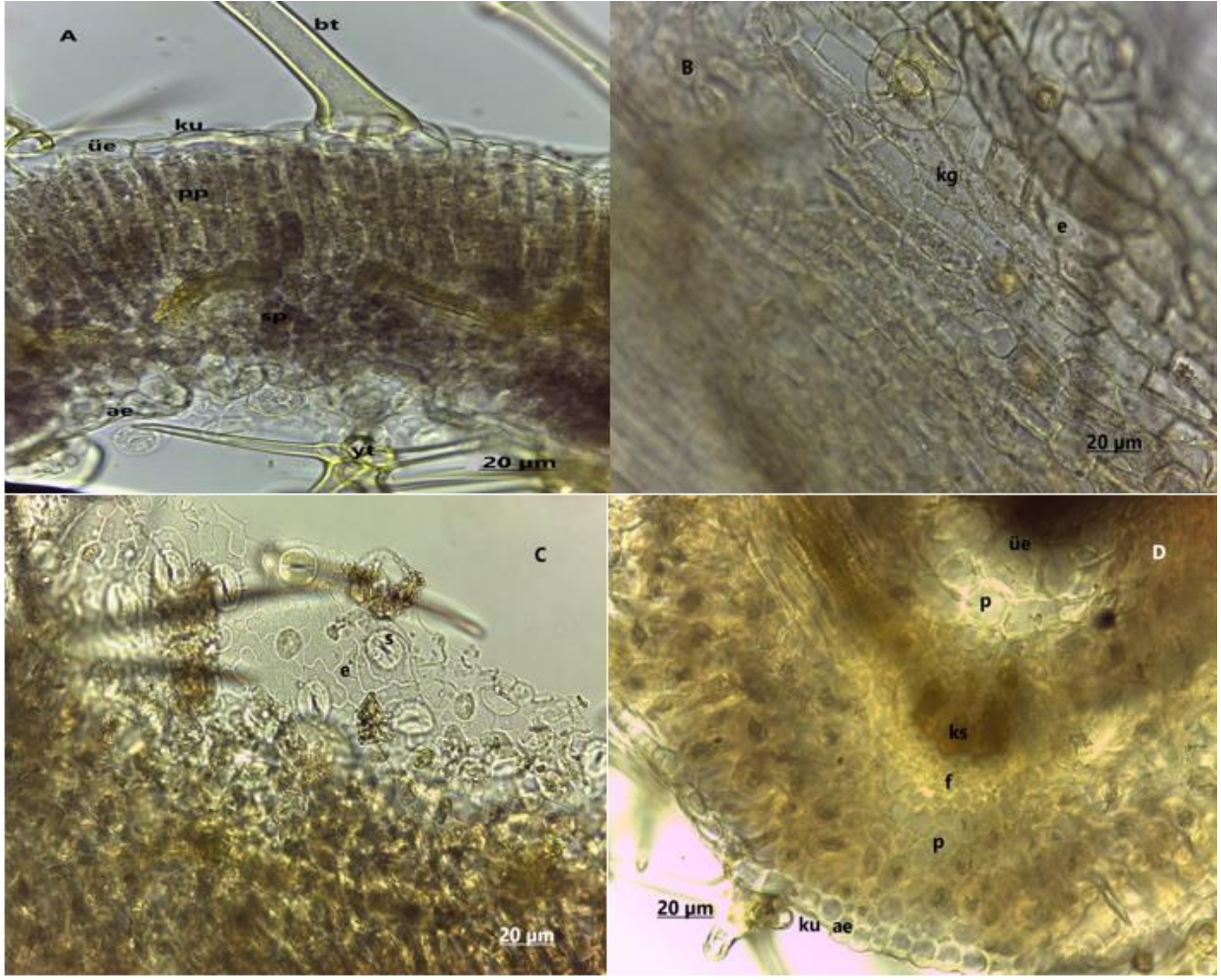
hücreli uzun basit tüyler de görülmüştür.

3.1.4. Yaprak

En dışta kalın kutikula tabakası yer alır. Üst ve alt epiderma dikdörtgen şekilli, tek sıralı ve büyük hücrelidir. Mezofil bifasiyal yapıdadır (Şekil 5A). Palizat parankiması tek sıralı ve oldukça uzun hücrelerden oluşmuştur. Sünger parankiması 3-4 sıralıdır. Stomalar hem üst hemde alt epidermada görülmüştür. Fakat alt epidermada daha fazla stomaya rastlanmıştır. Stomalar anomositik yapıdadır (Şekil 5C). Stomaların etrafındaki komşu hücreleri 4 tane olup kenarları kıvrımlıdır (undulate). Baş ve sap bir hücreli, baş iki hücreli ve sap bir hücreli kapitat salgı tüyleri görülmüştür (Şekil 3B). Bu tip kapitat salgı tüylerine yoğun olarak rastlanmıştır (Tablo 1). Bir ve iki hücreli basit tüyler, iki hücreli baş ve bir hücreli uzun saplı kapitat salgı tüyleri seyrek olarak bulunmaktadır (Şekil 3F). Ayrıca yapraklarda seyrek fincan şekilli kapitat salgı tüyleri de gözlenmiştir (Şekil 3G). Çok yoğun yıldızlı ve çok dallı dendroid tüyler ve peltat salgı tüyleri görülmüştür (Şekil 3 C, D, G ve Tablo 1). Yapraklarda yoğun kristal granülleri tespit edilmiştir (Şekil 5B). Ana damardan alınan kesitlerde merkezde büyük bir iletim demeti yer alır (Şekil 5D). Floem ve ksilem üzerinde 5-6 sıralı lamellar kollenkima görülmüştür.



Şekil 4. *Marrubium astracanicum* subsp. *astracanicum*'un petiyol enine kesiti A-B= Petiyolün genel yapısı, C=Petiyoldeki kollenkima ve endoderma, D=Petiyolün iletim demeti, e=epiderma, ku= kutikula, ko= kollenkima, p= parankima, f= floem, ks= ksilem, yt= yıldızlı tüy, en= endoderma, st= kapitat salgı tüyü, t= trake, sk= sklerenkima, ka= kambiyum.



Şekil 5. *Marrubium astracanicum* subsp. *astracanicum*'un yaprak enine ve yüzeysel kesitleri A= Yaprığın genel yapısı, B= Yapraktaki kristal granülleri, C= Alt epidermadaki stoma, D= Yaprığın ana damarı, ku= kutikula, üe= üst epiderma, pp= palizat parankimasi, sp= sünger parankimasi, p=parankima, ks= ksilem, f=floem, bt= basit tüy, ae= alt epiderma, kg= kristal granülleri, e= epidermis hücresi, s=stoma.

3.2. Toprak Örneklerinin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

M. astracanicum subsp. *astracanicum*'un toprak örnekleri, populasyonun homojen yayılış gösterdiği lokasyonlardaki, 5 farklı lokaliteden alınmıştır (Amasya, Çorum ve Samsun). Toprak örneklerinin pH ve CaCO₃ değerleri 6,50-7,88 ve % 0,78-4,59 arasındadır. Toprağın tuzluluk değerleri ise % 0,39-0,78 arasında olduğu bulunmuştur. Toprağın tekstür yapısı kumlu ve kumlu-tuzludur. Organik madde ve azot değerleri % 2,85-5,62 ve % 0,09-0,60 olarak tespit edilmiştir. Toprak örneklerinin potasyum ve fosfor değerlerinin ise 134,4-205,23 mg/kg ve 21,20-52,14 mg/kg olduğu belirlenmiştir (Tablo 3).

4. Tartışma

Vejetatif organlarının anatomik özellikleri, Lamiaceae familyasındaki taksonların karakterizasyonu için oldukça önemlidir (Metcalfe ve Chalk, 1950; Kahraman ve ark., 2010). Salgı tüylerinin tipi ve dağılımı (Werker, 2006), stoma tipi ve dağılımları ve diğer anatomik özellikler taksonlar hakkında önemli taksonomik bilgiler vermektedir (Venkateshappa ve Sreenath, 2013). Ayrıca

bu anatomik özellikler birçok taksonda filogenetik ilişkilerin aydınlatılmasında da önemli rol oynamaktadır (Pandey ve Misra, 2014). Bu makalede Lamiaceae familyasının taksonlarından olan *M. astracanicum* subsp. *astracanicum*'un anatomik, ekolojik ve tüy özellikleri ayrıntılı olarak verilmiş ve bu özelliklerin analiz sonuçları Tablo 2'de gösterilmiştir.

İncelenen taksonun kök enine kesitleri incelendiğinde, periderma 5-7 sıralıdır. Korteks parankimatik ve floem üzerinde sklerenkima hücre kümelerine rastlanmıştır. Kambiyum 3-4 sıralıdır. Kökte geniş bir öz bölgesi olup altıgen şekilli parankima hücrelerinden meydana gelmiştir. Benzer anatomik özelliklere *Marrubium cephalanthum* Boiss. & Noe subsp. *montanum* Akgül & Ketenoğlu (Akçin ve Camili, 2018), *Marrubium bourgaei* Boiss. and *Marrubium heterodon* (Benth) Boiss. Et Ball. (Büyükkartal ve ark., 2016) köklerinde de görülmüştür. Bu taksonun kök anatomik özellikleri yukarıda bahsedilen çalışmaların verileri ile paralellik göstermektedir.

Gövde enine kesitlerinin sonuçlarına bakıldığında, gövdenin dört köşeli bir yapıya sahip olduğu belirlenmiştir. Kollenkima tabakası gövdenin köşelerinde

13-15 sıralı ve gövdenin diğer bölümlerinde ise 3-4 sıralıdır. Korteksteki parankima 4-5 sıralı ve kloroplastsızdır. Sklerenkima 2-3 sıralı (genellikle 3 sıralı) hücrelerden meydana gelmiştir. Öz bölgesi altıgen ve yuvarlak şekilli parankima hücrelerinden oluşmuştur. Benzer gövde anatomik özelliklerine (gövdenin dört köşeli olması, korteks de kollenkima, parankima ve sklerenkima tabakaları) Batı Azerbeycan da yayılış gösteren Lamiaceae familyasının bazı üyelerinde (Hatamneia ve ark., 2008), *M. cephalanthum* subsp. *montanum* (Akçin ve Camili, 2018), *M. bourgaei* and *M. heterodon* (Büyükkartal ve ark., 2016) ve İran da yayılış gösteren bazı *Marrubium* taksonlarında (Talebi ve ark., 2019a), *Marrubium friwaldskyanum* Boiss. and *Marrubium peregrinum* L. (Gyuzeleva ve ark., 2022) gövdelerinde de rastlanmıştır. Gövdedeki korteks bölgesinin farklı dokulardan oluşmasının önemli olduğu Büyükkartal ve ark. (2016), Akçin ve Camili (2018) tarafında bildirilmiştir. Ayrıca, Kandemir ve ark. (2020) *Heliotropium* L. taksonları, Kandemir ve ark. (2022) *Fritillaria* taksonları ile yaptıkları çalışmalarda korteks de farklı sayıda kollenkima, parankima ve sklerenkima tabakasının bulunmasının türlerin ayrılmasında önemli anatomik karakterler olarak kullanılabilceğini rapor etmişlerdir. Bu taksonun korteksindeki kollenkima, parankima ve sklerenkima tabaka sayıları diğer *Marrubium* taksonlarından farklılık göstermektedir. Öz bölgesinde tek ve rafit kristallerine rastlanmıştır. Gövdedeki kapitat salgı tüyleri bir hücreli sap ve baş, bir hücreli sap ve iki hücreli başa sahiptir. Bu tüyler gövde de yoğun olarak tespit edilmiştir. Gövde de peltat salgı tüyleri ve basit örtü tüyleri seyrek olarak görülmüştür. Ancak gövde de dendroid ve marruboid tüyler gözlenmemiştir. Petiyol enine kesitlerine bakıldığında, epiderma hücreleri dörtgen şekilli ve seyrek papillalıdır. Kutikula kalın olup seyrek mikropapillalara sahiptir. Kollenkima 2-3 (genellikle 2) sıralı, parankima 4-5 (4) sıradan meydana gelmiştir. Petiyolün merkezindeki 2 iletim demeti vardır. Petiyolün uç kısımları hafif aşağıya doğru büküktür. Metcalfe ve Chalk (1979) ve Kandemir (2003) Lamiaceae familyasında petiyol yapısının taksonomik bakımdan önemli olduğunu vurgulamıştır. Petiyoldeki kollenkima ve parankima tabaka sayısındaki farklılıklar, kutikula üzerinde mikropapillaların bulunup bulunmaması, mikropapillaların seyrek ve yoğun olması ve petiyolün uç kısımlarının yapısı gibi özellikler değerli anatomik özellikler olarak tespit edilmiştir. Yıldızsı tüyler, bir hücreli kısa saplı ve bir hücreli başlı kapitat ve peltat salgı tüyleri yoğun olarak gözlenmiştir. Basit ve dendroid tüyler seyrek olarak bulunmuştur. Yaprakların kutikula tabakası kalın ve mikropapillasızdır. Üst ve alt epidermis hücreleri dikdörtgen şekilli ve papillalara rastlanmamıştır. Mezofil bifasiyal yapıda olup palizat parankiması 1 sıralı ve çok uzun hücrelerden meydana gelmiştir. Sünger parankimasının 3-4 sıralı olduğu görülmüştür. Yaprakların yüzeysel kesitlerinde, stomalar anomositik tipte olup komşu hücre sayısı 4 olarak tespit edilmiştir. Stoma komşu hücrelerinin

kenarları kıvrımlıdır (undulate). Ana damardan alınan enine kesitlerde kollenkima 5-6 sıralıdır. Yaprakların enine kesitlerinin verilerine bakıldığında, benzer anatomik sonuçlara diğer *Marrubium* taksonlarında da belirlenmiştir (Büyükkartal ve ark., 2016; Tuylu ve ark., 2017; Akçin ve Camili, 2018; Talebi ve ark., 2019b; Gyuzeleva ve ark., 2022). Bu çalışmadaki yaprak enine kesitlerinden elde ettiğimiz sonuçlar yukarıda bahsedilen çalışmaların sonuçları ile paralellik göstermektedir. Yapraklarda yoğun çok dallı yıldızsı ve dendroid tüyler ve peltat salgı tüyleri görülmüştür. Kapitat salgı tüyelerinin bir hücreli baş ve sap kısmına sahip olan çeşidine yapraklarda yoğun olarak görülmüştür. İki hücreli baş ve bir hücreli kısa saplı kapitat salgı tüyleri, iki hücreli baş ve bir hücreli uzun saplı ve bir hücreli boyun kısmına sahip olan kapitat tüyleri yapraklarda nadir olarak tespit edilmiştir. Ayrıca bir hücreli basit tüylerde bulunmuştur. Bu taksonunun vejetatif ve generatif organlarında örtü ve salgı tüyelerine rastlanmıştır. Örtü tüyleri yıldızsı, dendroid, basit ve marruboid tüyler olmak üzere 4 çeşittir. Yıldızsı ve dendroid tüyler çok dallanma gösteren tüylerdir. Bu tip örtü tüyelerinin dallanma şekilleri, dal sayıları ve uzunlukları türler arasında ve hatta aynı türün organları arasında farklılık göstermektedir. Subsp. *astracanicum*'un gövde, yaprak, petiyol ve kaliksinde yoğun yıldızsı tüyler gözlenmiştir. Özellikle bu tip tüyler yapraklarda çok yoğun olarak bulunmaktadır. Basit ve marruboid tüyler dallanma göstermeyen tüylerdir. Bu tüyler bir ve çok hücreden oluşabilir. Bu çalışmada bir ve iki hücreli basit tüylerin ve bir hücreli oldukça uzun marruboid tüyelerinin varlığı tespit edilmiştir. Basit ve marruboid tüyler incelenen taksonun yaprak, petiyol ve kaliksin dış kısmında görülmüştür. Yukarıda bahsedilen örtü tüyleri diğer *Marrubium* türlerinde de saptanmıştır (Dmitruk ve Haratym, 2014; Büyükkartal ve ark., 2016; Ahvazi ve ark., 2016; Tuylu ve ark., 2017; Çalı, 2017; Akçin ve Camili, 2018; Gyuzeleva ve ark., 2022; Akbulut ve Baykan, 2023). İnceleme türlerinin vejetatif ve generatif organlarında kapitat ve peltat salgı tüyelerinin varlığı tespit edilmiştir. Kapitat salgı tüyelerinde sap ve baş bir hücreli, sap kısa, bir hücreli, baş iki hücreli, uzun sap ve boyun bir hücreli, baş bir ve iki hücrelidir. Gövde, petiyol ve yapraklarda yoğun olarak sap ve baş bir hücreden meydana gelmiş kapitat salgı tüyleri bulunmuştur. Diğer tip kapitat salgı tüyelerine daha fazla yaprakların alt ve üst yüzeylerinde nadir olarak rastlanmıştır. Peltat salgı tüyleri yaprak ve petiyolde yoğun olarak görülmüştür. Kapitat ve peltat salgı tüyelerine de bazı *Marrubium* taksonlarında rapor edilmiştir (Büyükkartal ve ark., 2016; Tuylu ve ark., 2017; Çalı, 2017; Akçin ve Camili, 2018; Gyuzeleva ve ark., 2022; Akbulut ve Baykan, 2023). *M. astracanicum* subsp. *astracanicum*'un vejetatif ve generatif organlarında görülen örtü ve salgı tüyelerinin tipleri, dallanma durumları, organlarda bulunma durumları, seyreklik ve yoğunluk gibi özellikleri bu taksonun diğer *Marrubium* taksonlarından ayır edilmesinde önemli taksonomik karakterler olarak kullanılabilceği kanaatindeyiz.

Toprak analiz sonuçlarına göre, takson hafif asidik ve hafif bazik, orta derecede tuzlu ve çok tuzlu, orta derecede kireçli, zengin ve çok zengin organik madde içeren, azot bakımından orta ve azotça zengin, potasyum ve fosfor bakımından zengin topraklara sahip alanlarda tespit edilmiştir. Tekstür bakımından toprak kumlu ve kumlu-tuzlu olarak saptanmıştır. Benzer toprak analiz sonuçları *Iris* L. (Kandemir ve ark., 2011), *Scilla* L. (Kandemir ve ark., 2018), *Symphytum* L. (Yakupoğlu ve ark., 2020) taksonlarında da belirlenmiştir.

5. Sonuç

Kökteki periderma tabaka sayısı, öz bölgesinde primer ksilemin bulunup bulunmaması, gövdedeki kollenkima, parankima ve sklerenkima tabaka sayısı, gövdenin köşelerindeki kollenkima tabaka sayısı, kristallerin olması ve tipleri, yapraklarda stoma tipi, stoma komşu hücrelerinin marjin yapısı, yaprağın mezofil yapısı, petiyoldeki kollenkima ve sklerenkima tabaka sayısı, yıldızsı, dendroid, marruboid tüylerinin varlığı ve yoğunluğu, kapitat ve peltat salgı tüylerinin varlığı ve yoğunluğu gibi özellikler taksonun diğer *Marrubium* taksonlarından ayrılmasında kullanılabilecek önemli anatomik karakterler olarak belirlenmiştir.

Katkı Oranı Beyanı

Yazar(lar)ın katkı yüzdesi aşağıda verilmiştir. Tüm yazarlar makaleyi incelemiş ve onaylamıştır.

	K.V.K.	N.K.
K	10	90
T	20	80
Y	50	50
VTI	60	40
VAY	40	60
KT	50	50
YZ	20	80
KI	40	60
GR	60	40
PY	50	50
FA	30	70

K= kavram, T= tasarım, Y= yönetim, VTI= veri toplama ve/veya işleme, VAY= veri analizi ve/veya yorumlama, KT= kaynak tarama, YZ= Yazım, KI= kritik inceleme, GR= gönderim ve revizyon, PY= proje yönetimi, FA= fon alımı.

Çatışma Beyanı

Yazarlar bu çalışmada hiçbir çıkar ilişkisi olmadığını beyan etmektedirler.

Etik Beyan

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. Hayvanlar ve insanlar üzerinde çalışma yapılmadığı için bu çalışma için

etik kurul onayı gerekmemektedir.

Bilgilendirme ve Teşekkür

Bu çalışma Kamer Volkan Koçak'ın yüksek lisans tez çalışmasından üretilmiştir.

Kaynaklar

- Ahvazi M, Jamzad Z, Balali GR, Saeidi H. 2016. Trichome micro-morphology in *Marrubium* L. (Lamiaceae) in Iran and the role of environmental factors on their variation. *Iran J Bot*, 22(1): 39-58.
- Akbulut TD, Baykan S. 2023. Ege Bölgesi'nde yayılış gösteren *Marrubium* L. (Lamiaceae) taksonlarının morfolojik ve mikroforfolojik yönden incelenmesi. *Ank Ecz Fak Derg*, 47(1): 51-75.
- Akçin TA, Camili B. 2018. Anatomical and Micromorphological Investigations on Turkish Endemic *Marrubium cephalanthum* subsp. *montanum* (Lamiaceae). *J Int Environ Appl Sci*, 13(2): 97-104.
- Akgül G, Selvi B. 2014. A new species of *Marrubium* L. (Lamiaceae) from southwestern Anatolia, Turkey. *Ot Sist Bot Derg*, 21(2): 15-22.
- Aytaç Z, Akgül G, Ekici M. 2012. A new species of *Marrubium* (Lamiaceae) from Central Anatolia, Turkey. *Turk J Bot*, 36(5): 443-449.
- Büyükkartal HN, Çölgeçen H, Akgül G. 2016. Comparative leaf, stem and root anatomy of taxa *Marrubium bourgaei* and *Marrubium heterodon* (Lamiaceae). *Aust J Crop Sci*, 10(11): 1516-1522.
- Celep F, Dirmenci T. 2017. Systematic and Biogeographic overview of Lamiaceae in Turkey. *Nat Vol Essent Oil*, 4(4): 14-27.
- Cullen J. 1982. *Marrubium* L. In: Davis PH, Edmondson JR, Mill RR, Tan K, editors. *Flora of Turkey and the East Aegean Islands*. Edinburgh University Press, Edinburgh, UK, pp: 165-178.
- Çalı İÖ. 2017. Glandular trichomes in *Marrubium cephalanthum* ssp. *montanum* (Lamiaceae) growing in Turkey. *Int J Agric and Biol*, 19(4): 697-700.
- Çelebioğlu S, Baytop T. 1949. A new reagent for microscopical investigation of plant. *Publication Inst Pharmacognosy*, 10: 301.
- Dirmenci T. 2012. *Marrubium* L. In: Güner A, Aslan S, Ekim T, Vural M, Babaç MT, editors. *Türkiye Bitkileri Listesi (Damarlı Bitkiler)*. Nezahat Gökyiğit Botanik Bahçesi ve Flora Araştırmaları Derneği Yayını, İstanbul, Türkiye, pp: 559-561.
- Dmitruk M, Haratym W. 2014. Morphological Differentiation of Non-Glandular and Glandular Trichomes on *Marrubium vulgare* L. *Mod Phytomorphol*, 6: 85.
- Estilai A, Hatemi A. 1990. Chromosome number and meiotic behavior of cultivated chia, *Salvia hispanica* (Lamiaceae). *Hortscience*, 25(12):1646-1647.
- Fırat M. 2016. *Marrubium eriocephalum* (Lamiaceae); A species new to the flora of Turkey, with contributions to its taxonomy. *Phyto Keys*, 58(1): 9-20.
- Gyuzuleva DP, Stoyanov P, Bivolarska AV, Mladenov RD, Mladenova TR, Petkov VH, Todorov KT. 2022. Anatomical Investigation of *Marrubium friwaldskyanum* Boiss. and *Marrubium peregrinum* L. (Lamiaceae) from Bulgaria. *Ecol Balk*, 14(1): 87-101.
- Haratym W, Weryszko-Chmielewska E. 2017. Ultrastructural and histochemical analysis of glandular trichomes of *Marrubium vulgare* L. (Lamiaceae). *Flora*, 231: 11-20.
- Hedge IC. 1992. A Global survey of the biogeography of the Labiatae. In: Harley RM, Reynolds T, editors. *Advances in Labiatae Science*. Royal Botanic Gardens, Kew, UK, pp: 7-17.

- Kaçar B. 1995. Toprak analizleri. bitki ve toprağın kimyasal analizleri: III. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Eğitim Araştırma ve Geliştirme Vakfı Yayınları, Ankara, Türkiye, pp: 705.
- Kahraman A, Celep F, Doğan M. 2010. Anatomy, trichome morphology and palynology of *Salvia chrysophylla* Stapf (Lamiaceae). S Afr J Bot, 76: 187-205.
- Kandemir N, Çelik A, Shah SN, Razzaq A. 2020. Comparative micro-anatomical investigation of genus *Heliotropium* (Boraginaceae) found in Turkey. Flora, 262: 151495.
- Kandemir N, Çelik A, Sürücü A. 2011. Ecological response of some *Iris* L. taxa (Iridaceae) in Turkey. Bangl J Bot, 40: 177-184.
- Kandemir N, Çelik A, Ullah F. 2022. Comparative micro-anatomical features of endemic *Fritillaria* taxa growing in the Mediterranean region (Turkey). Flora, 290(2): 152049.
- Kandemir N, Çelik A, Yayla F. 2018. Ecological Properties and Close Relationships of Some *Scilla* L. Taxa (Asparagaceae) in Turkey, Int J Agric and Biol, 20(2): 307-314.
- Kandemir N. 2003. The morphological anatomical and karyological properties of endemic *Salvia hypargeia* Fich. & Mey. (Lamiaceae) in Turkey. Pak J Bot, 35(2): 219-236.
- Kandemir N. 2011. Trichomes on *Salvia pomifera* (Lamiaceae) in Turkey, Bot Lith, 17(1): 3-11.
- Metcalf CR, Chalk L. 1950. Anatomy of Dicotyledons, (1th edit.). Oxford University press, Oxford, UK, , pp. 725.
- Metcalf CR, Chalk L. 1979. Anatomy of the Dicotyledons, (2nd edit.). Oxford University press, Oxford, UK, pp: 276.
- Meyre-Silva CH, Cechinel-Filho V. 2010. A review of the chemical and pharmacological aspects of the genus *Marrubium*. Curr Pharm Des, 16: 3503-3518.
- Navarro T, El Oualidi J. 2000. Trichome morphology in *Teucrium* L. (Labiatae). A taxonomic review. An Jard Bot Madr, 57(2): 277-297.
- Osman AK. 2012. Trichome micromorphology of Egyptian *Ballota* L. (Lamiaceae) with emphasis on its systematic implication. Pak J Bot, 44(1): 33-46.
- Öztürk F, Gökhan KÖ. 2021. *Marrubium* türlerinin Mersin arıcılığındaki yeri ve önemi. Mas Japs Sci, 6(3): 502-507.
- Pandey S, Misra S. 2014. Taxonomy of angiosperms. Ane Books. New Delhi, India, pp: 620.
- Selvi S, Polat R, Çakılcıoğlu U, Celep F, Dirmenci T, Ertuğ ZF. 2022. An ethnobotanical review on medicinal plants of the Lamiaceae family in Turkey. Turk J Bot, 46(4): 283-332.
- Seyedi Z, Salmaki Y. 2015. Trichome morphology and its significance in the systematic of *Phlomis* (Lamiaceae; Lamioideae; Phlomideae). Flora, 213: 40-48.
- Talebi S, Sheidai M, Ariyanejad F, Matsyura A. 2019a. Stem anatomical study of some Iranian *Marrubium* L. species. Biodiversitas, 20(9): 2589-2595.
- Talebi SM, Sheidai M, Ariyanejad F. 2019b. Investigation of leaf anatomical structure variation among different populations of *Marrubium anisodon* C. Koch in Iran. J Cell Tiss, 9(4): 388-397.
- Tuylu M, Büyükkartal HN, Akgül G, Kalyoncu H. 2017. *Marrubium lutescens* Boiss. ve *M. cephalanthum* Boiss. & Noë subsp. *akdaghicum* (Lamiaceae)'un gövde ve yaprak özelliklerinin anatomik olarak karşılaştırılması. SDÜ Fen Bil Enst Derg, 21(1): 113-117.
- Uma MM, Düzenli A. 2012. Bitki toplama, teşhis ve herbarium teknikleri. ÇÜ Fen Müh Derg, 28(3): 153-162.
- Venkateshappa SM, Sreenath KP. 2013. Some Species of Lamiaceae Comparative Anatomical Studies. Indo Am J Pharma Res, 3 (11): 9249-9254.
- Werker E. 2006. Function of essential oil- secreting glandular hairs in aromatic plants of Lamiaceae a review. Flavour Fragr J, 8(5): 249-255.
- Yakupoğlu H, Kandemir N, Cansaran A. 2020. Investigation of anatomical, ecological and trichome morphological features of two endemic *Symphytum* species, BEU J Sci, 9(3): 1006-1023.
- Yousefi K, Fathiazad F, Soraya H, Rameshrad M, Maleki-Dizaji N, Garjani A. 2014. *Marrubium vulgare* L. methanolic extract inhibits inflammatory response and prevents cardiomyocyte fibrosis in isoproterenol-induced acute myocardial infarction in rats. Bioimpacts, 4(1): 21-27.
- Yousefi K, Hamedeyazdan S, Torbati M, Fathiazad F. 2016. Chromatographic fingerprint analysis of marrubiin in *Marrubium vulgare* L. via HPTLC technique. Adv Pharm Bull, 6(1): 131-136.



CLUSTERING OF PRECIPITATION IN THE BLACK SEA REGION WITH BY FUZZY C-MEANS AND SILHOUETTE INDEX ANALYSIS

Gürkan KIR¹, Ashı ÜLKE KESKİN¹, Utku ZEYBEKOĞLU^{2*}

¹Ondokuz May University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, 55139, Samsun, Türkiye

²Sinop University, Boyabat Vocational School of Higher Education, Department of Construction, 57200, Boyabat, Sinop, Türkiye

Abstract: In recent years, there has been a noticeable increase in the number of disasters caused by the effects of global climate change. In this context, various studies are carried out in our country and in the world in order to reduce the effects of climate change. The classification of regions affected by climate change into similar classes in terms of climate parameters is important in terms of applying similar methods in studies to be carried out in these regions. Thus, a correct strategy will be determined in the studies to be carried out in order to reduce the effects of climate change. The observation records evaluated within the scope of the study were used from 31 stations in the Black Sea Region of the Turkish State Meteorological Service, covering the period between 1982 and 2020. Cluster analysis was carried out using the Fuzzy C-Means. As a result of the study, the optimum cluster among the clusters formed by Fuzzy C-Means was determined by Silhouette index analysis. The optimal number of clusters is suggested as 4.

Keywords: Fuzzy C-Means, Clustering, Silhouette analysis, Precipitation

*Corresponding author: Sinop University, Boyabat Vocational School of Higher Education, Department of Construction, 57200, Boyabat, Sinop, Türkiye

E mail: utkuz@sinop.edu.tr (U. ZEYBEKOĞLU)

Gürkan KIR



<https://orcid.org/0000-0001-8156-9431>

Ashı ÜLKE KESKİN



<https://orcid.org/0000-0002-9676-8377>

Utku ZEYBEKOĞLU



<https://orcid.org/0000-0001-5307-8563>

Received: May 13, 2023

Accepted: June 02, 2023

Published: July 01, 2023

Cite as: Kır G, Ülke Keskin A, Zeybekoğlu U. 2023. Clustering of precipitation in the Black Sea Region with by Fuzzy C-Means and Silhouette Index analysis. BSJ Eng Sci, 6(3): 210-218.

1. Introduction

Climate, which is defined as the extreme values of various meteorological parameters such as precipitation, temperature, and wind, is the collective state of the atmosphere for a particular location in a given time period (Demircan et al., 2017). It was accepted that there was no change in the long-term averages of the parameters of this collective structure until the mid-1950s. As we move towards the 20th century, rapid developments in the field of industry; It has caused the unplanned consumption of natural resources, the increase in environmental pollution in proportion to the number of people, and the emission of intense greenhouse gases into the atmosphere. In this direction, the greenhouse gas, which has the ability to retain heat in the atmosphere, has started to cause changes in climate parameters over time. These changes in climate parameters are called global climate change (Türkes, 2010; Özkoca 2015; Çıtakoğlu et al. 2017).

Climate change on a global scale shows its effects locally in the form of different disasters such as floods, droughts, and storms. It is known that there has been an increase in the number of natural disasters with the effect of global climate change, which has been the subject of many articles in recent years. The increase in natural disasters can also pave the way for technological disasters. At this point, it was stated that community education and resilience are important. It is seen that the

increasing effect of the disasters affects the society economically and socially. In this context, regardless of the cause and type of the disaster, it is clear that it should be managed holistically, as in the modern disaster management approach (Çelik et al., 2020; Gunduz 2022; Usta 2023). In this direction, the studies carried out to understand climate change and to take measures in this context are also gaining importance. Classification of regions that are similar in terms of climatic parameters; It is thought that it will contribute to different studies such as combating climate change, protecting water resources and planning land use. Erinç (1949) classified the precipitation and temperature data from 53 meteorological stations in Türkiye for 4 different climate zones using the Thornthwaite method. With this study, the regional and detailed classification of Türkiye's geography with sufficient data was carried out for the first time. Türkes (1996) classified the precipitation data of Türkiye with the help of the Normalization Procedure method proposed by Kraus in 1977. In the study, in which the aspirations of the 1930-1993 period were used, 7 different regions were determined. Kulkarni and Kripalani (1998) determined similar classes of Indian precipitation data using the Fuzzy C Mean method. Using the precipitation data for the 1871-1984 period, 306 meteorological observation stations were divided into 4 different clusters. Unal et al. (2003) determined the similar classes of temperature and precipitation data



covering the period 1951-1998 in Türkiye with 5 different clustering methods. In the study where Single Connection, Full Connection, Center, Ward's Minimum Variance and Average Distance methods were used, it was stated that the most effective method was Ward's method. Soltani and Modarres (2006) divided the precipitation data of 28 meteorological stations in Iran into similar classes with the help of hierarchical and non-hierarchical clustering methods. In the study in which 8 different classes were determined, Ward's method and K-Means algorithm were used. Sönmez and Kömüşcü (2008) used the K-Means algorithm in their study in which they determined the precipitation regions of Türkiye. In the study, in which monthly total precipitation series covering the years 1977-2006 obtained from 148 meteorology stations were used, 6 different precipitation regions were determined. Şahin (2009) used monthly average temperature, monthly relative humidity and monthly total precipitation data obtained from 150 meteorology stations to determine similar climate classes of Türkiye. Using the methods of Ward, Kohonen Artificial Neural Network and Fuzzy Artificial Neural Network, 7 different regions were determined. Dikbas et al. (2012) Using the Fuzzy C-Means method, 6 different precipitation regions were determined by using the 1967-1998 records of 188 stations in Türkiye. Şahin and Cıgızoğlu (2012) determined the sub-climate and sub-precipitation regime classes of Türkiye using the Ward method and Fuzzy Artificial Neural Network methods. Using the precipitation, temperature and humidity data of 232 meteorology stations in the 1974-2002 period, 7 precipitation regime regions and 7 climate regions were determined. Firat et al. (2012) used the K-Means method to determine the classes of the annual total precipitation, which was measured at 188 precipitation observation stations in Türkiye and covering the period between 1967 and 1998, with 7 different similar characteristics. Iyigun et al. (2013) using the Ward method, performed a cluster analysis study with precipitation, temperature, and relative humidity data. It was obtained from 244 meteorology stations in Türkiye and its period covers the years 1970-2010. As a result of the study, 14 different clusters were identified. Rau et al. (2017) divided the precipitation data of the Peruvian Pacific slope and coast into regions with similar characteristics. Using the Regional Vector Method and K-Means algorithm, 9 different precipitation regions were determined. Zeybekoğlu and Ülke Keskin (2020) realized the clustering analysis by adding the latitude, longitude and height values of the observation stations to the precipitation intensity series using the Fuzzy C-Means algorithm. It has been determined that 95 meteorological observation stations in Türkiye form 5 different clusters. According to the literature search, many studies have been carried out in the country and abroad on the determination of climate classes. When these studies are examined, it is seen that mostly precipitation and

temperatures are emphasized as climate parameters. In addition, the evaluation of the results obtained by using Fuzzy C-Means and K-Means together with Silhouette analysis is not very common in climate studies (Kır, 2021). In this direction, the aim of this study is to create a cluster of stations with similar characteristics through the K-means algorithm by using the precipitation records of the meteorological observation stations in the Black Sea Region. In the analyzes performed for different cluster numbers with the Fuzzy C-Means algorithm, the most appropriate number of clusters was determined by Silhouette index analysis.

2. Materials and Methods

2.1. Study Area

In this study, precipitation records recorded between 1982 and 2020 (39 years) in 31 observation stations operated by the Turkish State Meteorological Service in the Black Sea Region were used. For the provided data to be statistically sufficient, attention was paid to have a record length of at least 30 years (Kite, 1991).

Meteorological stations used in the study are in 17 different provinces in the Black Sea Region. 11 of the stations are in the Western Black Sea (Duzce, Akçakoca, Bolu, Zonguldak, Bartın, Amasra, Kastamonu, İnebolu, Bozkurt, Tosya, Sinop), 10 of them are in the Central Black Sea (Samsun, Bafra, Çorum, Osmancık, Amasya, Merzifon, Tokat, Zile, Ordu, Ünye), the remaining 10 are located in the Eastern Black Sea Region (Giresun, Şebinkarahisar, Trabzon, Akçaabat, Gümüşhane, Bayburt, Rize, Pazar, Artvin, Hopa).

In the Black Sea Region, where the precipitation regime is in the north-south direction, precipitation is observed in every season. Precipitation regimes can vary considerably in areas close to each other. While the average annual precipitation is 2284 mm in Rize, which is one of the provinces with the highest rainfall in the region, the average annual precipitation is 846 mm in Trabzon, which is right next to it. While the precipitation rate of the Black Sea Region is high in the east (Rize: 2284 mm; Hopa: 2329 mm), the precipitation rate in the Central Black Sea region decreases with the decrease in altitude (Samsun: 716 mm; Amasya: 465 mm; Çorum: 450 mm). In the Western Black Sea region, the precipitation rate increases again with altitude (Zonguldak: 1227 mm; Bartın: 1051 mm). In addition, when the data used in the study are evaluated, the average annual precipitation of the Black Sea Region is 901 mm. The geographical distribution of stations is shown in Figure 1. The geographical location information of the stations and the basic statistics of the data are given in Table 1 and Table 2.

When Table 2 is examined, the station with the lowest average annual total precipitation is Osmancık with 423.41 mm, while the station with the highest annual total precipitation average is Hopa with 2329.73 mm.

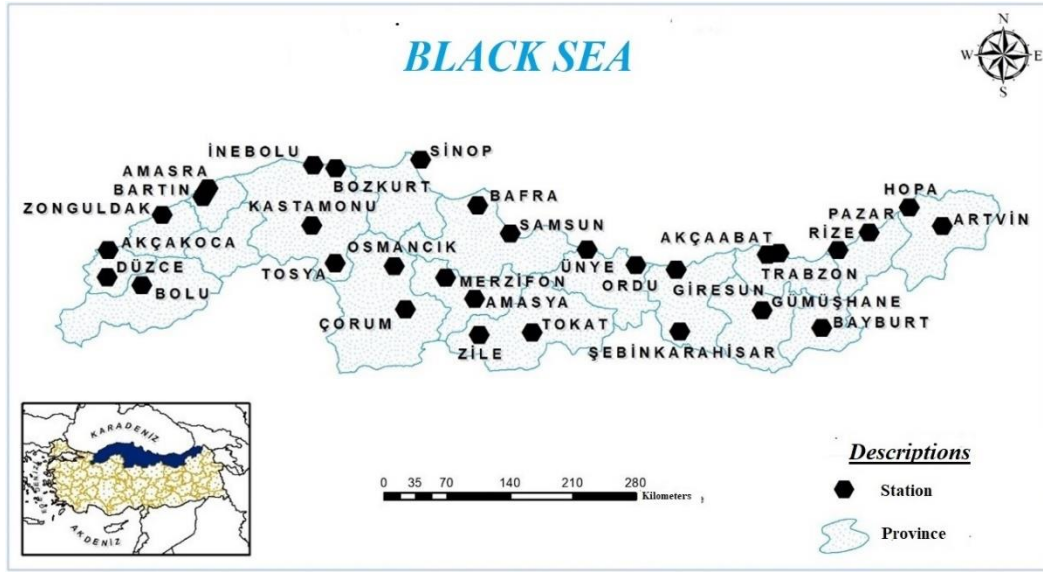


Figure 1. Distribution of stations in geography.

Table 1. Geographical location information of stations

Province	Station	Latitude (N)	Longitude (E)	Altitude (m.)
Düzce	Düzce	40°50'37.3"	31°08'55.7"	146
	Akçakoca	41°05'22.2"	31°08'14.6"	10
Bolu	Bolu	40°43'58.4"	31°36'07.9"	743
Zonguldak	Zonguldak	41°26'57.3"	31°46'40.5"	135
Bartın	Bartın	41°37'29.3"	32°21'24.8"	33
	Amasra	41°45'09.4"	32°22'57.7"	73
Kastamonu	Kastamonu	41°22'15.6"	33°46'32.2"	800
	İnebolu	41°58'44.0"	33°45'49.0"	64
	Bozkurt	41°57'34.9"	34°00'13.3"	167
Çorum	Tosya	41°00'47.5"	34°02'12.1"	870
	Çorum	40°32'46.0"	34°56'10.3"	776
Sinop	Osmançik	40°58'43.3"	34°48'04.0"	419
	Sinop	42°01'47.6"	35°09'16.2"	32
Amasya	Amasya	40°40'00.5"	35°50'07.1"	409
	Merzifon	40°52'45.5"	35°27'30.6"	754
Samsun	Samsun	41°20'39.0"	36°15'23.0"	4
	Bafra	41°33'05.4"	35°55'28.9"	103
Tokat	Tokat	40°19'52.3"	36°33'27.7"	611
	Zile	40°17'45.6"	35°53'25.8"	719
Ordu	Ordu	40°59'01.7"	37°53'08.9"	5
	Ünye	41°08'34.8"	37°17'34.8"	16
Giresun	Giresun	40°55'21.7"	38°23'16.1"	38
	Şebinkarahisar	40°17'13.9"	38°25'09.5"	1364
Gümüşhane	Gümüşhane	40°27'35.3"	39°27'55.1"	1216
Trabzon	Trabzon	40°59'54.6"	39°45'53.6"	25
	Akçaabat	41°01'57.0"	39°33'41.4"	3
Bayburt	Bayburt	40°15'16.9"	40°13'14.5"	1584
Rize	Rize	41°02'24.0"	40°30'04.7"	3
	Pazar	41°10'39.7"	40°53'57.5"	78
Artvin	Artvin	41°10'30.7"	41°49'07.3"	613
	Hopa	41°24'23.4"	41°25'58.8"	33

Table 2. Basic statistics of precipitation series (mm.)

Province	Station	Mean	Std. Dev.	Min.	Max.	Variance	Skewness
Düzce	Düzce	818.43	124.54	527.0	1084.9	0.15	0.05
	Akçakoca	1127.62	175.42	742.6	1460.7	0.16	-0.06
Bolu	Bolu	562.52	87.20	382.5	754.5	0.16	0.05
Zonguldak	Zonguldak	1226.74	187.03	818.8	1740.1	0.15	0.76
Bartın	Bartın	1051.11	161.86	753.1	1350.3	0.15	0.14
	Amasra	981.62	180.33	660.6	1412.6	0.18	0.53
Kastamonu	Kastamonu	521.17	119.95	338.2	870.5	0.23	0.93
	İnebolu	1053.78	136.43	728.0	1330.0	0.13	-0.26
	Bozkurt	1185.50	238.58	498.2	1595.7	0.20	-1.00
Çorum	Tosya	476.32	100.40	250.8	735.5	0.21	0.34
	Çorum	450.19	88.94	242.9	633.8	0.20	0.06
Sinop	Osmançık	423.41	117.67	234.6	794.4	0.28	0.82
	Sinop	718.52	133.87	333.3	1008.1	0.19	-0.30
Amasya	Amasya	465.32	88.68	293.4	682.0	0.19	0.58
	Merzifon	444.35	93.29	225.1	703.3	0.21	0.50
Samsun	Samsun	716.47	93.16	562.8	999.1	0.13	0.86
	Bafra	763.16	162.47	424.0	1141.4	0.21	0.37
Tokat	Tokat	444.26	72.10	313.3	593.0	0.16	0.09
	Zile	444.82	90.04	237.4	639.0	0.20	0.25
Ordu	Ordu	1058.36	128.71	787.2	1433.8	0.12	0.64
	Ünye	1185.51	160.85	906.6	1532.8	0.14	0.44
Giresun	Giresun	1308.07	170.71	970.7	1743.4	0.13	1.09
Gümüşhane	Şebinkarahisar	568.64	91.91	345.8	741.9	0.16	-0.12
	Gümüşhane	472.08	84.11	311.0	651.0	0.18	0.34
Trabzon	Trabzon	846.55	111.99	594.4	1044.6	0.13	-0.39
	Akçaabat	721.37	111.71	494.0	1017.4	0.15	0.32
Bayburt	Bayburt	464.34	75.35	318.2	614.6	0.16	-0.03
	Rize	2284.35	273.76	1694.0	3097.1	0.12	0.73
Rize	Pazar	2105.38	360.58	1326.8	2905.0	0.17	0.34
	Artvin	721.41	132.51	425.1	1005.9	0.18	-0.12
Artvin	Hopa	2329.73	372.30	1685.3	3379.5	0.16	1.07

2.2. Fuzzy C-Means Algorithm

The best-known fuzzy clustering algorithm is the Fuzzy C-Means clustering technique. It was introduced by Bezdek (Bezdek 1980; Bezdek et al., 1984) by replacing the exact clustering function. He came up with the idea of a blurring parameter (m), whose value ranges from [1,n] to n=2, which determines the degree of blurring in the clusters (Vani et al., 2019). The steps of the algorithm:

Step 1: Randomly initialize cluster center.

$$J_{KM}(X;V)=\sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^n D_{ij}^2 \tag{1}$$

Step 2: Construct a matrix of distances from a data point to each of the cluster centers using Equation 1 and Euclidean distance (Equation 2).

$$V_i=\frac{\sum_{j=1}^n u_{ij}^m x_j}{\sum_{j=1}^n u_{ij}^m}; 1 \leq i \leq c \tag{2}$$

Step 3: The membership matrix is calculated using Equation 3 and the blur parameter (Equation 4).

$$u_{ij}=\left(\sum_{k=1}^c \left(\frac{D_{ijA}}{D_{kjA}}\right)^{\frac{2}{m-1}}\right)^{-1}; 1 \leq i \leq c, 1 \leq j \leq n \tag{3}$$

$$J_{KM}(U,\lambda;X)=\sum_{i=1}^c \sum_{t=1}^T u_{it}^m d_{it}^2 \sum_{j=1}^n D_{ij}^2 \tag{4}$$

Step 4: Values of matrix U_{ij} must be less than or equal to ($U_{ij} \leq 1$)

Step 5: Calculate the new center of gravity.

Step 6: Optimize cluster hubs by creating new hubs.

Step 7: Cluster assignment for data points.

Input: x_1 , data vector; V_i is the center points of fuzzy sets; c , number of fuzzy sets; m is the blur parameter; U assigns each sample a Fuzzy membership value indicating the membership value to the n th set from a data sample; ϵ - stopping criterion; D_{ij} is the distance measure and n is the number of data points.

Output: Data points are assigned to appropriate clusters

Advantages of the Algorithm (Vani et al., 2019):

- For the overlapping dataset, FCM gives better results than k-Means.
- Each data point is assigned to each cluster center with a membership value, as a result, the data point can belong to more than one cluster center.

Disadvantages of the Algorithm (Vani et al., 2019):

- FCM requires the number of clusters to be specified in advance.
- The blurrier takes more iterations even with a lower value of 'm'.

2.3. Silhouette Index Analysis

In this method developed by Rousseeuw (1987), the suitability of each element in the data set to the cluster to which it is assigned is defined by the silhouette index value obtained between [-1 +1]. A positive silhouette index value indicates that the element is assigned to the correct cluster, while a negative value indicates that the element is assigned to the wrong cluster. The amount of the silhouette index value indicates the degree of membership in the cluster to which the element is assigned (For example, if the silhouette index value detected is +1, the element is assigned to the correct cluster. If it is -1, it is understood that the element is assigned to the wrong cluster). The silhouette index value is calculated by Equation 5 (Sönmez ve Kömüşçü, 2008; Günay Atbaş, 2008).

$$S(i) = \frac{\min\{b(i,m) - a(i)\}}{\max\{a(i), \min\{b(i,m)\}\}} \quad (5)$$

here, a(i); i. the average distance between the point and all other points in the same cluster. b(i,m); the average distance between the i. point and all the points in the m.

cluster.

3.

In

Wi

se

sta

ou

a c

th

sq

19

Th

th

pe

z=

he

of

z

is

de

fi

ne

is

de

fi

ne

is

de

fi

ne

is

de

fi

ne

is

de

fi

ne

is

de

fi

ne

is

de

fi

ne

is

de

fi

ne

is

de

fi

ne

is

de

fi

ne

is

de

fi

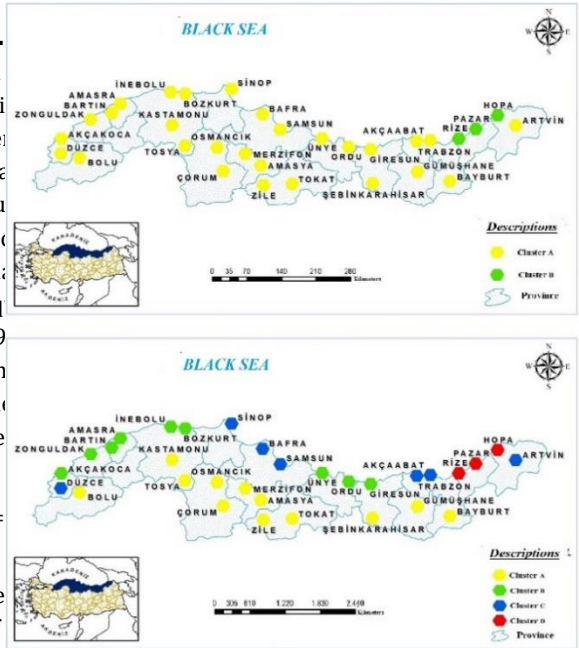


Figure 2. Geographical distribution of stations in each cluster.

Table 3. Summary of statistical information of clusters created by selecting cluster number 2 (mm.)

Cluster	Min.	Max.	Mean.	Std. Dev.
A	423.41	1308.07	757.92	293.15
B	2105.38	2329.73	2239.82	118.62

Table 4. Summary of statistical information of clusters created by selecting cluster number 3 (mm.)

Cluster	Min.	Max.	Mean.	Std. Dev.
A	423.41	818.43	566.49	135.95
B	846.55	1308.07	1102.49	133.00
C	2105.38	2329.73	2239.82	118.62

Table 5. Summary of statistical information of clusters created by selecting cluster number 4 (mm.)

Cluster	Min.	Max.	Mean.	Std. Dev.
A	423.41	568.64	478.12	47.42
B	981.62	1308.07	1130.92	103.93
C	716.47	846.55	757.99	53.98
D	2105.38	2329.73	2239.82	118.62

Table 6. Summary of statistical information of clusters created by selecting cluster number 5 (mm.)

Cluster	Min.	Max.	Mean.	Std. Dev.
A	423.41	568.64	478.12	47.42
B	981.62	1127.62	1054.50	51.68
C	716.47	846.55	757.99	53.98
D	2105.38	2329.73	2239.82	118.62
E	1185.50	1308.07	1226.46	57.78

The clusters obtained when 3-Cluster approach is selected are shown in Figure 2: Clusters A and B are separated as two subsets of cluster A in the previous distribution. It is seen that Rize, Pazar and Hopa, which maintain their integrity compared to the previous distribution, are assigned to cluster C. Thus, cluster A consists of 18 stations located in the West, Central and East Black Sea Regions. Cluster B consists of 10 stations located in the Western, Central and Eastern Black Sea coastal areas. Cluster C consists of 3 stations located only in the Eastern Black Sea coast. The maximum, minimum, mean, and standard deviation of the clusters are presented in Table 4.

If the 4-cluster approach in Figure 2 is evaluated: Rize, Pazar and Hopa stations are assigned to cluster D, keeping their integrity in the previous distribution. Here, Cluster A consists of 12 stations located in the inner parts of the Western, Central and Eastern Black Sea Regions. Cluster B consists of 9 stations located in the Western, Central and Eastern Black Sea coastal areas. Cluster C consists of 7 stations located in the West, Central and East Black Sea Regions. Cluster D consists of 3 stations located in the Eastern Black Sea coast. The maximum, minimum, mean, and standard deviation of the clusters are presented in Table 5.

If the 5-cluster approach in Figure 2 is evaluated: Cluster B and Cluster E are divided into two subsets of the Cluster B in the previous distribution. Thus, Cluster A consists of 12 stations located in the inner parts of the

Western, Central and Eastern Black Sea Regions. Cluster B consists of 5 stations located in the Western and Central Black Sea coastal areas. Cluster C consists of 7 stations located in the West, Central and East Black Sea Regions. Cluster D consists of 3 stations located in the Eastern Black Sea coast. Cluster E consists of 4 stations located in the Western, Central and Eastern Black Sea coastal areas. The maximum, minimum, mean, and standard deviation values of the clusters are presented in Table 6.

Clusters were determined using the FCM for each number of clusters starting from 2 to 5, which was determined as the maximum number of clusters. Silhouette index analysis was used to analyze the accuracy of the created clusters and to determine the optimum number of clusters. First, the silhouette index values of the results obtained for each cluster number were calculated. Then, the average silhouette index values and negative silhouette index numbers of each cluster were determined. The optimum number of clusters was determined according to the condition that the average silhouette index value is maximum and there is no negative silhouette index value. The average silhouette index values and negative silhouette index numbers for each cluster determined by FCM from the clusters 2 to 5 are presented in Table 7 and Figure 3, respectively.

Table 7. Results of the silhouette index analysis method for different cluster numbers

Number of clusters	2	3	4	5
Mean Silhouette Index Value	0.893	0.837	0.895	0.878
Number of Negative Silhouette Indexes	-	-	-	-

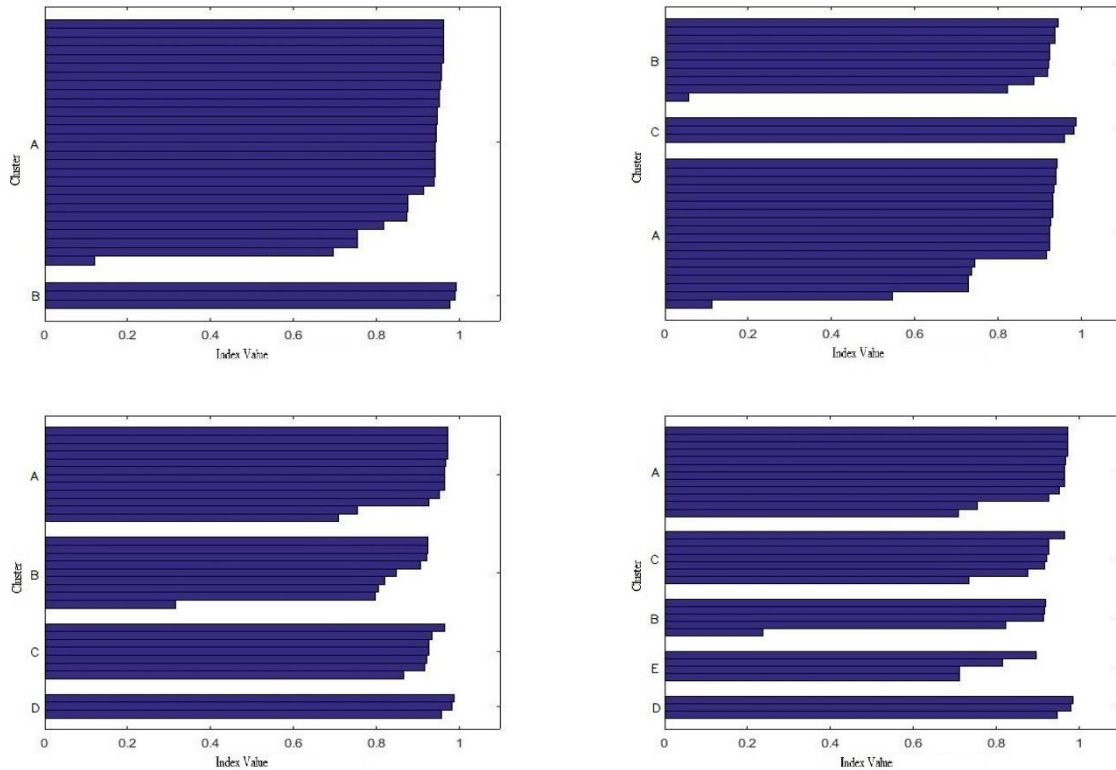


Figure 3. The silhouette index values of the stations in the clusters.

According to the results of the silhouette index analysis method presented in Figure 3 and Table 7, among the clusters created by using the precipitation values of the meteorology stations in the Black Sea region, the most suitable cluster number was suggested as the 4-cluster approach with the maximum mean silhouette index value.

4. Discussion and Conclusion

In this study, clusters with similar characteristics in terms of precipitation values of stations in the Black Sea Region were determined by using the K-Means algorithm. Cluster analysis was carried out for 4 different cluster numbers from 2 to 5, and the optimum number of clusters was determined using the Silhouette index analysis method. As a result of the analysis, Black Sea region stations were determined as 4 similar clusters in terms of precipitation characteristics, according to the FCM and Silhouette index analysis methods. When compared with the studies covering the Black Sea Region (Turkes, 1996; Unal et al., 2003; Iyigun et al., 2013; Ozturk et al., 2017; Zeybekoglu and Ulke Keskin, 2020), the methods used in the clustering analysis of the different clusters obtained, hydrometeorological parameters, parameters such as having different observation periods, sea effect, and the parallelism of the

mountains to the coast, mountainous and rugged. It is thought to be caused by regional geographical features.

As a continuation of this work:

- In addition to precipitation observations, it is recommended to determine climate classes with various combinations not included in the literature by including hydro-meteorological parameters such as temperature, wind speed, flow, humidity, and evaporation, as well as geographical location information.
- It is recommended to carry out clustering studies in Ward method, which is a hierarchical clustering algorithm, or hybrid clustering algorithms are also preferred.
- It is recommended that the cluster analysis study be carried out for other regions in the geography of Türkiye.
- In the modern understanding of disaster management, activities should be carried out to identify risks and hazards, to take all necessary precautions, to take responsibility for disasters and to raise awareness of all individuals who make up the society, in order to reduce or prevent the damages of disasters.

Author Contributions

The percentage of the author(s) contributions is present below. All authors reviewed and approved final version of the manuscript.

	G.K.	A.Ü.K.	U.Z.
C	40	30	30
D	40	30	30
S	40	30	30
DCP	40	30	30
DAI	40	30	30
L	40	30	30
W	40	30	30
CR	40	30	30
SR	40	30	30
PM	40	30	30

C=Concept, D= design, S= supervision, DCP= data collection and/or processing, DAI= data analysis and/or interpretation, L= literature search, W= writing, CR= critical review, SR= submission and revision, PM= project management.

Conflict of Interest

The authors declared that there is no conflict of interest.

Ethical Consideration

Ethics committee approval was not required for this study because of there was no study on animals or humans.

Acknowledgements

The authors sincerely acknowledge the Turkish State Meteorological Service for providing the precipitation data utilized in this study. The authors also, thank the reviewers for their constructive criticisms which have considerably improved this manuscript.

References

Bezdek JC, Ehrlich R, Full W. 1984. FCM: The fuzzy C-means clustering algorithm. *Comput Geosci*, 10(2-3): 191-203. DOI: 10.1016/0098-3004(84)90020-7.

Bezdek JC. 1980. A convergence theorem for the fuzzy ISODATA clustering algorithms. *IEEE Transact Pattern Analysis Machine Intel*, 2(1): 1-8. DOI: 10.1109/TPAMI.1980.4766964.

Çelik İH, Usta G, Yılmaz G, Usta M. 2020. An assessment on the technological disasters experienced in Turkey (between the years of 2000-2020). *Artvin Coruh Univ Int J Soc Sci*, 6(2): 49-57. DOI: 10.22466/acusbd.776580.

Çıtakoğlu H, Demir V, Haktanır T. 2017. L-momentler yöntemiyle Karadeniz'e dökülen akarsulara ait yıllık anlık maksimum akım değerlerinin bölgesel frekans analizi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniv Müh Bil Derg*, 6(2): 571-580. DOI: 10.28948/ngumuh.341711.

Demircan M, Arabacı H, Coşkun M, Türkoğlu N, Çiçek İ. 2017. İklim değişikliği ve halk takvimi: Maksimum sıcaklık desenleri ve değişimi. IV. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi, July 5-7, 2017, İstanbul, Türkiye, pp: 11.

Dikbas F, Firat M, Koc AC, Gungor M. 2012. Classification of precipitation series using fuzzy cluster method. *Int J Climatol*, 32(10): 1596-1603. DOI: 10.1002/joc.2350.

Erinç S. 1949. The climates of Turkey according to Thornthwaite's classifications. *Ann Assoc Am Geograp*, 39: 26-46. DOI: 10.2307/2561098.

Firat M, Dikbaş F, Koç AC, Güngör M. 2012. Classification of annual precipitations and identification of homogeneous regions using k-means Method. *Tech J*, 23(113): 6037-6050.

Günay Atbaş AC. 2008. A study on determining the number of clusters in cluster analysis. MSc Thesis, Ankara University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Ankara, Türkiye, pp: 68.

Gündüz F. 2022. Lessons learned from the perspective of women and gender in disasters, the case of Haiti, and Japan earthquake. *IBAD J Soc Sci*, 12: 440-460. DOI: 10.21733/ibad.1039215.

İyigün C, Türkeş M, Batmaz İ, Yozgatlıgil C, Purutçuoğlu V, Kartal Koç E, Öztürk MZ. 2013. Clustering current climate regions of Turkey by using a multivariate statistical method. *Theor Appl Climatol*, 114: 95-106. DOI: 10.1007/s00704-012-0823-7.

Karahan H. 2011. Bölgesel yağış-şiddet-süre-frekans bağıntılarının diferansiyel gelişim algoritması kullanılarak elde edilmesi. TÜBİTAK (108Y299) Projesi Sonuç Raporu, Ankara, Türkiye.

Karahan H. 2019. Determination of Homogeneous Sub-Regions by Using intensity-duration-frequency relationships and cluster analysis: An application for the Aegean region. *Pamukkale Univ Muh Bilim Derg*, 25(8): 998-1013. DOI: 10.5505/pajes.2019.09365.

Kır G. 2021. Evaluation of the meteorological data of the Black Sea Region using clustering analysis methods. MSc Thesis, Ondokuz May University, Institute of Graduate Studies, Samsun, Türkiye, pp: 112.

Kite G. 1991. Looking for evidence of climatic change in hydrometeorological time series. *Western Snow Conference*, April 12-15, 1991, Juneau, Alaska, pp: 8-16.

Kulkarni A, Kripalani R. 1998. Rainfall patterns over India: Classification with fuzzy c-means method. *Theor Appl Climatol*, 59: 137-146. DOI: 10.1007/s007040050019.

Özkoca T. 2015. Trend analysis of hydrometeorological parameters at middle blacksea region coast band. MSc Thesis, Ondokuz May University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Samsun, Türkiye, pp: 89.

Öztürk MZ, Çetinkaya G, Aydın S. 2017. Köppen-Geiger iklim sınıflandırmasına göre Türkiye'nin iklim tipleri. *Istanbul Univ J Geography*, 35: 17-27. DOI: 10.26650/JGEOG295515.

Pal NR, Bezdek JC. 1995. On cluster validity for the fuzzy c-means model. *IEEE Transact Fuzzy Syst*, 3: 370-379. DOI: 10.1109/91.413225.

Rau P, Bourrel L, Labat D, Melo P, Dewitte B, Frappart F, Lavado W, Felipe O. 2017. Regionalization of rainfall over the Peruvian Pacific slope and coast. *Int J Climatol*, 37(1): 143-158. DOI: 10.1002/joc.4693.

Rousseeuw PJ. 1987. Silhouettes: A graphical aid to the interpretation and validation of cluster analysis. *J Comput Appl Math*, 20: 53-65. DOI: 10.1016/0377-0427(87)90125-7.

Şahin S, Çiğzoğlu HK. 2012. The sub-climate regions and the sub-precipitation regime regions in Turkey. *J Hydrol*, 450-451: 180-189. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2012.04.062.

Şahin S. 2009. Applying artificial neural networks on determining climate zones and comparison with the Ward's method. PhD Thesis, Istanbul Technical, Graduate School of Natural and Applied Sciences, İstanbul, Türkiye, pp: 347.

Soltani S, Modarres R. 2006. Classification of spatio temporal pattern of rainfall in Iran using a hierarchical and divisive cluster analysis. *J Spatial Hydrol*, 6(2): 1-12.

- Sönmez İ, Kömüşcü A. 2008. Redefinition rainfall regions using k-means clustering methodology and changes of sub period. *İklim Değiş Çevre*, 1: 38-49.
- Türkeş M. 1996. Spatial and temporal analysis of annual rainfall variations in Turkey. *Int J Climatol*, 16(9): 1057-1076.
- Türkeş M. 2010. Küresel iklim değişikliği: Başlıca Nedenleri, gözlenen ve öngörülen değişiklikler ve etkileri. *Uluslararası Katılımlı 1. Meteoroloji Sempozyumu*, May 10-12, 2010, Ankara, Türkiye, pp: 9-38.
- Ünal Y, Kındap T, Karaca M. 2003. Redefining the climate zones of Turkey using cluster analysis. *Int J Climatol*, 23: 1045-1055. DOI: 10.1002/joc.910.
- Usta G. 2023. Statistical analysis of disasters in the world (1900-2022). *Gümüşhane Univ J Soc Sci Inst*, 14(1): 172-186.
- Vani HY, Anusuya MA, Chayadevi ML. 2019. Fuzzy clustering algorithms-comparative studies for noisy speech signals. *Ictact J Soft Comput*, 9(3): 1920-1926. DOI: 10.21917/ijsc.2019.0267.
- Zeybekoğlu U, Ülke Keskin A. 2020. Defining rainfall intensity clusters in Turkey by using the fuzzy c-means algorithm. *Geofizika*, 37(2): 181-195. DOI: 10.15233/gfz.2020.37.8.
- Zhang Y, Wang W, Zhang X, Li Y. 2008. A cluster validity index for fuzzy clustering. *Info Sci*, 178: 1205-1218. DOI: 10.1016/j.ins.2007.10.004



DETERMINATION OF ENCOUNTER NORMS AND SOCIAL CARRYING CAPACITY OF YOZGAT ÇAMLIK NATIONAL PARK USING SIMULATION MODELING TECHNIQUE

Aykut RÜZGAR^{1*}, Metin DEMİR²

¹Atatürk University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Departments of Landscape Architecture, 25100, Erzurum, Türkiye


²Atatürk University Faculty of Architecture and Design, Departments of Landscape Architecture, 25100, Erzurum, Türkiye


Abstract: National parks are at the forefront where city people can satisfy their longing for nature. While the increase in the demands for green and soul has caused some questions for these areas, it has also prepared the ground for local governments to take protective-preventive measures. Yozgat Çamlık National Park has the title of being the first national park of Türkiye and is characterized as a rare piece of nature. This study calculated the carrying capacities of the scenic cruise route and picnic roads, the most intensive-use areas of Yozgat Çamlık National Park. To make the calculations, the National Park was visited frequently between January and December 2021-2022, and the most intense usage points were determined. Photographs of the determined points were taken, and six simulation images were created. The visitors using the National Park were asked to score between 1-6 on the simulation images that they felt comfortable and uncomfortable within the simulation images created by a survey study. The National Park's Social Carrying Capacity and Social Norm levels were calculated according to the scoring status. When the findings are evaluated, the Social carrying capacity of the Picnic area is 524 people, the Social Norms level is nine people, the Social Capacity is 84 people on the Scenic cruise route, and the Social Norms level is determined as ten people.

Keywords: Social norm, Social carrying capacity, Yozgat çamlık national park, Recreation

*Corresponding author: Atatürk University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Departments of Landscape Architecture, 25100, Erzurum, Türkiye

E mail: aykutrzgr@outlook.com (A. RÜZGAR)

Aykut RÜZGAR  <https://orcid.org/0000-0003-4610-0675>

Metin DEMİR  <https://orcid.org/0000-0001-9374-6079>

Received: February 21, 2023

Accepted: June 06, 2023

Published: July 01, 2023

Cite as: Rüzgar A, Demir M. 2023. Determination of encounter norms and social carrying capacity of yozgat çamlık national park using simulation modeling technique. *BSJ Eng Sci*, 6(3): 219-228.

1. Introduction

Recently, with the expansion of ecotourism activities, there has been an increase in air pollution, deformation in natural landscapes, and decline in ecosystems on a global scale, such as the endangerment of flora and fauna species. (Marsiglio, 2017; Agyeman, Yeboah and Ashie, 2019; Demir, 2019; Sobhani et al., 2022).

To supply the housing needs of the rapidly growing urban population, natural areas open to social use and forested areas near the city are destroyed. This situation causes the decrease and disappearance of the sites where urban people will provide their recreation needs (Onat, 1998; Demir, et al., 2017; Başaran et al., 2020).

National Parks are at the forefront of the areas where people will satisfy their longing for nature in the city. National parks are areas where people can relax, spend time with their families, view natural landscapes, and provide educational purposes. The increase in interest in national parks has paved the way for protective-preventive measures to be taken by the authorities. Priority has been given to protecting the current potential of these areas, considering sustainable values,

and transferring them to future generations. International Union for Conservation of Nature (IUCN,2011) When defining National Parks, "Parts of nature (land/sea) reserved for preserving the ecological integrity of one or more ecosystems for present and future generations, preventing the invasion and exploitation of natural environments, and optimizing science, education, recreational and visitor activities in harmony with the natural environment." defines it as (Şahbaz and Altınay, 2015; Demir and Özer, 2014; Koday and Kaymaz, 2017). National Park studies in Türkiye National Park areas were examined and determined within the forest law's scope dated 1956 and numbered 6831. For the first time in Türkiye, on 05.02.1958, Yozgat Çamlık National Park was given the status of Türkiye's first National Park. (Doğru and Aydın, 2020). Most of the National Parks in Türkiye have been defined as National Parks to protect their recreational resource values as well as their resource values (Sever, 1998).

National Parks are areas with vast recreational opportunities according to their unique landscape beauties, scientific qualities, national historical values, and other features. Mountaineering, camping, hiking, bird



watching, etc. These areas are deemed necessary for people to provide a healthy and happy life with these factors. These opportunities differ according to the characteristics of national parks and the cultural level of the countries (Sözen, 1974; Sever, 1998).

The frequent use of parks and natural areas has caused sustainability problems and new problems in managing these areas (Dias et al., 2004). In recent, the increased time allocated for leisure and entertainment has made carrying capacity a central research topic. (Grafe et al., 1984, Shelby and Heberlein, 1984, Stankey and McCool, 1984; Pereira Da Silva, 2002, Jurado et al., 2009).

Carrying capacity has been the subject of some differences in terms of concept and definition (Lindberg et al., 1997; Brown et al., 1997; Buckley, 1998; Papageorgiou and Brotherton, 1999; Saveriades, 2000; Simon et al., 2004; Ünlüönen and Tokmak, 2009). Although its conceptual meaning is intriguing, the information in the definitions and explanations cannot fully explain the subject and its meaning. Difficulties arising from both the definition and the fact of the concept make it challenging to determine the carrying capacity at a standard level. (Lindberg et al., 1997). For this reason, researchers have developed a capacity calculation method and planning strategies to manage the densities that push the capacity limit and optimize the effects caused by the negativity. (Ünlüönen and Tokmak, 2009).

Carrying capacity in nature areas was used for the first time in the literature by Hadwen and Palmer (1922) in rangeland management. The concept of carrying capacity was mentioned in this area as recreation and tourism areas. (Clarke, 2002; McCool and Lime, 2001; Göktuğ et al., 2013). On the other hand, Recreational carrying capacity determines the number of visitors and the types of recreational buildings determined for the use of the general area, which causes unacceptable picture deterioration on the physical, biological, and cultural resource values of any recreation view (McCool and Lime, 2001; Clarke 2002; Göktuğ et al., 2013; Caner and Demir, 2020).

It is possible to identify more than one behavior in a carrying capacity for a region. When determining the utilization capacity based on literature (Ceballos and Lascrain, 1996; Maldonado and Montagnini, 2005; Sayan et al., 2005; Sayan and Ortaçesme, 2005; Sayan and Atık, 2011; Göktuğ, 2011; Zacarias et al., 2011; Queiroz et al., 2014; de Sousa et al., 2014; Göktuğ and Arpa, 2016; Soyulu and Özkök, 2016; Göktuğ, et al., 2017; Erdemir, 2018; Kara et al., 2020; Göksu, 2022), the researchers have achieved effective results with the relevant work they have carried out.

The Computer Simulation Modeling Technique was developed to predict the magnitude of recreation groups according to the meeting places and types, and the model first came to the fore in Smith and Headly's (1975) "Wilderness Travel Simulation Model (WTSM) study. To give effective results in the computer architecture

structure, a face-to-face survey study was tried with the users of the area to calculate the carrying capacity.

The concepts of encounter, crowd, and norm have received significant attention in the literature. Perceived broad is an overly hypothetical and negative evaluation of a certain number of encounters (Shelby and Heberlein, 1984; Manning et al., 2002; Vaske and Shelby, 2008). Reported encounters are other people or the estimated number of times a person remembers a warning (Vaske and Donnelly, 2002). In measuring intensity, encounter norms typically consume as standards for consumption to restrict individuals from accepting more encounters with other people or objects (Manning, 2007; Shelby et al., 1996).

As a result of the increasing number of ecotourism destinations, it is subject to extensive negative impacts. With these potentials and physical properties, the calculation of bearing capacities should be emphasized so that the protection is not exposed to a load above the existing limits. The aim of this study; It will be able to give Social Carrying Capacity to determine the values of human encounters on the route of a picnic area and Landscape viewing points, which are the most intensive use areas of Yozgat Çamlık National Park. This study is a base for sustainable ecotourism planning, protection of cultural structure, human communities, decision-makers, and planners to make the right decisions.

2. Materials and Methods

Yozgat Çamlık National Park is located between 34° 48' 30,77" - 34° 49' 24,35" east longitudes and 39°47'54,31" - 39°48'52,54" north latitudes. The National Park is an area in the southern region of Yozgat province, which stands out with its black pine species and has the title of Türkiye's first national park. (Yozgat Çamlık National Park Development Plans, 2021), (Figure 1).



Figure 1. Location of the study area.

To determine the social carrying capacity in the areas most frequently used by the participants, separate simulation series was created for picnic areas and viewing points. The reason for choosing these areas is that the participants spend most of their time in these areas, and it is seen that there is a visitor density above

their current capacity (Figure 2).

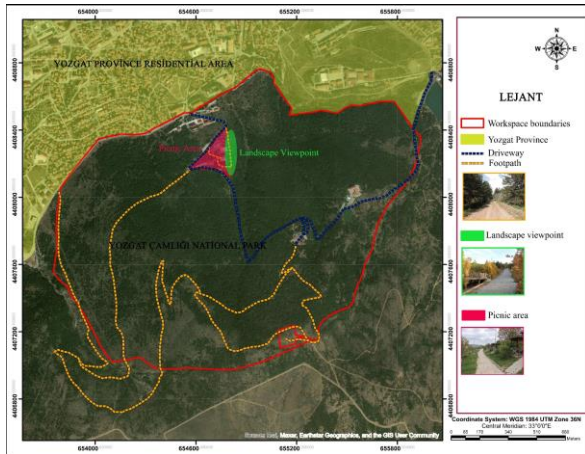


Figure 2. Yozgat Çamlık National Park.

The route length in the photo frame for the picnic area (Figure 3) is 23 meters, and the length of the viewpoints in the photo frame (Figure 4) is 70 meters. In creating each simulation image, the area in the photo frame is linearly increased by five people. In these simulation images, the tolerance levels of the participants participating in the survey were measured.



Figure 3. Simulation Images of the Picnic Area Prepared to Calculate the Social Carrying Capacity of the National Park.



Figure 4. Landscape viewing points Simulation Images Prepared to Calculate the Social Carrying Capacity of the National Park.

In order to measure the Social Carrying capacity, a face-to-face survey was conducted for the person using the National Park. The target audience of the survey is the people living in Yozgat Province. The expressions used by Özdamar (2003) were used to determine the sample size. The number of universe units was determined as 418,500 according to the 2021 population regulations announced by the Turkish Statistical Institute (TURKSTAT, 2021).

When the formula is examined (equation 1);

$$n = \frac{Npq(Z)^2}{(N-1)(d)^2} \quad (1)$$

N: Universe Unit number

n: Sample size

p: Observation rate of X in the universe

q (1-P): X's non-observation rate

Z_α: α= 0.05 for 1.96

D: sampling error

The Cronbach Alpha's test in the SPSS 20 program determined the scale's reliability. According to the result obtained from the formula developed by Özdamar (2003), the number of questionnaires to be applied to the participants was 384, with a margin of error of ±5 in the 95% confidence interval. According to the test result, Cronbach Alpha's scale value is 0.83. The fact that this value is more significant than 0.70 indicates that the reliability of the scale level is sufficient.

For the simulation images created by the questionnaire

applied to the participants, the participants were requested to score the simulation images created at the picnic area and scenic viewing points according to their acceptability levels. The participants in the survey asked the prepared simulation images three questions. In the first question, they were asked to score between 1-6 (1 unacceptable, 6 acceptable) according to their tolerance levels. In the second question, they were asked to give points to the image they felt most comfortable with in the simulation image prepared. Finally, they were asked to rate the photo frame they felt most uncomfortable with among the simulation images posed in the third question. The 'Bearing Capacity Estimation Method in Protected Areas' developed by Gökтуğ (2011) was used for digitizing the obtained simulation images. This method is expressed with a numerical formula, and the formula is given below (equation 2).

$$SCC = A \left(\frac{Z}{a} \right) Rf \quad (2)$$

A: Area of the Field

Z/a: Acceptable number of visitors in the photo*/ Size of the area in the photo

(*Preferred level represents the best level of participants' use of space).

Rf: Time the site is open daily/ average duration of a visit

It is aimed to use the resulting social relative norm. The social norm can be analyzed according to various characteristics, such as the minimum level of acceptability. The minimum acceptability level is the size of the point where the norming curve intersects with the neutral line to the value defined on the y-axis. Most of the investigated bring the minimum acceptability standard as the quality level of the obtained indicator. (Shelby and Heberlein, 1984; Vaske et al., 1993; Manning, 1999; Needham and Rollins 2005; Caner, 2018).

When Gökтуğ (2011) examined the steps in the order of operation of the model;

- The peak usage level and hours of the examined locations are determined by making on-site observations at different locations in the national park
- A series of simulations with separate viewing angles and area sizes are created, in which the intensity level of the areas in the captured photos increases and decreases linearly.
- Simulation images created to determine whether these places are crowded according to their visitors and their satisfaction level are asked as questions to the participants participating in the survey.
- It is desired to determine the ideal image (person/vehicle/group size) among the obtained simulation images.
- It is requested to determine the maximum usage level (maximum person/vehicle/group size) that can be tolerated from the simulation.

- It is requested to score between 6 (most acceptable) and 1 (Most unacceptable) according to the acceptability levels of the simulation images in a view frame. The scored survey data is plotted, and the 0 (zero) point (Neutral) is the optimum acceptability level.

The relationship between the area size seen in the obtained photo frames and the visitor preferences (ideal level, tolerance level, and optimum level) is interpreted.

The Normative Approach is a graphical representation that shows the averages of social norms (Figure 5). This chart is called the "social norm movement."

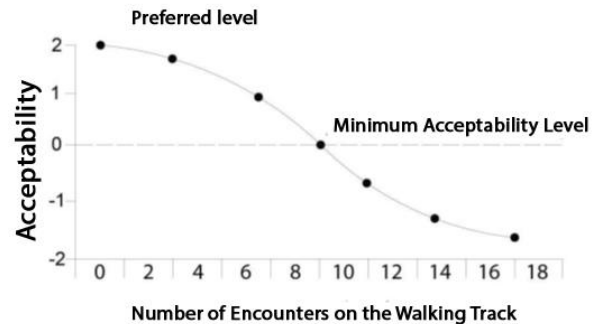


Figure 5. Social Norm Curve Graph (Manning et al., 1999; Caner, 2018).

The Computer Simulation Modeling Technique was developed to predict the size of recreation groups according to the meeting places and types. (Wang and Manning, 1999; Manning, 2002; Lawson et al., 2003a; Lawson et al., 2003b; Manning et al., 2005; Moore and Polley, 2007; Valliere and Manning, 2008; Jurado et al., 2009; Zacarias et al., 2011; Gökтуğ, 2011; Ceurvorst and Needham, 2012; Silva and Ferreira, 2013; Caner, 2018) has been successfully implemented by.

3. Results

An essential criterion in determining the social carrying capacity is visitors' time in the area. "How Many Hours Do You Spend in Yozgat Çamlık National Park?" The data obtained when the question was asked; 5.2% in 1 hour, 18% in 2 hours, 20.3% in 3 hours, 25% in 4 hours, 22.1% in 5 hours, 4.9% in 6 hours, 1% of them stated that they spent 7 hours, 1.3% of them 8 hours, and 2.1% of them spent 9 hours or more in the National Park. When the average of these values was taken, it was determined to be 3.78. It will be used to calculate the average social carrying capacity obtained (Table 1).

Table 1. The time spent by the participants using the Yozgat Çamlık National Park

How Many Hours Do You Spend in Yozgat Çamlık National Park?"	Person (N)	Percent (%)
1 hour	20	5.2
2 hours	69	18.0
3 hours	78	20.3
4 hours	96	25.0
5 hours	85	22.1
6 hours	19	4.9
7 hours	4	1.0
8 hours	5	1.3
9 hours or more	8	2.1

When the scores given for the picnic area according to the acceptability levels of the participants in the survey are examined, 1. Simulation image (42.4%), 2. Simulation image (12.2%), 3. Simulation image (17.4%), 4. Simulation image (8.6%), 5. Simulation image (5.2%) and finally 6, Simulation image (14.1%) results were obtained (Table 2). In other words, when the most acceptable images are ranked from the indecent images, 1. Simulation- 3. Simulation- 6. Simulation- 2. Simulation- 4. Simulation-5. It is in the form of a simulation.

The participants were asked which simulation images they would feel most comfortable with. It was determined that the most comfortable simulation image was the 1st simulation image, with 29.2% (Table 3). When the standard views of the individuals participating in the survey were examined, it was determined that the average of the section they felt most comfortable with was 2.96. This value corresponded to 3 people in the simulation images.

Table 2. Determination of Acceptability Levels of Simulation Images, Picnic area

Acceptability Variables	1 Points		2 Points		3 Points		4 Points		5 Points		6 Points	
	N	(%)	N	(%)	N	(%)	N	(%)	N	(%)	N	(%)
1. Simulation Image	93	24.2	34	8.9	25	6.5	28	7.3	41	10.7	163	42.4
2. Simulation Image	12	3.1	85	22.1	23	6.0	40	10.4	177	46.1	47	12.2
3. Simulation Image	8	2.1	8	2.1	75	19.5	187	48.7	39	10.2	67	17.4
4. Simulation Image	2	0.5	11	2.9	213	55.5	85	22.1	40	10.4	33	8.6
5. Simulation Image	18	4.7	22	5.7	34	8.9	26	6.8	66	17.2	20	5.2
6. Simulation Image	250	65.1	27	7.0	14	3.6	18	4.7	21	5.5	54	14.1

Table 3. Determining in which simulation image the participants feel comfortable

Which simulation image do you feel comfortable with?	Person (N)	Percent (%)
1. Simulation Image	112	29.2
2. Simulation Image	73	19.0
3. Simulation Image	77	20.1
4. Simulation Image	31	8.1
5. Simulation Image	22	5.7
6. Simulation Image	69	18.0

Among the simulation images created, the participants were asked, "If You Were Inside These Simulation Images, In Which One Would You Feel Uncomfortable." It was determined that the simulation image they felt most uncomfortable with was the 6th simulation image, with 56.5% (Table 4). When the everyday opinions of the individuals participating in the survey were examined, it was determined that the average of the part they felt uncomfortable with was 4.11. This value corresponded to 15 people in the simulation images.

The minimum acceptability level was determined after the scoring of the participants on the simulation images was analyzed. It was determined by calculating the average of the photo frame they felt most comfortable with from the simulation images created to determine

the minimum acceptability level and the standard of the simulation image they felt most uncomfortable accompanied by. The middle of the photos the participants felt most comfortable with was 2.96, and the average of the ideas they felt most uncomfortable with was 4.11. The standard of these simulation images; $(2.96+4.11) / 2$: 3.53 has been determined. On a per-person basis; $(3+15) / 2$: 9 in a person.

When the social norm graph of Yozgat Çamlık National Park was created, it was determined that the minimum acceptable number of people was three people, the average was nine people, and the maximum was 15 people. (Figure 6).

Table 4. Determining in which simulation image the participants felt uncomfortable

In which simulation image do you feel uncomfortable?	Person (N)	Percent (%)
1. Simulation Image	126	32.8
2. Simulation Image	11	2.9
3. Simulation Image	8	2.1
4. Simulation Image	5	1.3
5. Simulation Image	17	4.4
6. Simulation Image	217	56.5

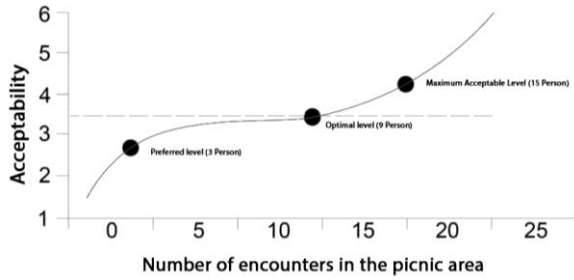


Figure 6. Social Norm Curve Graph for picnic areas.

When the social carrying capacity values of Yozgat Çamlık National Park are calculated (Table 5). The intensity and impact of visitors' encounters with each other were measured. The results determined the social

carrying capacity for the National Park picnic area as 262 people. Since there are two circulation times in the area, it is calculated to be 524 people.

When the carrying capacity of the study area at the scenic viewpoints is calculated; When the points given to the acceptability levels of the participants participating in the survey are examined (Table 6), The highest scores are respectively 1. Simulation (45.8%), 2. Simulation (6.5%), 3. Simulation (16.9%), 4. Simulation (8.3%), 5. Simulation (4,7%) and 6. Simulation (17.7%). In other words, when the most acceptable images are ranked from the inappropriate images, 1. Simulation- 6. Simulation- 3. Simulation- 4. Simulation- 2. Simulation-5. It is in the form of a simulation.

Table 5. Determination of Social Carrying Capacity (SCC) of Yozgat Çamlık National Park Picnic Area

Social Features	Yozgat Çamlık National Park
g _s : The daily time that the National Park is open to visitors (Hours)	12
A: Length of Field (m)	634 m
z _s : Average Visit Time at the Picnic Area (Hours)	3.78
Z/a: Acceptable number of visitors in the picture/ Size of the area in the picture	(3/23m)
SCC: $634 \times (3/23) \times (12/3.78) = 262$ person	

Table 6. Determination of Social Carrying Capacity of Yozgat Çamlık National Park, landscape viewpoints

Acceptability Variables	1 Points		2 Points		3 Points		4 Points		5 Points		6 Points	
	N	(%)	N	(%)	N	(%)	N	(%)	N	(%)	N	(%)
1. Simulation Image	99	25.8	32	8.3	19	4.9	30	7.8	28	7.3	176	45.8
2. Simulation Image	7	1.8	86	22.4	23	6.0	45	11.7	198	51.6	25	6.5
3. Simulation Image	6	1.6	5	1.3	82	21.4	196	51.0	30	7.8	65	16.9
4. Simulation Image	4	1.0	11	2.9	217	56.5	84	21.9	36	9.4	32	8.3
5. Simulation Image	14	3.6	228	59.4	31	8.1	14	3.6	79	20.6	18	4.7
6. Simulation Image	254	66.1	24	6.3	12	3.1	14	3.6	12	3.1	68	17.7

The participants were asked which of the simulation images created for the scenic viewpoints they would feel most comfortable with. Participants stated that they had the first simulation image with 33.9% (Table 7). When the standard views of the participants were examined, It was determined that the average of the section where they felt most comfortable was 2.88 for the scenic viewpoints. This value corresponds to 3 people in the simulation image.

Among the simulation images created for the viewpoints,

the participants were asked, "If You Were in These Simulation Images, In Which One Would You Feel Uncomfortable"? It was determined that the simulation image they felt most uncomfortable with was the sixth simulation image, with 59.5% (Table 8). When the everyday opinions of the individuals participating in the survey were examined, it was determined that the average of the part they felt uncomfortable with was 4.29. This value corresponded to 17 people in the simulation images.

Table 7. Determining in which simulation image the participants feel comfortable

Which simulation image do you feel comfortable with?	Person (N)	Percent (%)
1. Simulation Image	130	33.9
2. Simulation Image	64	16.7
3. Simulation Image	71	18.5
4. Simulation Image	31	8.5
5. Simulation Image	15	3.9
6. Simulation Image	73	19.0

Table 8. Determining in which simulation image the participants felt uncomfortable

In which simulation image do you feel uncomfortable?	Person (N)	Percent (%)
1. Simulation Image	111	28.9
2. Simulation Image	11	2.9
3. Simulation Image	6	1.6
4. Simulation Image	12	3.1
5. Simulation Image	15	3.9
6. Simulation Image	229	59.6

The minimum acceptability level was determined after the scoring of the survey participants on the simulation images created for the Landscape viewing points was analyzed. The average of the images the participants felt most comfortable with was 2.88, and the average of the images they felt most uncomfortable with was 4.29. The average of these simulation images $(2.88+4.29) / 2$: 3.58 has been determined. On a per-person basis, $(3+17) / 2$: 10 in a person.

When the social norm graph of Yozgat Çamlık National Park was created, it was determined that the minimum acceptable number of people was three, the average was ten, and the maximum was 17 (Figure 7).

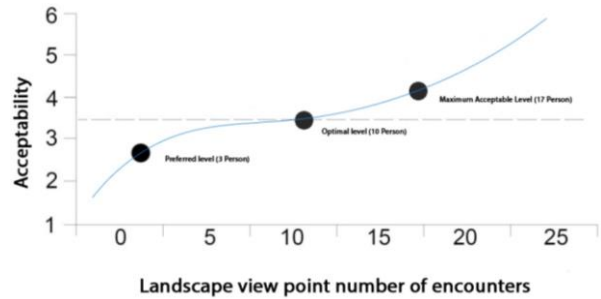


Figure 7. Social Norm Curve Graph for the Landscape viewing points route.

When the social carrying capacity values are calculated for the scenic viewing points of Yozgat Çamlık National Park (Table 9). The intensity and impact of the visitors' encounters with each other were measured. According to the results obtained, the social carrying capacity of the scenic viewpoints route of the National Park was determined as 42 people. It has been calculated that there are 84 people since there is circulation in the area twice.

Table 9. Social Carrying Capacity (SCC) of Landscape Viewing Points Route

Social Features	Yozgat Çamlık National Park
gs: The daily time that the National Park is open to visitors (Hours)	12
A: Length of Field (m)	307 m
zs: Average Visit Time at the Picnic Area (Hours)	3.78
Z/a: Acceptable number of visitors in the picture/ Size of the area in the picture	(3/70m)

SCC: $307 \times (3/70) \times (12/3.78) = 42$ Person.

4. Discussion and Conclusion

The increase in the demand for green areas to relax and find peace in the face of the difficulties brought by the urban life of the people causes pressure on these areas and overcapacity. In this context, carrying capacity has

become an increasingly important issue. Carrying capacity calculation methods determine the maximum, minimum, and optimal load that any area can handle. The carrying capacity should be calculated for the participants who visit the National Park to continue their

recreational activities in the area without interruption.

In determining the social carrying capacity, the carrying capacity was calculated on the route of the picnic areas and scenic viewing points in the National Park. For the computer simulation modeling technique used in the calculation, a simulation image was created from 6 serial photo frames. The participants' crowd perceptions and tolerance levels were measured with these photo frames. When the scores given by the participants to the simulation images were examined, it was determined that the image that made them feel most comfortable in the picnic area was the 1st Simulation image, with 29.2%. When the average of this value is taken, it is calculated that this number is 2.96, and the equivalent in the simulation image corresponds to 3 people. It was determined that the image they felt most uncomfortable with was the sixth simulation image, with 56.5%. When the average of this section was taken, it was 4.11, and the equivalent in the simulation image was 15 people $((3+15) / 3 = 9$ personal optimal level).

According to the data obtained in the simulation images created in the picnic areas, it was determined that the preferred number of people on the same route is three people, this capacity will not cause a decrease in the recreational experience, and when it reaches 15 people, the users will feel uncomfortable and want to leave the area.

The 15 people obtained are the crowd tolerance level of the participants on the same route. This value is valid for 23 meters length in simulation images. When the intensity and impact of the participants' encounters with each other are measured, the social carrying capacity of the picnic areas in Yozgat Çamlık National Park is 262 people. When evaluated daily, this value was calculated as 524 visitors/day.

When the social capacity was calculated on the scenic viewpoint route, it was determined that the image in which the participants felt most comfortable was the first simulation image, with 33.9%. The average of this value corresponded to 2.88 and 3 people. They feel most uncomfortable with the 6th Simulation image, with 59.5%. The average of this value was 4.29, which corresponds to 17 people on a person-to-person basis $((3+17) / 2 = 10$ personal optimal level).

According to these data, it has been determined that the number of people who preferred the same route on the scenic viewpoint route is 3. If this value reaches 17 people, the participants will want to leave the area uncomfortably.

The values obtained are generally seventeen people on the same route, which is the tolerance level for the crowd. This value is valid for the 70 m long view. The total social carrying capacity of the area is 42 people. When evaluated daily, this value was determined as 84 visitors/day. It is aimed that the area in the National Park, especially on weekdays with intensive use, exceeds this capacity.

Author Contributions

The percentage of the author(s) contributions is present below. All authors reviewed and approved final version of the manuscript.

	A.R.	M.D.
C	50	50
D	50	50
S	50	50
DCP	50	50
DAI	50	50
L	50	50
W	50	50
CR	50	50
SR	50	50
PM	50	50

C=Concept, D= design, S= supervision, DCP= data collection and/or processing, DAI= data analysis and/or interpretation, L= literature search, W= writing, CR= critical review, SR= submission and revision, PM= project management.

Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses, or interpretation of data; in the writing of the manuscript, or in the decision to publish the results.

Ethical Consideration

Study ethics committee decision; Atatürk University, Institute of Science and Technology (approval date: June 24, 2022, protocol code: E-60665420-000-2200188830, Session Number: 8, Decision No: 21).

References

- Agyeman YB, Yeboah AO, Ashie E. 2019. Protected areas and poverty reduction: the role of ecotourism livelihood in local communities in Ghana. *Commun Develop*, 50: 73–91.
- Başaran MA, Demir M, Ayhan Y, Ağyürek C, Okutucu MA, Öksüz S. 2020. Orman içi dinlenme yerlerini kullanan ziyaretçilerin talep ve beklentilerinin belirlenmesi: Erzurum örneği. *Türk J Biod*, 3(1): 32-42.
- Brown K, Turner RK, Hameed H, Bateman I. 1997. Environal carrying capacity and tourism development in the Maldives and Nepal. *Environ Conser*, 24(4): 316-325.
- Buckley R. 1998. Tools and indicators for managing tourism in parks. *Annals Tour Res*, 25(4): 208-210.
- Caner AM. 2018. Erzincan Girlevik Şelalesinin fiziksel ve sosyal taşıma kapasitesinin belirlenmesi. *Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, Türkiye*, ss: 140.
- Caner, AM, Demir M. 2020. Erzincan Girlevik Şelalesi ve yakın çevresinin fiziksel taşıma kapasitesinin belirlenmesi. *Kent Akad*, 13(41): 22-36.
- Ceballos-Lascurain H. 1996. Tourism, ecotourism, and protected areas: the state of nature-based tourism around the world and guidelines for its development. *World Conservation Union, New York, USA, Gland: IUCN*, pp: 301.
- Ceurvorst RL, Needham MD. 2012. Is Acceptable really acceptable? Comparing two scales for measuring normative evaluations in outdoor recreation. *Leisure Sci*, 34(3): 272-279.
- Clarke AL. 2002. Assessing the carrying capacity of Florida

- keys. *Popul Environ*, 23(4): 405-418.
- de Sousa RC, Pereira LC, da Costa RM, Jiménez JA. 2014. Tourism carrying capacity on estuarine beaches in the Brazilian Amazon Region. *J Coastal Res*, 70(1): 545-550.
- Demir M, Özer S. 2014. Evaluation of the Tortum Waterfall according to the criteria used in the selection of protected areas in Turkey. *Polish J Environ Stud*, 23(5): 1230-1235.
- Demir M, Toy S, Göktuğ TH. 2017. Planning process of recreational areas based on the use of forest sources for recreational purpose. In: Öztürk M, Efe R, editors. *Contemporary Studies in Environment and Tourism*. Cambridge Scholars Publishing, London, UK, pp: 507-520.
- Demir M. 2019. Characteristics of air pollution in the city of Erzurum. *Fresen Environ Bullet*, 28: 3586-3593.
- Dias E, Beinat E, Scholten HJ. 2004. Effects of mobile information sharing in natural parks. In *Enviro Info*, 2: 11-25.
- Doğru E, Aydın F. 2020. Yerel halkın milli parklara ilişkin görüşleri: İğneada Longoz Ormanları Milli Parkı Örneği. *Inter J Geograp Geograp Edu*, 42: 328-355
- Erdemir B. 2018. Sürdürülebilir turizm kapsamında destinasyonların fiziksel ve psikolojik taşıma kapasitesi analizi: Pamukkale Hierapolis ören yeri örneği. *Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Balıkesir, Türkiye*, ss: 140.
- Göksu U. 2022. Korunan alanlarda taşıma kapasitesi ve ziyaretçi memnuniyetinin belirlenmesi: Karagöl-Sahra Milli Parkı örneği. *Yüksek Lisans Tezi, Artvin Çoruh Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı, Artvin, Türkiye*, ss: 56.
- Göktuğ TH. 2011. Dilek Yarımadası Büyük Menderes Deltası Milli Parkı'nın rekreasyonel taşıma kapasitesinin belirlenmesi üzerine bir araştırma. *Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum*, ss: 261.
- Göktuğ TH, Yıldız DN, Demir M, Bulut Y. 2013. Taşıma kapasitesi kuramının milli parklarda oluşum- gelişim ve modellenme süreci. *Atatürk Üniv Zir Fak Derg*, 44(2): 195-206.
- Göktuğ TH, Arpa NY. 2016. A method approach for determining recreational carrying capacity in the scope of boat tours: Sample of Beyşehir Lake National Park. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniv Doğa Bilim Derg*, 19(1): 5-27.
- Göktuğ TH, İçemer GT, Göktürk RS, Deniz B, Aslan EŞO, Arpa NY. 2017. Beydağları sahil milli parkı'nda taşıma kapasitesi boyutlarının (fiziksel, gerçek, etkin, sosyal, ekolojik) analizleri tabanlı ziyaretçi yönetim modelinin geliştirilmesi: Faselis ve Çıralı koyları örneği. *TÜBİTAK, Kesin Sonuç Raporu, Proje no: 1140344, Ankara, Türkiye*, ss: 231.
- Grafe AR, Vaske JJ, Kuss FR. 1984. Social carrying capacity: An Integration and synthesis of twenty years of research. *Leisure Sci*, (6)4: 395-431.
- Hadwen S, Palmer LJ. 1922. Reindeer in Alaska. *Alaska, USA, Department of Agriculture*, No: 1089, pp: 273.
- IUCN, (2011). What is a protected area. URL: <http://www.iucn.org> (accessed date: May 20, 2015).
- Jurado E, Dantas AG, Silva CPD. 2009. Coastal zone management: Tools for establishing a set of indicators to assess beach carrying capacity (Costa del Sol—Spain). *J Coastal Res*, 1125-1129.
- Kara VM, Celep M, Kamgür S. 2020. Aşırı turizm kapsamında salda gölü'nün fiziksel taşıma kapasitesinin belirlenmesi. *J Tour Gastron Stud*, 4: 79-92.
- Koday Z, Kaymaz ÇK. 2017. Çevre, Eğitim ve milli parkların önemi. 15. Uluslararası Türk Dünyası Sosyal Bilimler Kongresi, 11-12 Eylül 2017, Komrat, Moldova, ss: 21-32.
- Lawson SR, Manning RE, Valliere WA, Wang B. 2003b. Proactive monitoring and adaptive management of social carrying capacity arches national park: An application of computer simulation modelling. *J Environnal Manage*, 68(3): 305-313.
- Lawson S, Kiely AM, Manning RE. 2003a. Computer simulation as a tool for developing alternatives for managing crowding at wilderness campsites on isle royale. *Northeastern Recreation Research Symposium Proceedings, Pensilvanya, USA*, pp: 18.
- Lindberg K, Mccool S, Stankey G. 1997. Research notes: Rethinking carrying capacity (sustainable tourism). *Annals Tourism Res*, 24(2): 461-465.
- Maldonado E, Montagnini F. 2005. Carrying capacity of la tigua national park, Honduras. *J Sustainable Forestry*, 19(4): 29-48.
- Manning R. 1999. Crowding and carrying capacity in outdoor recreation: From normative standards to standards of quality. In Jackson E, Burton T, editors. *Leisure Studies: Prospects for the Twenty-First Century*, State College. Venture Publishing, Pensilvanya, USA, pp: 323-34.
- Manning RE. 2002. How much is too much? carrying capacity of national parks and protected areas. In *Monitoring and Management of Visitor Flows in Recreational and Protected Areas, Conference Proceedings, August 16-19, Norway*, pp: 306-313.
- Manning R, Leung YF, Budruk M. 2005. Research to support management of visitor carrying capacity of Boston Harbor Islands. *Northeastern Naturalist*, 12(sp3): 201-220.
- Manning R, Valliere W, Wan, B, Lawson S, Newman P. 2002. Estimating day use social carrying capacity in Yosemite national park. *J Canadian Assoc Leisure Stud*, 27(1-2): 77-102.
- Manning R. 2007. Impacts of recreation on riparian soils and vegetation. *Jawra J American Water Resources Assoc*, 15(1): 78022.
- Marsiglio S. 2017. On the carrying capacity & the optimal number of visitors in tourism destinations. *Tour Econ*, 23: 632-646.
- McCool SF, Lime DW. 2001. Tourism carrying capacity: Tempting fantasy or useful reality? *J Sustainable Tourism*, 9(5): 372-88.
- Moore SA, Polley A. 2007. Defining indicators and standards for tourism impacts in protected areas: Cape Range National Park, Australia. *Environnal Management* 39(3): 291-300.
- Needham MD, Rollins RB. 2005. Interest group standards for recreation and tourism impacts at ski areas in the summer. *Tourism Manage*, 26 (1): 1-13.
- Onat F. 1998. Yeşil alan kullanıcılarının memnuniyet derecelerinin değerlendirilmesi: Beşiktaş ilçesi örneği. *Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye*, ss: 147.
- Özdamar K. 2003. Modern bilimsel araştırma yöntemleri. *Kaan Kitabevi, Eskişehir, Türkiye*, ss: 228.
- Papageorgiou K, Brotherton I. 1999. A management planning framework based on ecological, perceptual, and economic carrying capacity: The case study of Vikos-Aoos National Park, Greece. *J Environnal Manage*, 56: 271-284.
- Pereira da Silva C. (2002). Beach Carrying Capacity Assessment. How important is it? *J Coastal Res*, 36: 190-197.
- Queiroz RE, Ventura MA, Guerreiro JA, Cunha RTD. 2014. Carrying capacity of hiking trails in natura 2000 sites: A case study from North Atlantic Islands (Azores, Portugal), *Revista de Gestão Costeira Integrada*, 14(2): 233-242.
- Şahbaz RP, Altınay M. 2015. Türkiye'deki milli parkların rekreasyon faaliyetleri açısından değerlendirilmesi. *J Tourism Gastron Stud*, 3(3): 125-135.
- Saveriades A. 2000. Establishing the social tourism carrying

- capacity for the tourist resorts of the east coast of the Republic of Cyprus. *Tourism Manage*, 21: 147-156.
- Sayan MS, Atık M, 2011. Recreation carrying capacity estimates for protected areas: A study of Termessos national park. *Ekol*, 78: 66-74.
- Sayan MS, Ortaçesme V, Karagüzel O, Atık M, Şahin T, Yıldırım E, Avcı Ü. 2005. Termessos (Güllükdag) milli parkı'nda rekreasyonel taşıma kapasitesinin belirlenmesi. TÜBİTAK, Kesin Sonuç Raporu, Proje no: TOGTAG- 3197, Antalya, Türkiye, ss: 63.
- Sayan MS. Ortaçesme V. 2005. Rekreasyonel taşıma kapasitesi kavramı ve korunan doğal alanlarda taşıma kapasitesinin belirlenmesi. *Korunan Doğal Alanlar Sempozyumu*, 8-10 Eylül, Isparta, Türkiye, pp: 495-503.
- Sever S. 1998. Yozgat Çamlığı Milli Parkı'nın koruma kullanım ve geliştirme ilkeleri üzerine bir araştırma. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye, ss: 229.
- Shelby B, Heberlein T. 1984. A Conceptual framework for carrying capacity determination. *Leisure Sci*, 6: 433-451.
- Shelby MD, Newbold RR, Tully DB, Chae K, Davis VL. 1996. Assessing Environmental chemicals for estrogenicity using a combination of in vitro and in vivo assays. *Environmental Health Perspectives*, 104(12): 1296-1300.
- Silva SF, Ferreira JC. 2013. Beach carrying capacity: The physical and social analysis at Costa de Caparica, Portugal. *J Coastal Res*, 1039-1044.
- Simon FJG, Narangajavana Y, Marques DP. 2004. Carrying capacity in the tourism industry: A case study of Hengistbury head. *Tourism Manage*, 25: 275-283.
- Smith K, Headly R. 1975. The use of computer simulation models in wilderness management. In: Ladany S, editor. *Management science applications to leisure time*. National Recreation and Parks Association, North Holland, Holland, pp: 273.
- Sobhani P, Esmaeilzadeh H, Sadeghi SMM, Marcu MV. 2022. Estimation of Ecotourism Carrying Capacity for Sustainable Development of Protected Areas in Iran. *Int J Environ Res Public Health*, 19: 1059.
- Soylu Y, Özkök F. 2016. Turistik destinasyonlarda taşıma kapasitesi: Çanakkale Savaşları Gelibolu tarihi alanı örneği. *Balıkesir Univ J Soc Sci Inst*, 19: 36-41.
- Sözen N. 1974. Ülkemizde milli parklar. *Peyzaj Mimarlığı Derg*, 1974: 2.
- Stankey GH, Mcool, S. 1984. Carrying capacity in recreational settings: evolution, appraisal, and application. *Leisure Sci*, 6(4): 453-473.
- TURKSTAT. 2021. Turkish Statistical Institute. URL: <https://www.tuik.gov.tr/> (accessed date: 11 March 2022).
- Ünlüönen K, Tokmak C. 2009. Topkapı Sarayı'nda çalışanlar ve ziyaretçilerin sosyal taşıma kapasitesine yönelik değerlendirmeleri. *İşletme Araş Derg*, 1(2009): 17-30.
- Valliere W, Manning R. 2008. Research to support analysis and management of carrying capacity at lake Umbagog National Wildlife Refuge, New Hampshire and Maine. *Proceedings of the Northeastern Recreation Research Symposium*, Pennsylvania, USA, pp: 314-323.
- Vaske JJ, Donnelly MP. 2002. Generalizing the encounter--norm--crowding relationship. *Leisure Sci*, 24(3-4): 255-269.
- Vaske JJ, Shelby LB. 2008. Crowding as a descriptive indicator and an evaluative standard: Results from 30 years of research. *Leisure Sci*, 30(2): 111-126.
- Vaske JJ, Shelby B, Graefe AR, Heberlein TA. 1986. Backcountry encounter norms: Theory, method and empirical evidence. *J Leisure Res*, 18(3): 137-153.
- Vaske JJ, Donnelly MP, Shelby B. 1993. Establishing management standards: Selected examples of the normative approach. *Environmental Manage*, 17 (1): 629-636.
- Wang B, Manning RE. 1999. Computer simulation modeling for recreation management: A Study on carriage road use in Acadia National Park, USA. *Environmental Manage*, 23(2): 193-203.
- Zacarias DA, Williams AT, Newton A. 2011. Recreation carrying capacity estimations to support beach management at Praia de Faro, Portugal. *Applied Geograp*, 31(3): 1075- 1081.



SICAK PRES CETP KOMPOZİT PANELLERİN EĞİLME PERFORMANSLARI ÜZERİNE DENEYSEL VE TEORİK ÇALIŞMALAR

Erkan BAHÇE¹, Burak ÖZDEMİR^{2*}, Tuğberk ÖNAL³

¹Inonu University, Faculty of Engineering, Mechanical Engineering, 44280, Malatya, Türkiye

²Malatya Turgut Özal University, Hekimhan Vocational School, 44400, Malatya, Türkiye

³Malatya Turgut Özal University, Yesilyurt Vocational School, 44900, Malatya, Türkiye

Özet: Bu çalışmada, sıcak pres yöntemi ile üretilmiş CETP (Cam elyaf takviyeli polimerler) kompozit panellerin eğilme performansları araştırılmıştır. Bu amaçla cam elyaf ve reçine ile hazırlanmış kompozit plakalar belli bir sıcaklık ve basınç altında preslenerek panellere çevrilmiştir. Üretilen paneller değişken yükler altında çalışan malzemeler olması nedeni ile eğilme testine tabi tutulmuştur. Panellerden 14×150×6 mm³ ebatlarında numuneler alınarak üç nokta eğilme testi uygulanmıştır. Deneyin doğrulanması ve gerilme dağılımının görsel olarak incelenebilmesi amacıyla sonlu elemanlar analizi (SEA) yapılmıştır. Çalışma sonunda deneysel ve teorik sonuçlar karşılaştırılmış ve uygulanan yüklerin etkileri tartışılmıştır. Deneylerde en yüksek eğilme gerilmesi 150.39 MPa, SE analizinde ise 164.31 MPa şeklinde gerçekleşmiştir. Malzemenin hasar öncesi deplasmanı deney ve SEA için sırasıyla 4.92 mm ve 5.46 mm'dir. Deney ve SEA sonuçlarının birbirine yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. Elde edilen sonuçlar CETP kompozit malzemelerin farklı alanlarda kullanımı öncesi boyut ve mekanik özelliklerin belirlenmesi çalışmalarına destek olacak niteliktedir.

Anahtar kelimeler: CETP, Eğilme testi, Kompozit, Sıcak pres, Sonlu elemanlar analizi


Experimental and Theoretical Studies on Bending Performance of Hot Press GFRP Composite Panels


Abstract: In this study, the bending performances of GFRP (glass fiber reinforced plastic) composite panels produced by the hot press method were investigated. For this purpose, composite plates prepared with glass fiber and resin were pressed under a certain temperature and pressure and turned into panels. The panels produced were subjected to bending test since they are materials that operate under variable loads. Three-point bending test was applied by taking samples of 14x150x6 mm³ size from the panels. Finite element analysis (FEA) was performed to verify the experiment and to visually examine the stress distribution. At the end of the study, experimental and theoretical results were compared, and the effects of applied loads were discussed. The highest bending stress was 150.39 MPa in the experiments, and 164.31 MPa in the SE analysis. The displacement of the material before damage is 4.92 mm and 5.46 mm for the test and FEA, respectively. It was observed that the results of the experiment and FEA gave close results. The results obtained will support the studies of determining the size and mechanical properties of GFRP composite materials before their use in different areas.


Keywords: GFRP, Bending test, Composite, Hot press, Finite element analysis

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Malatya Turgut Özal University, Hekimhan Vocational School, 44400, Malatya, Türkiye.

E mail: burak.ozdemir@ozal.edu.tr (B. ÖZDEMİR)

Erkan BAHÇE  <https://orcid.org/0000-0001-5389-5571>

Burak ÖZDEMİR  <https://orcid.org/0000-0002-5870-0398>

Tuğberk ÖNAL  <https://orcid.org/0000-0002-3491-7939>

Gönderi: 22 Şubat 2023

Kabul: 06 Haziran 2023

Yayınlanma: 01 Temmuz 2023

Received: February 22, 2023

Accepted: June 06, 2023

Published: July 01, 2023

Cite as: Bahçe E, Özdemir B, Önal T. 2023. Experimental and theoretical studies on bending performance of hot press GFRP composite panels. BSJ Eng Sci, 6(3): 229-234.

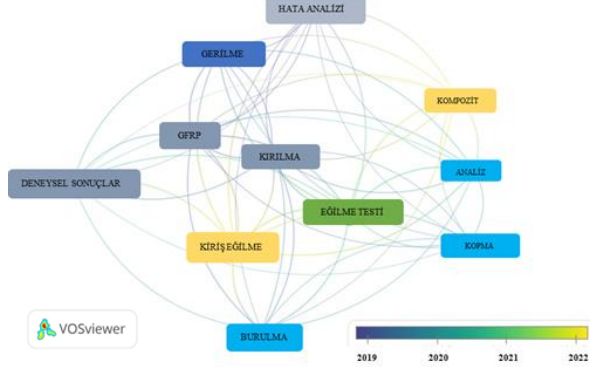
1. Giriş

CETP kompozitler, korozyona dayanımı, yüksek mukavemet düşük ağırlık oranı, tasarım esnekliği, yorulma dayanımı ve darbe direnci nedeniyle alternatif bir malzeme olarak imalatçıların ve mühendislerin dikkatini çekmektedir (Sá ve ark., 2011; Subaşı ve ark., 2017; Kilickap, 2010; Sanada ve Shindo, 2006; Kilickap ve ark., 2023). Pultrüzyon üretim tekniğinin bir sonucu olarak CETP kompozitlerinin maliyeti önemli ölçüde azaltılmıştır (Biddah, 2006). Dayanım ve maliyetten oluşan ekonomiklik özelliği CETP kompozit malzemelerin agresif ve değişken yüklerin olduğu ortamlarda

kullanımını artırmıştır (Ferdous ve ark., 2018). Sıvı depolama gibi değişken yüklerin olduğu endüstri alanlarında CETP kullanımı, malzemenin dayanım şartlarına uygunluk testlerinin yapılmasını gerektirmiştir. CETP kompozit malzemenin sıvı depolama alanında kullanımındaki ana kaygı, muadil malzemelere göre düşük eğilme dayanımı ve yüksek sapmalara neden olan elastik modülüdür (Tekin ve ark., 2016). CETP kompozit malzemeler üzerinde yapılan bazı işlemler bu malzemelerin dayanımını etkilemektedir (Kilickap ve ark., 2017). Bu özellikler yapıların bütünsel dayanımı yanında, ani güçlere karşı gösterdiği tepkilerin



iyileştirilmesini gerektirmiştir. Literatürde CETP kompozit malzemenin eğilme deneyleri ile ilgili çalışmalar incelendiğinde, genellikle yapı ve denizcilik alanında su ile temaslı malzemelerin eğilme ve bükülme özelliklerinin araştırıldığı görülmektedir. Yapılan testler sonucu malzemenin gerilme sınırları ve kırılma karakteristiği incelenmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. CETP kompozit malzemelere yapılan mekanik testlere ait literatür sonuçları.

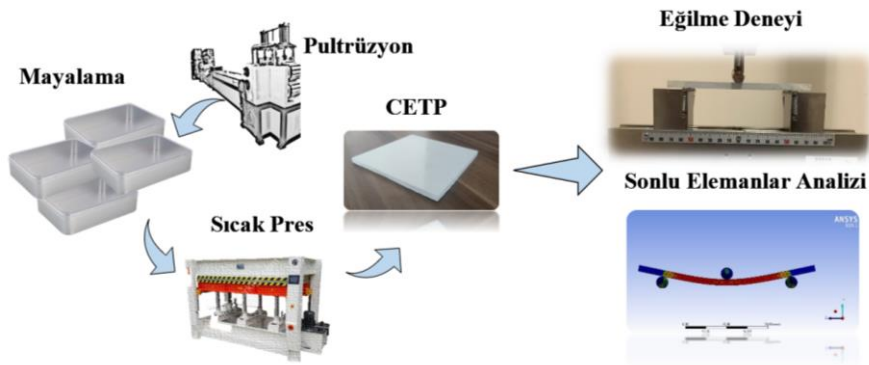
CETP kompozit malzemenin üretim şekli eğilme performansını etkileyen bir faktördür. Cam elyaf liflerinin serim açısı farklı oryantasyonlar ile (0°,45°,90° vb.) uygulanarak üretilen kompozitlerin eğilme testlerinde, büyükten küçüğe sırasıyla 0°, 90°, 45° şeklinde gerçekleşmiştir (Demircan ve ark., 2020). Lif oryantasyonu ile birlikte, lif uzunluğu ve plaka kalınlığı değişimlerinde özellikle daha uzun ve tek yönlü serilmiş elyaflarda eğilme mukavemetinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Yine plaka kalınlığının artması eğilme mukavemetine olumlu etki sunmuştur (Bazlı ve ark., 2019). CETP kompozit malzemenin eğilme dayanımı etkileyen diğer bir faktör ise kullanım alanındaki ortam faktörleridir. Farklı kullanım alanlarında tuzlu su, güneş, nem gibi ortam faktörlerine maruz kalan kompozit malzemelerin eğilme dayanımları değişiklik

göstermektedir. Belli süre ortam etkenlerine maruz bırakılarak yapılan yaşlandırma işlemleri sonucunda özellikle tuz ve suyun eğilme ve çekme özelliklerini bozduğu tespit edilmiştir (Liao ve ark., 1999). Sıcaklık ve nemin birlikte artışı da eğilme dayanımı için negatif etki göstermektedir (Nishizaki ve Meiarashi, 2002). Farklı su tiplerinin cam elyaf liflerinin kırılma özelliğini artırması eğilme dayanımını azaltan temel nedenler olarak belirlenmiştir (Bian ve ark., 2012; Sateesh ve ark., 2015). CETP kompozitleri, imalat ve çevre koşullarının olumsuz etkilerinden koruma amaçlı yüzey kalitesi ve iç yapısını iyileştirici uygulamalar yapılmaktadır. Kimyasal emdirme, yüksek sıcaklık ve basınç altında presleme gibi uygulamalar, yüzeyi iyileştirirken iç yapıdaki düzensizlik ve boşlukları yok etmekte ve özellikle su ve sıcaklık faktörlerinin eğilme mukavemeti üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmaktadır (Li ve ark., 2022). Farklı alanlarda kullanılan CETP kompozit malzemeler eğilme ile birlikte burulma ve darbe gibi yüklere de maruz kalabilmektedir (Carvelli ve ark., 2001; Özkılıç ve ark., 2020).

Bu çalışmada sıcak presleme yöntemi ile imal edilmiş CETP kompozit malzemenin eğilme dayanımı araştırılmıştır. Test edilen numune kompozit su deposu paneli üretiminde kullanılmaktadır. Depolar normal şartlarda içerisinde bulunan suyun panellere yaptığı baskıya maruz kalmaktadır. Dolum süreci ve kuruldukları zeminin sarsıntısına bağlı olarak depo içerisindeki su, zaman zaman panellere eğilme kuvveti uygulamaktadır. Çalışmada, kullanım şartlarına bağlı kalınarak malzemenin üç nokta eğilme deneyi ve SE analizi yapılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

2. Materyal ve Metot

Çalışma, CETP kompozit malzemenin imalat süreci ve eğilme deneyi aşamalarından oluşmaktadır. Yapılan deney setinin akış şeması Şekil 2’de sunulmuştur.



Şekil 2. Deney akış şeması.

2.1. CETP Kompozitlerin İmalatı

CETP imalatında matris olarak, genellikle bot, gemi su deposu, rüzgâr pervanesi gibi sulu ve nemli ortamlarda kullanılan bağlayıcı ve sertleştirici malzemeler tercih edilmiştir. Bu sebeple plakaların üretiminde LR300 epoksi reçine ve LH300 sertleştirici kullanılmıştır. Epoksi

reçine ve sertleştiricinin karışım oranı üretici firmanın önerisi ile ağırlıkça 100:30±2gr’dır. Matris malzemesi olarak kullanılan LR300 epoksi reçine ve LH300 sertleştiricinin yoğunlukları sırasıyla 1.15 g/cm³ ve 1.05 g/cm³ şeklindedir. Kompozit plakalarda kullanılan cam elyaf kumaşların ağırlıkları 200 gr/m². Pultrüzyon

yöntemi ile boyutlandırılan lifler 24 saat mayalandırılmıştır. Daha sonra erkek ve dişi hazır kalıplara serilerek sıcak preslemeye tabi tutulmuştur. Presleme işleminde basınç 13MPa, sıcaklık 210 C° olarak belirlenmiştir. Plakalar kesilerek 14x150x6 mm³ ölçülerinde test numuneleri elde edilmiştir (Şekil 3).



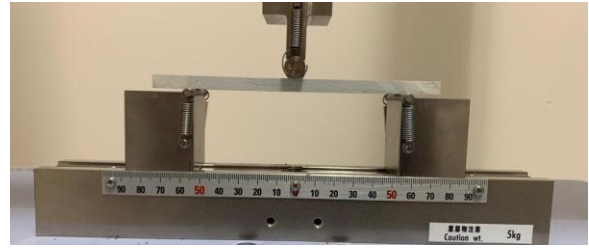
Şekil 3. Üretilen CETP kompozit plakalar ve sıcak pres hattı.

2.2. Üç Nokta Eğilme Deneyi

Kompozit numunelerin üç nokta eğilme testleri 10 kN kapasiteli Shimadzu marka test cihazında ASTM D790 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 4'te üç nokta eğilme testinin görünümü verilmiştir. İki destek arası mesafe (L) 110 mm'dir. Test yükü (P) kompozit yapının üst yüzeyinin ortasından 2,95 mm/dk hızla uygulanmıştır. Eğilme yükü altında kompozit numunelerde meydana gelen maksimum eğilme mukavemeti değeri (σ_e) eşitlik 1 kullanılarak hesaplanmaktadır. Yükleme sonucunda numunelerde meydana gelen maksimum şekil değiştirme değeri (ϵ) ise eşitlik 2 eşitliği kullanılarak hesaplanmaktadır. Burada P yük (N), L destekler arası mesafe (mm), b numune genişliği (mm), d numune kalınlığını (mm) ve D maksimum sehim değerini (mm) göstermektedir.

$$\sigma_e = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (1)$$

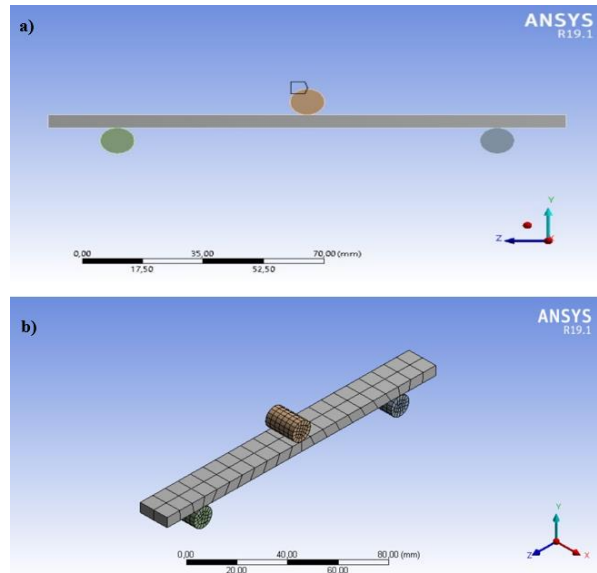
$$\epsilon = \frac{6Dd}{L^2} \quad (2)$$



Şekil 4. Üç nokta eğilme testi düzeneği.

2.3. Sayısal Çözümleme

Yer değiştirme tabanlı klasik SE analizi, deneysel ve teorik sonuçların tutarlılığını karşılaştırmak için ikinci bir sayısal çözüm yöntemi olarak sunulmuştur. Numunelerin eğilme yükü altındaki davranışını tahmin etmek ve gerilme dağılımını görebilmek için Ansys 19.1 paket programı kullanılmıştır. Sayısal simülasyon süreci beş aşamadan oluşmaktadır. Numunelerin ve test elemanlarının üç boyutlu teknik resimleri Solidworks 2022 paket programında çizilmiştir (Şekil 5a). Numuneler için Ansys paket programında mühendislik malzemeleri içerisinde bulunan CETP kompozit malzemesi seçilmiştir. Deneysel kullanılan malzemeye sıcak pres uygulanması sebebiyle, üç nokta eğilme testiyle farklılık gösteren mekanik özellikler sonlu elemanlar analizinde düzenlenmiştir. Numunelerin ağ yapısı, fiber seriminin açısal ve boyutsal özellikleri dikkate alınarak, 3482 düğüm ve 620 adet eleman ile yapılmıştır (Şekil 5b). Ağ yapısının minimum kenar uzunluğu 5 mm'dir. Desteklerin sınır koşulları Ansys programının standart özellikleri ile mevcut konumuna sabitlenerek uygulanmıştır. Destek açıklığı 110 mm olacak şekilde malzemenin tam ortasından 4.92 mm yer değiştirme uygulanmış ve gerilme değerler incelenmiştir.



Şekil 5. Sonlu elemanlar analizi bileşenleri. a) Deney 3B çizimi b) Numunenin ağ yapısı uygulaması.

3. Bulgular

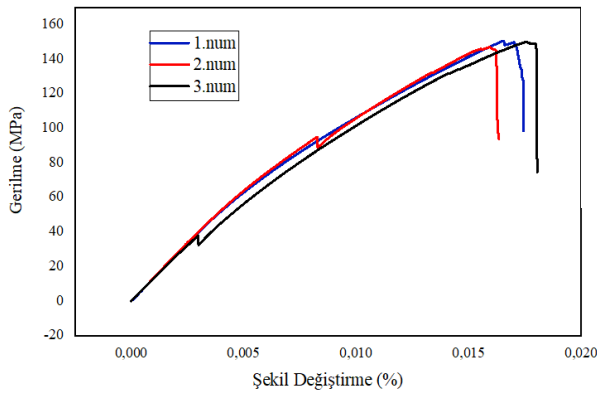
Kompozit numunelere üç nokta eğilme testleri uygulanmıştır. Deneysel çalışma için üçer tekrar

yapılmıştır. Testler sonucunda numunelere ait hasar yükü, eğilme mukavemeti ve eğilme elastisite modülü değerleri belirlenmiş ve ortalamaları Tablo 1’de verilmiştir. Tabloda parantez içinde standart sapma değerleri de verilmiştir. Şekil 6’da kompozit numunelere uygulanan eğilme testi sonucu belirlenen Gerilme-Şekil değiştirme grafiği verilmiştir.

Tablo 1. Kompozit numunelerin üç nokta eğilme test sonuçları.

		SS
Hasar yükü (N)	589.01	10.50
EM (MPa)	148.98	1.89
EEM (GPa)	13.340	0.41

EM= eğilme mukavemeti, EEM= eğilme elastisite modülü, SS= standart sapma.



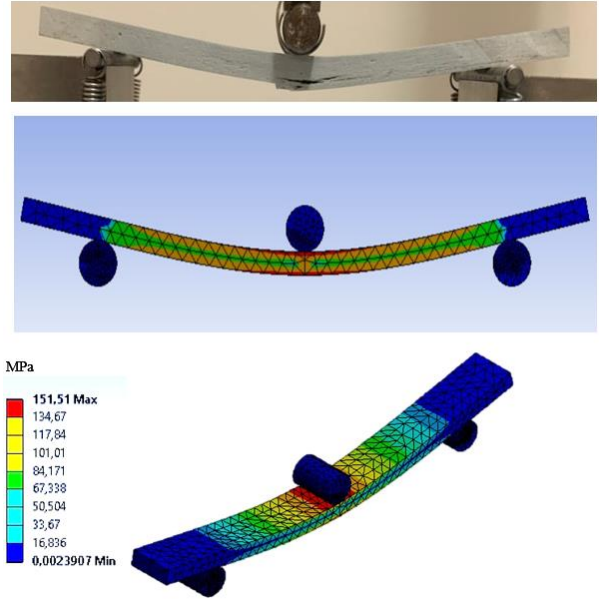
Şekil 6. Gerilme-Şekil değiştirme grafiği.

Yapılan testler sonucunda en yüksek hasar yükü 597.58 N dur. Bu yük değerine karşılık numunede 5.18 mm uzama meydana gelmiştir. Bununla birlikte tüm numuneler için maksimum hasar yükü ve uzama değerlerinin ortalamaları sırasıyla 589.01 N ve 4.92 mm'dir. Numunelerde belirlenen en yüksek eğilme gerilmesi ve eğilme elastisite modülü değerleri sırasıyla 150.39 MPa ve 13.466 GPa'dır.

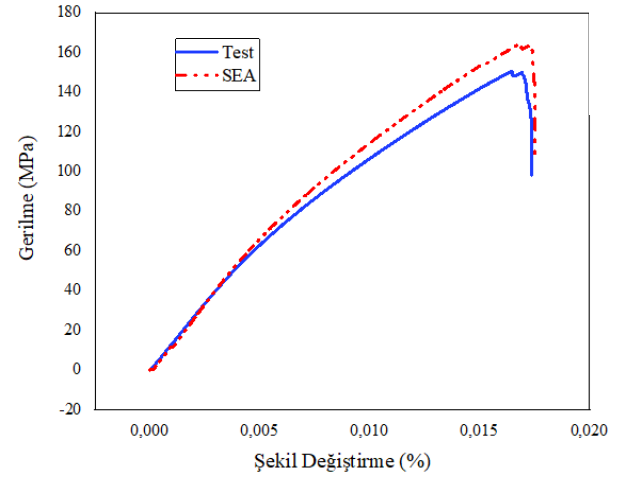
Şekil 7’de verilen hasarlı test numunesi incelendiğinde hasarın alt yüzeyde meydana geldiği görülmektedir. Eğilme yükü altında yapının üst yüzeyinde bası, alt yüzeyinde ise çeki gerilmeleri olduğu göz önüne alındığında numunenin çekme gerilmelerinden kaynaklı olarak hasara uğradığı düşünülmektedir (Asaee ve ark., 2021). Bu durum her üç test numunesinde de benzerlik göstermektedir. SEA analizi sonuçlarında CTP kompozit malzemenin eğilme deneyi sırasındaki gerilme dağılımı görülmektedir (Şekil 8). Üç nokta eğilme testi ve SEA gerilme-şekil değiştirme karşılaştırma grafiği Şekil 9’da sunulmuştur.



Şekil 7. Eğilme sonrası hasarlı numune görüntüsü.



Şekil 8. SEA gerilme dağılımı grafiği.

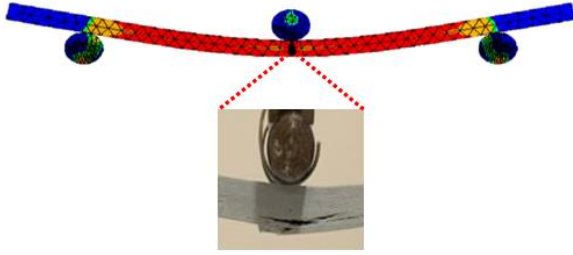


Şekil 9. Üç nokta eğilme testi ve SEA gerilme-şekil değiştirme karşılaştırma grafiği.

4. Tartışma

Kompozit numunelerde yükün orta noktadan malzemenin enine paralel konsantre bir şekilde uygulaması sonucunda, deneylere paralel olarak kırılma noktasında gerilmenin daha yoğun olduğu görülmektedir (Kharghani ve ark., 2019; Carbajal ve Mujika, 2009). İkincil olarak destek noktalarında yoğunlaşan gerilme, yük uygulama merkezi ve destekler arasında azalan bir şekilde dağılmaktadır. En yüksek gerilme değeri teorik analizde 164.31 MPa olarak hesaplanmıştır. Bu değer, deneylerde elde edilen en yüksek eğilme gerilmesi (150.39 MPa) değerinden %9.26 daha fazladır (Şekil 9). Kompozit malzemelerde katmanlar arasındaki homojenliğin değişkenliği bu farkın temel sebebi olması yanında, sıcak pres uygulanmasının farkın daha az oluşmasında etkili olduğu düşünülmektedir (Valenza ve ark., 2010; Madenci ve ark., 2020). Üç nokta eğilme testi ve SEA analizlerinin her ikisinde de lineer davranış seyri ve nihai davranış noktaları birbirine yakındır.

SEA analizinde hasar başlangıç deplasmanı 5.46 mm olarak gerçekleşmiştir. Hasar bölgesi test sürecinde olduğu gibi alt kabukta gerçekleşmiştir (Şekil 10). Destek noktalarının çekme etkisi aynı şekilde gözlemlenmiştir. Malzemenin lifli yapısı ve sıcak pres işleminin homojenliğe olumlu etkisi hasar öncesi lineer gerilme noktasının geniş olmasını sağlamıştır (Pyrzowski ve Sobczyk, 2020; Seifoori ve ark., 2020). Genel olarak SEA analizi simülasyon sonuçları deneysel sonuçlara oldukça yakındır.



Şekil 10. Üç nokta eğilme testi ve SEA hasar bölgesi.

5. Sonuçlar

Bu çalışmada CETP kompozit malzemesi sıcak pres uygulaması ile panel haline getirilmiş ve 14x150x6 mm³ ebatlarında numunelere dönüştürülerek üç nokta eğilme testine tabi tutulmuştur. Numunelerin eğilme yükü altındaki davranışını tahmin etmek, gerilme dağılımını görebilmek ve eğilme deneyini doğrulamak amacıyla sonlu elemanlar analizi uygulanmıştır. Deneysel ve teorik çalışma sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır;

- Ortalama maksimum hasar yükü 589.01 N ve uzama değerleri 4.92 mm'dir.
 - En yüksek eğilme gerilmesi ve eğilme elastisite modülü değerleri sırasıyla 150.39 MPa ve 13.466 GPa'dır.
 - Numunelerdeki hasarın çeki gerilmeleri sonucu alt yüzeyde meydana geldiği görülmektedir.
 - SEA analizinde benzer şekilde kırılma noktasında gerilmenin daha yoğun olduğu görülmektedir.
 - SEA analizinde en yüksek eğilme gerilmesi 164.31 MPa olarak hesaplanmıştır. Bu değer, deneylerde elde edilen en yüksek eğilme gerilmesi (150.39 MPa) değerinden %9.26 daha fazladır.
 - Üç nokta eğilme testi ve SEA analizlerinin her ikisinde de lineer davranış seyri ve nihai davranış noktaları birbirine yakındır.
 - SEA analizinde hasar başlangıç deplasmanı 5.46 mm olarak gerçekleşmiştir.
 - Malzemenin lifli yapısı ve sıcak pres işleminin homojenliğe olumlu etkisi hasar öncesi lineer gerilme noktasının geniş olmasını sağlamıştır.
- Çalışma sonuçları incelendiğinde deneysel ve SEA analizi simülasyon sonuçlarının birbirlerini destekledikleri görülmektedir. Bu çalışma, hareketli yükler için tasarlanan depolama ürünlerinin, mekanik ve sağlamlık açısından avantajları olan kompozit malzemeler ile üretimine, boyutsal ve süreç seçimi açısından literatüre destek sağlamaktadır.

Teşekkür

Yapılan çalışmada vermiş oldukları malzeme ve teknik desteklerden dolayı Yağız Enerji Makina Ltd. Şti. firmasına teşekkürlerimizi sunarız.

Katkı Oranı Beyanı

Yazarların katkı yüzdesi aşağıda verilmiştir. Yazarlar makaleyi incelemiş ve onaylamıştır.

	E.B.	B.Ö.	T.Ö.
K	40	40	20
T	60	20	20
Y	100		
VTI	20	40	40
VAY	20	40	40
KT		50	50
YZ	10	60	30
KI		20	80
GR		100	
PY			100
FA	33	33	34

K= kavram, T= tasarım, Y= yönetim, VTI= veri toplama ve/veya işleme, VAY= veri analizi ve/veya yorumlama, KT= kaynak tarama, YZ= Yazım, KI= kritik inceleme, GR= gönderim ve revizyon, PY= proje yönetimi, FA= fon alımı.

Çalışma Beyanı

Yazarlar bu çalışmada hiçbir çıkar ilişkisi olmadığını beyan etmektedirler.

Etik Onay Beyanı

Bu araştırmada hayvanlar ve insanlar üzerinde herhangi bir çalışma yapılmadığı için etik kurul onayı alınmamıştır.

Kaynaklar

- Asaee Z, Montesano J, Worswick M. 2021. Assessing the failure mechanisms and mechanical performance of Co-moulded hybrid AA5182-O/GFRP hat-channel beams under quasi-static three-point bending. *Composite Struct*, 256: 113007.
- Bazli M, Ashrafi H, Jafari A, Zhao XL, Gholipour H, Oskouei AV. 2019. Effect of thickness and reinforcement configuration on flexural and impact behaviour of GFRP laminates after exposure to elevated temperatures. *Composites Part B: Engin*, 157: 76-99.
- Bian L, Xiao J, Zeng J, Xing S. 2012. Effects of seawater immersion on water absorption and mechanical properties of GFRP composites. *J Composite Mater*, 46(25): 3151-3162.
- Biddah A. 2006. Structural reinforcement of bridge decks using pultruded GFRP grating. *Composite Struct*, 74(1): 80-88.
- Carbajal N, Mujika F. 2009. Determination of longitudinal compressive strength of long fiber composites by three-point bending of [0m/90n/0p] cross-ply laminated strips. *Polymer Test*, 28(6): 618-626.
- Carvelli V, Panzeri N, Poggi C. 2001. Buckling strength of GFRP under-water vehicles. *Composites Part B: Engin*, 32(2): 89-101.
- Demircan G, Mustafa Ö, Murat K. 2020. Flexural properties of glass fiber reinforced epoxy composites at different strain

- rates. Dokuz Eylül Üniv, Müh Fak Fen Müh Derg, 22(64): 271-276.
- Ferdous W, Bai Y, Almutairi AD, Satasivam S, Jeske J. 2018. Modular assembly of water-retaining walls using GFRP hollow profiles: Components and connection performance. Composite Struct, 194: 1-11.
- Kharghani N, Soares CG, Tsouvalis NG. 2019. Experimental and numerical study of the bolt reinforcement of a composite-to-steel butt-joint under three-point bending test. Marine Struct, 63: 384-403.
- Kilickap E. 2010. Investigation into the effect of drilling parameters on delamination in drilling GFRP. J Reinforced Plast Composit, 2923: 3498-3503.
- Kılıçkap E, Yenigün B, Çelik YH. 2017. The effect of drilling parameters on strength of glass fibre-epoxy laminates by produced hand lay-up. Engineering Sciences 12(4): 246-254.
- Kilickap E, Çelik YH, Yenigün B. 2023. Experimental evaluation of parameters affecting delamination factor tensile strength thrust force and surface roughness in drilling of GFRP. Surface Rev Letters, 30(4): 2350025.
- Li H, Wang H, Xiang J, Li Z, Chen X, Tao J. 2022. Evolution behaviors and reduction mechanism of curing residual stresses in GLARE laminates under a hot-pressing condition. Polymers, 14(10): 1982.
- Liao K, Schultheisz CR, Hunston DL. 1999. Effects of environmental aging on the properties of pultruded GFRP. Composites Part B: Engin, 30(5): 485-493.
- Madenci E, Özkılıç Y. O, Gemi L. 2020. Experimental and theoretical investigation on flexure performance of pultruded GFRP composite beams with damage analyses. Composite Struct, 242 112162.
- Nishizaki I, Meiarashi S. 2002. Long-term deterioration of GFRP in water and moist environment. J Composites Construct, 6(1): 21-27.
- Özkılıç YO, Madenci E, Lokman G. 2020. Tensile and compressive behaviors of the pultruded GFRP lamina. Turkish J Engin, 4(4): 169-175.
- Pyrzowski Ł, Sobczyk B. 2020. Local and global response of sandwich beams made of GFRP facings and PET foam core in three point bending test. Composite Struct, 241 112122.
- Sá MF, Gomes A. M, Correia JR, Silvestre N. 2011. Creep behavior of pultruded GFRP elements-Part 1: Literature review and experimental study. Composite Struct, 93(10): 2450-2459.
- Sanada K, Shindo Y. 2006. Notched three-point bend testing of grp woven laminates at cryogenic temperatures and analysis of fracture and damage properties. American Institut Phys, 824(1): 264-271.
- Sateesh N, Rao PS, Ravishanker DV, Satyanarayana K. 2015. Effect of moisture on GFRP composite materials. Mater Today Proceed, 2(4-5): 2902-2908.
- Seifoori S, Mirzaei M, Afjoland H. 2020. Experimental and FE analysis for accurate measurement of deflection in CFRP and GFRP laminates under bending. Measurement, 153: 107445.
- Subaşı S, Çetin V, Şamandar A. 2017. Kompozit panellerde ctp levha ve çekirdek kalınlığının mekanik özelliklere etkisi. El-Cezeri, 42: 135-145.
- Tekin A, Esendemir Ü, Öndürücü A. 2016. Farklı ortam koşullarına maruz bırakılan kompozit malzemenin eğilme davranışlarının deneysel ve teorik olarak incelenmesi. Soma MYO Tek Bil Derg, 121: 27-37.
- Valenza A, Fiore V, Calabrese L. 2010. Three-point flexural behaviour of GFRP sandwich composites: A failure map. Advanced Composite Mater, 19(1): 79-90.



SUOKU (*Sagittaria sagittifolia* L.)'NUN DOĞAL YETİŞME ORTAMI ÖZELLİKLERİNİN MEVSİMSEL DEĞİŞİMİ

Sedat KARADAVUT^{1*}, Elif BOZDOĞAN SERT², Gülden SANDAL ERZURUMLU³, Bahadır ALTUN⁴

¹Trakya University, Havsa Vocational College, Department of Park and Garden Plants, 22500, Edirne, Türkiye

²İskenderun Technical University, Faculty of Architecture, Department of Landscape Architecture, 31200, İskenderun, Hatay, Türkiye

³Niğde Ömer Halisdemir University, Faculty of Architecture, Department of Landscape Architecture, 51240, Niğde, Türkiye

⁴Kırşehir Ahi Evran University, Faculty of Agriculture, Department of Horticulture, 40100, Kırşehir, Türkiye

Özet: Bu çalışma, suoku (*Sagittaria sagittifolia* L.) bitkisini doğal yetişme ortamı (su ve çamur) özelliklerinin mevsimsel değişimlerini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Bu amaçla öncelikle bitkinin doğal olarak Gölbaba Gölü'nde yetiştiği tespit edilmiş ve analiz için gerekli örnekler 2022 yılında Haziran, Ağustos ve Eylül aylarında 3 tekrerrürlü olacak şekilde bu gölden alınmıştır. Su örneklerinde pH, İletkenlik (dS/m), Karbonat (mg/l), Bikarbonat (mg/l), Klor (mg/l), Sülfat (mg/l), Nitrat (mg/l), Nitrit (mg/l), Amonyum (mg/l), Magnezyum (mg/l), Potasyum (mg/l), Sodyum (mg/l), Kalsiyum (mg/l), Sodyum Adsorpsiyon Oranı (SAR), Sertlik ve Tuzluluk gibi parametreler incelenmiştir. Toprak örneklerinde ise pH, İletkenlik (dS/m), Organik Madde (%), Fosfor (kg/da), Magnezyum (mg/l), Potasyum (kg/da), Sodyum (mg/l), Kalsiyum (mg/l), Kireç (%) ve Saturasyon (Bünye) gibi parametreler incelenmiştir. Araştırma sonucunda göl suyunun; Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği' ne göre yüksek tuzlu orta sodyumlu su kalitesinde, göl toprağının; ağır bünyeli, tuzsuz, orta kireçli ve hafif alkali nitelikte olduğu belirlenmiştir. Hem su hem de toprak örneklerinde incelenen bütün parametre değerlerinin örnek alınma zamanına göre değiştiği tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: *Sagittaria sagittifolia*, Su/toprak analizi, Yetiştirme ortamı

Seasonal Variation of Natural Habitat Characteristics of Suoku (*Sagittaria sagittifolia* L.)

Abstract: This study was carried out to determine the seasonal changes in the natural habitat (water and mud) characteristics of the suoku (*Sagittaria sagittifolia* L.) plant. For this purpose, it was determined that the plant naturally grows in Gölbaba Lake and the samples required for analysis were taken from this lake in 2022 in 3 replications in June, August and September. In water samples: pH, Conductivity (dS/m), Carbonate (mg/l), Bicarbonate (mg/l), Chlorine (mg/l), Sulfate (mg/l), Nitrate (mg/l), Nitrite (mg/l), Ammonium (mg/l), Magnesium (mg/l), Potassium (mg/l), Sodium (mg/l), Calcium (mg/l), Sodium Adsorption Rate (SAR), Hardness and Salinity parameters were examined. In soil samples, pH, Conductivity (dS/m), Organic Matter (%), Phosphorus (kg/da), Magnesium (mg/l), Potassium (kg/da), Sodium (mg/l), Calcium (mg/l), Lime (%) and Saturation (Constituent) parameters were examined. As a result of the research, it was determined that the lake water was high salty, medium sodium water quality according to the Water Pollution Control Regulation, and the lake soil was heavy textured, salt-free, medium limy, and slightly alkaline. It was determined that all parameter values examined in both water and soil samples changed according to the sampling time.

Keywords: *Sagittaria sagittifolia*, Water/soil analysis, Habitat

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Trakya University, Havsa Vocational College, Department of Park and Garden Plants, 22500, Edirne, Türkiye

E mail: sedatkaradavut@trakya.edu.tr (S. KARADAVUT)

Sedat KARADAVUT



<https://orcid.org/0000-0001-5070-6747>

Elif BOZDOĞAN SERT



<https://orcid.org/0000-0002-4812-2360>

Gülden SANDAL ERZURUMLU



<https://orcid.org/0000-0001-9664-2902>

Bahadır ALTUN



<https://orcid.org/0000-0002-6503-7109>

Gönderi: 01 Haziran 2023

Received: June 01, 2023

Kabul: 19 Haziran 2023

Accepted: June 19, 2023

Yayınlanma: 01 Temmuz 2023

Published: July 01, 2023

Cite as: Karadavut S, Bozdoğan Sert E, Sandal Erzurumlu G, Altun B. 2023. Seasonal variation of natural habitat characteristics of Suoku (*Sagittaria sagittifolia* L.). BSJ Eng Sci, 6(3): 235-239.

1. Giriş

Yapraklarının ok şekline benzemesinden dolayı Suoku olarak isimlendirilen *Sagittaria sagittifolia* L. sulak alanlarda yaşayan önemli bir süs bitkisidir. Ayrıca sebze olarak Çin ve Japonya'da yumrularından yararlanılırken; Vietnam'da bitkinin genç yapraklarının sapsarı ve rizomları çorba yapımında kullanılır (Anonim, 2023a). Suoku, Asya, Avrupa ve Kuzey Amerika'nın ılıman bölgelerindeki sulak alanlarda doğal olarak yayılış gösteren, çok yıllık otsu ve Alismataceae familyasından çiçekli bir bitkidir (Alfred, 2022). *Sagittaria* cinsinin dünya üzerinde 20 civarında sucül veya nemli yerlerde yetişen

türü bulunmaktadır (Söğüt, 2002). Ülkemizde ise sadece *Sagittaria sagittifolia* L. türü doğal olarak yetişmektedir. Bu tür ülkemizin Istanca Bölümü, Çatalca-Kocaeli Bölümü, Ergene Bölümü, Güney Marmara Bölümü, Batı Karadeniz Bölümü, Konya Bölümü, Erzurum-Kars Bölümü ve Yukarı Murat-Van Bölümünde yer alan sulak alanlarda yetişmektedir (Ekim, 2012). Suoku 30-90 cm boylanabilen, toprak altı gövdeleri yumru şeklinde, su üstündeki yaprakları geniş ve ok şeklinde, yüzen yaprakları oval ve su içindeki yaprakları ise şerit şeklinde olan bitkilerdir. Bitkiler 1,5 cm çapında pembe beyaz küre şeklinde çiçekler meydana getirir. Bitkinin su üstü



aksamları sonbahardan itibaren kurumaya başlar ve kış aylarında tamamen ölür. Bu bitkiler tohum veya bölme yöntemi ile çoğaltılabilir (Söğüt, 2002).

Sulak alan süs bitkilerinin yetiştiriciliği kara bitkilerine nazaran daha zordur. Bunun en önemli nedenleri arasında özel yetiştirme yerleri (havuz, gölet vb.) ile kendilerine özel yetiştirme tekniklerine ihtiyaç duyulması yer almaktadır. Ayrıca doğal yetiştirme alanlarında çalışmak da gerek yasal izinler gerekse habitat özelliklerinden dolayı zor olabilmektedir. Bütün bunların sonucunda bu bitkiler özellikle ülkemizde hep ötelenmiştir ve kültüre alınmamıştır. Dünyada dahi bu bitkiler uzun yıllar boyunca botanikçilerin dikkatlerini çekmiş olmalarına rağmen geniş çaplı çalışmalara ancak 1970'li yıllarda başlanmıştır (Cronk ve Fennessy, 2001). Günümüzde *S. sagittifolia* ile ilgili fitokimyasal, farmakolojik ve sosyo-ekonomik önemi, sulardaki ağır metal kirliliğinin suçlu bitkilerle arıtılması üzerine çalışmaların yanında özellikle gıda olarak kullanımı üzerine çalışmalar yoğunlaşmıştır (Gao ve ark., 2018; Alfred, 2022; Li ve ark., 2022; Sun ve ark., 2023). Dünyanın farklı ülkelerinde Suoku hem süs bitkisi hem de sebze olarak değerlendirilmektedir. Ancak ülkemizde henüz kültüre alınmadığı ve yeterince ye tanınmadığı için herhangi bir kullanımı yoktur. Bu çalışma hem insan hem de iklimsel faktörlerin baskısı altında olan sulak alanlarda yaşayan *Sagittaria sagittifolia* L. türünün doğal yetiştirme ortam özelliklerini ortaya çıkarmak ve ileri de yapılacak yetiştiricilik çalışmalarına veri sağlamak amacı ile yapılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

Çalışma türün doğal yetiştirme ortamının tespiti ve yetiştirme ortamı özelliklerinin belirlenmesi olacak şekilde iki aşamalı olarak yürütülmüştür. İlk aşamada Suoku'nun Edirne Göl Baba Gölü'nde 41°75'887"K, 26°58'274"D koordinatlarında 41 m rakımda doğal olarak yetiştiği tespit edilmiştir. Çalışmanın ikinci aşaması Göl Baba Gölü'nden su bitkilerinin yetiştirme ortamı özelliklerini ortaya koyabilmek amacıyla su ve topraktan örnekler alınmasıdır. Bu kapsamda 2022 yılında Haziran, Ağustos ve Eylül aylarında örnekler türün doğal olarak yetiştiği

tespit edilen Göl Baba Gölü'nden 3 tekerrürlü olacak şekilde alınmıştır.

Örnek alımı bitkilerin aktif olarak büyüme gösterdiği vejetasyon periyodunda toplam alınmıştır (Şekil 1). Toprak (çamur) örnekleri bitkinin yaşam alanından ve 0-30 cm derinlikten alınmıştır. Örnekler suoklarının yaşam alanlarını temsil etmesi için bitkilerin dört bir tarafından alınarak karıştırılmıştır. Bu karışımdan en az 1 kg olacak şekilde bir tekerrür oluşturulmuştur. Alınan toprak örnekleri etiketlenmiş kilitli plastik torbalara konularak muhafaza kabına (+2 - +8 °C) aktarılmıştır (Kılıcı ve ark., 2012). Su örnekleri için de aynı yöntem uygulanmış; bitkinin yaşam alanında en az dört farklı noktadan örnekler alınarak etiketlenmiş ve steril plastik kaplara konulmuştur. Örnek alımı sert plastik kaplar kullanılarak yapılmıştır. Su örnekleri bitkinin yaşam alanını temsil edecek 4 ayrı noktadan alınarak karıştırılmıştır. Su örneği alınan kap, göl kıyısından 1 metre ileride dik biçimde suya daldırılmış ve yüzeyden 50 cm derinde ters çevrilerek içerisine suyun dolması sağlanmıştır. Alınan su örnekleri karanlık ve serin bir ortamda (+4 - +8 °C) en geç 72 saatte laboratuvara ulaştırılmıştır (Sağdıç, 2003). Alınan su örnekleri soğuk koşullarda saklanarak analizlerin yapılacağı Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi Teknoloji ve Ar-Ge Uygulama ve Araştırma Merkezi'ne ulaştırılmıştır. Bu kapsamda su analizinde kullanılan yöntemler Tablo 1'de, toprak analizinde kullanılan yöntemler Tablo 2'de verilmiştir.



Şekil 1. *Sagittaria sagittifolia* L. (Suoku) bitkisi.

Tablo 1. Su özelliklerinin belirlenmesine yönelik analiz yöntemleri

Parametre	Metot	Birim	Parametre	Metot	Birim
pH	TS EN ISO 10523	-	Magnezyum	Avrupa Farmakopesi AAS	mg/L
İletkenlik	TS 9748 EN 27888	dS/m	Potasyum	Flamefotometrik	mg/L
Karbonat	Titrimetrik(Sülfürik Asit Titrasyonu)	mg/L	Sodyum	Flamefotometrik	mg/L
Bikarbonat	Titrimetrik(Sülfürik Asit Titrasyonu)	mg/L	Kalsiyum	Flamefotometrik	mg/L
Klor	Spektrofotometrik	mg/L	SAR	Hesaplama	-
Sülfat	Spektrofotometrik	mg/L	Sertlik	Titrimetrik	-
Nitrat	Spektrofotometrik	mg/L	Su Sınıfı	-	-
Nitrit	Spektrofotometrik	mg/L	Tuzluluk	Potansiyometrik	-
Amonyum	Spektrofotometrik	mg/L			

Tablo 2. Toprak özelliklerinin belirlenmesine yönelik analiz yöntemleri

Parametre	Metot	Birim
pH	TS EN ISO 9023	-
İletkenlik	TS 9748 EN 27888	dS/m
Organik Madde	Walkley-Black	%
Fosfor	Spektrofotometrik	kg/da
Magnezyum	Avrupa Farmakopesi AAS	mg/L
Potasyum	Flamefotometrik	kg/da
Sodyum	Flamefotometrik	mg/L
Kalsiyum	Flamefotometrik	mg/L
Saturasyon (Bünye)	Su ile doyunluk	-
Kireç	Kalsimetrik Ölçüm	%

3. Bulgular ve Tartışma

Gölbaba Gölü'nde (Edirne) yetişen suokunun doğal yetiştirme ortamlarının belirlenmesi amacıyla su örnekleri Haziran, Ağustos ve Eylül aylarında alınmış; analiz sonuçları Tablo 3'te verilmiştir. Elde edilen veriler Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (2004) su kalite sınıfları ve sulama suyu kalite parametreleri esas alınarak değerlendirilmiştir. Buna göre sulama suyu sınıfları 1. Sınıf Su (çok iyi), 2. Sınıf Su (iyi), 3. Sınıf Su (Kullanılabilir), 4. Sınıf Su (İhtiyatla Kullanılmalı), 5. Sınıf Su (Zararlı) kabul edilmektedir. Su kalite sınıfları ise 1 ile 4 arasındadır. Suyun ortalama pH değeri 7,69 olup; en yüksek değerine Haziran ayında (7,88) ulaşmıştır. En yüksek değer dahil olmak üzere göl suyu I. Sınıf kalitededir. Suyun ortalama iletkenlik değeri 1,03 dS/m'dir. En yüksek değerine Ağustos ayında (1,12 dS/m) ulaşmıştır. En yüksek değer dahil olmak üzere göl suyu 3. Sınıf sulama suyu kapsamında değerlendirilmektedir. Ortalama karbonat değeri 28,66 mg/l iken en yüksek değer Ağustos ayında (36 mg/l) ortaya çıkmıştır. Ortalama bikarbonat 526,33 mg/l iken; en yüksek değerine Eylül ayında (610 mg/l) ulaşmıştır. Ortalama klor değeri 105,66 mg/l olup; en yüksek değer Ağustos ayında (211 mg/l) ortaya çıkmıştır. Bu kapsamda ortalama değer açısından 1. Sınıf sulama suyu kabul edilirken; en yüksek değere ulaşılan dönemde 2. Sınıf sulama suyu niteliğindedir. Ortalama sülfat 14,11 mg/l olup; en yüksek değer Ağustos ayında (20 mg/l) görülmüştür. Göl suyu sülfat değeri açısından 1. Sınıf sulama suyu niteliğindedir. Ortalama nitrat değeri 1,61 mg/l olup; en yüksek değer Eylül ayında (0,43 mg/l) elde edilmiştir. Bu değerlere göre göl suyu 1. Sınıf kaliteye sahiptir. Aynı zamanda 1. Sınıf sulama suyu olarak kabul edilmektedir. Gölbaba Gölü suyunda ortalama nitrit değeri 0,28 mg/l'dir. En yüksek nitrit Eylül ayında (0,43 mg/l) görülmüştür. Göl suyunun nitrit değerleri açısından 4. sınıf kaliteye sahip olduğu görülmektedir. Ortalama amonyum değeri 0,14 mg/l olup; Ağustos ve Eylül aylarında suda rastlanmamıştır. Yalnız Haziran ayında 0,43 mg/l değerindedir. Ortalama değere göre 1. Sınıf kaliteye sahip olan göl suyu; en yüksek değere ulaşılan dönemde 2. Sınıf kalitededir. Ortalama magnezyum değeri

58,30 mg/l iken; en yüksek değerine Ağustos ayında (80,16 mg/l) ulaşmıştır. Ortalama potasyum değeri 5,02 mg/l olup; en yüksek değer Eylül ayında (5,60 mg/l) görülmüştür. Ortalama sodyum değeri 125,92 mg/l'dir. En yüksek değer Eylül ayında 165 mg/l olarak elde edilmiştir. Ortalama değerlere göre 2. Sınıf sulama suyu kapsamındaki göl suyu; en yüksek değere ulaşılan dönemde 3. Sınıf sulama suyu olarak kabul edilmektedir. Aynı zamanda 2. Sınıf kalitede su olarak kabul edilmektedir. Ortalama kalsiyum değeri 73,57 mg/l olarak belirlenmiştir. En yüksek değer Eylül ayında 104,33 mg/l olarak tespit edilmiştir. Ortalama SAR değeri 17,42 olup; en yüksek değerine Haziran ayında (17,70) ulaşmıştır. SAR değerlerine göre ise 2. Sınıf sulama suyudur. Suyun ortalama sertlik değeri 57,83 olup; Haziran ayında en yüksek değer elde edilmiştir. Gölbaba Gölü suyu "yüksek tuzlu orta sodyumlu" nitelik taşımaktadır. Sulama suyu niteliği bakımından çeşitli parametreler açısından 1.-3. Sınıflar arasında yer almaktadır. Su kalitesi bakımından da genellikle 1. ve 2. Sınıf kaliteye sahip olup; nitrit bakımından 4. Sınıf kalitededir. Gölbaba Gölü'nde su kalitesinin düşük seviyelerde olmasının nedenleri arasında etrafındaki evsel, endüstriyel ve tarımsal faaliyetler yer almaktadır. Göl kenarında tarım ve hayvancılık faaliyetleri nedeniyle azot kaynaklı kirlilikler artış gösterebilmektedir. Gübre ve pestisit kullanımı sonucunda bu suların yağışlar yoluyla göl suyuna karışması ile su kalitesi azalmaktadır. Eylül ayında nitrat değerinin oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Bu durumun göl çevresinde yapılan hayvancılık faaliyetlerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Benzer şekilde tuzluluk zararının önemli bir göstergesi olan elektriksel iletkenlik değeri de bu nedenle yüksek elde edilmiştir. Gölbaba Gölü'nde su kalitesini olumsuz düzeyde etkileyen en önemli parametrelerden biri de nitrit olarak kabul edilmektedir. Organik kirliliğin bulunduğu düşük oksijenli sularda yoğunlukla tespit edilmektedir. Gölbaba Gölü'nde yaşayan su bitkilerinin yetiştirme ortamlarının belirlenmesi amacıyla toprak örneklerinin analizi yapılarak sonuçlar Tablo 4'te verilmiştir. Buna göre pH değerinin sürekli bir azalma gösterdiği belirlenmiştir. Haziran ayında 7,57 iken Eylül ayında 7,06'ya düşmüştür. Ortalama pH değeri 7,32'dir. İletkenlik değeri ise sürekli bir artış göstermiştir. Haziran ayında 0,31 dS/m iken Ağustos ayında 0,39 dS/m'ye, Eylül ayında ise 0,64 dS/m 'ye yükselmiştir. Ortalama iletkenlik değeri 0,44 dS/m 'dir. Organik madde içeriği, Ağustos ayında en yüksek değer olan %9,25'e ulaşmıştır. Haziran ayında %3,57, Eylül ayında ise %1,00 değerine sahiptir. Ortalama organik madde değeri %4,61'dir. Fosfor içeriği, Ağustos ayında en yüksek değer olan 54,20 kg/da'a ulaşmıştır. Haziran ayında 0,17 kg/da, Eylül ayında ise 6,39 kg/da değerine sahiptir. Ortalama fosfor değeri 20,25 kg/da'dır. Magnezyum içeriği, Ağustos ayında en yüksek değer olan 5248 mg/l'ye ulaşmıştır.

Tablo 3. Göl Baba Gölü su bitkileri yetiştirme ortamı olarak su analizi verileri

Analiz Parametresi	Haziran-2022	Ağustos-2022	Eylül-2022	Ortalama
pH	7,88	7,43	7,77	7,69
İletkenlik (dS/m)	0,86	1,12	1,11	1,03
Karbonat (mg/l)	24,00	36,00	26,00	28,66
Bikarbonat (mg/l)	406,60	562,40	610,00	526,33
Klor (mg/l)	91,00	211,00	15,00	105,66
Sülfat (mg/l)	8,00	14,33	20,00	14,11
Nitrat (mg/l)	0,20	0	4,63	1,61
Nitrit (mg/l)	0,17	0,25	0,43	0,28
Amonyum (mg/l)	0,43	0	0	0,14
Magnezyum (mg/l)	23,88	80,16	70,88	58,30
Potasyum (mg/l)	5,03	4,43	5,60	5,02
Sodyum (mg/l)	79,96	132,80	165,00	125,92
Kalsiyum (mg/l)	30,66	85,73	104,33	73,57
Sodyum Adsorpsiyon Oranı (SAR)	17,70	16,93	17,64	17,42
Sertlik	64,90	51,13	57,47	57,83
Tuzluluk zararı	C2 (Yüksek Tuzlu)	C3 (Yüksek Tuzlu)	C3 (Yüksek Tuzlu)	Yüksek Tuzlu Su
Tuzluluk	S2 (Orta Sodyumlu)	S2 (Orta Sodyumlu)	S2 (Orta Sodyumlu)	Orta Sodyumlu Su
Su Sınıfı	Yüksek Tuzlu Orta Sodyumlu Su	Yüksek Tuzlu Orta Sodyumlu Su	Yüksek Tuzlu Orta Sodyumlu Su	Yüksek Tuzlu Orta Sodyumlu Su

Tablo 4. Göl Baba gölü toprak analiz sonuçlarının mevsimsel değişimi

Analiz Parametresi	Haziran-2022	Ağustos-2022	Eylül-2022	Ortalama
pH	7,57	7,33	7,06	7,32
İletkenlik (dS/m)	0,31	0,39	0,64	0,44
Organik Madde (%)	3,57	9,25	1,00	4,61
Fosfor (kg/da)	0,17	54,20	6,39	20,25
Magnezyum (mg/l)	3871,20	5248,00	2630,40	3916,53
Potasyum (kg/da)	137,40	362,00	128,40	209,27
Sodyum (mg/l)	259,00	438,00	666,00	454,33
Kalsiyum (mg/l)	9600,00	11760,00	8800,00	10053,33
Kireç (%)	6,02	8,55	6,00	6,86
Saturasyon (Bünye)	Ağır Killi	Killi	Killi	Killi

Haziran ayında 3871,2 mg/l, Eylül ayında ise 2630,4 mg/l değerine sahiptir. Ortalama magnezyum değeri 3916,53 mg/l'dir. Potasyum içeriği, Ağustos ayında en yüksek değer olan 362 kg/da'a ulaşmıştır. Haziran ayında 137,4 kg/da, Eylül ayında ise 128,4 kg/da değerine sahip olmuştur. Ortalama potasyum değeri 209,27 kg/da'dır. Sodyum içeriği, Eylül ayında en yüksek değer olan 666 mg/l'ye ulaşmıştır. Haziran ayında 259 mg/l, Ağustos ayında ise 438 mg/l değerine sahiptir. Ortalama sodyum değeri 454,33 mg/l'dir. Kalsiyum içeriği, Ağustos ayında en yüksek değer olan 11760 mg/l'ye ulaşmıştır. Haziran ayında 9600 mg/l, Eylül ayında ise 8800 mg/l değerine sahiptir. Ortalama kalsiyum değeri 10053,33 mg/l'dir. Kireç içeriği, Haziran ayında 6,02 mg/l iken Ağustos ayında 8,55 mg/l'ye yükselmiş, Eylül ayında ise 6 mg/l'ye düşmüştür. Ortalama kireç değeri %6,86'dır. En yüksek değerine Ağustos ayında (%8,55) ulaşmıştır. Doğan ve Erdal (2018) tarafından bildirilen toprakların verimlilik durumlarına ait parametrelere göre değerlendirildiğinde Göl Baba Gölü topraklarında pH değerinin Haziran ayında hafif alkali; diğer aylarda nötr olduğu ve bu nedenle bitki

yetiştirme ortamı olarak uygun olduğu belirlenmiştir. Organik madde düzeyi Ağustos ayında yüksek, Haziran ayında iyi, Eylül'de ise azdır. Fosfor miktarı Haziran ve Eylül'de düşük iken; Ağustos ayında yüksektir. Göl toprakları magnezyum ve kalsiyum bakımından zengindir. Potasyum miktarı ise Ağustos ayında yeterli; diğer aylarda düşük düzeydedir. Gölün toprakları orta kireçlidir. Göl toprağının bünyesi ağır yapıda olup; Haziran döneminde ağır killi; diğer aylarda ise killi olduğu tespit edilmiştir.

4. Sonuç

Gerek süs bitkisi olarak gerekse özellikle son yıllarda gıda maddesi olarak bazı ülkelerde üzerinde yoğun olarak çalışılan suoku bitkisi, ülkemiz sulak alanlarında doğal olarak yetişen bir türdür. Sulak alanlar her geçen gün iklim ve insan kaynaklı faktörlerle kurumakta ve bu alanlarda yaşayan bitkiler zarar görmektedir. Bu bağlamda bu bitkilerin kültüre alınması ve ex-situ muhafaza edilmesi önemlidir. Ancak hem ex-situ

muhafaza çalışmalarında, hem de yetiştirme çalışmalarında başarılı olunması bitkinin ihtiyaç duyduğu toprak ve su özelliklerinin bilinmesine bağlıdır. Bu çalışma ile bu veriler ortaya konulmuştur.

Katkı Oranı Beyanı

Yazar(lar)ın katkı yüzdesi aşağıda verilmiştir. Tüm yazarlar makaleyi incelemiş ve onaylamıştır.

	S.K.	E.B.S.	G.S.E.	B.A.
K	25	25	25	25
T	30	30	30	10
Y	20	20	20	40
VTI	30	10	30	30
VAY	25	40	25	10
KT	25	25	25	25
YZ	30	25	20	25
KI	25	25	25	25
GR	40	20	20	20
PY	20	20	20	40
FA	20	20	20	40

K= kavram, T= tasarım, Y= yönetim, VTI= veri toplama ve/veya işleme, VAY= veri analizi ve/veya yorumlama, KT= kaynak tarama, YZ= Yazım, KI= kritik inceleme, GR= gönderim ve revizyon, PY= proje yönetimi, FA= fon alımı.

Çatışma Beyanı

Yazarlar bu çalışmada hiçbir çıkar ilişkisi olmadığını beyan etmektedirler.

Etik Onay Beyanı

Hayvanlar ve insanlar üzerinde herhangi bir çalışma yapılmadığı için bu araştırma için etik kurul onayı alınmamıştır.

Destek ve Teşekkür Beyanı

Bu araştırma 1210372 kod numaralı "Türkiye'de yetişen ve süs bitkisi potansiyeli olan bazı sulak alan bitkilerinde

çoğaltma, yetiştirme, muhafaza ve doğal yetiştirme ortamı özellikleri üzerine araştırmalar" isimli TÜBİTAK projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir. Desteğinden dolayı TÜBİTAK'a teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Alfred M. 2022. Phytochemical, pharmacological and socio-economic properties of *Sagittaria sagittifolia* L. Medicinal Plants. Int J Phytomedic Related Indust, 14(4): 513-523.
- Anonim 2023a. *Sagittaria sagittifolia*. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Sagittaria_sagittifolia (erişim tarihi: 09 Mayıs 2023).
- Cronk JK, Fennessy MS. 2001. Wetland plants: Biology and Ecology. CRC Press, New York, US, pp: 482.
- Doğan A, Erdal İ. 2018. Burdur ili tahıl yetiştirilen toprakların verimlilik durumlarının belirlenmesi. Toprak Bil Bitki Besleme Derg, 6(1): 39-45.
- Ekim T. 2012. *Sagittaria*. URL: <http://www.bizimbitkiler.org.tr>. (erişim tarihi: 25 Mayıs 2023).
- Gao MP, Zhang SW, Luo C, He XH, Wei SL, Jiang W, He FL, Lin ZC, Yan MX, Dong WQ. 2018. Transcriptome analysis of starch and sucrose metabolism across bulb development in *Sagittaria sagittifolia*. Gene, 649: 99-112.
- Kılıç M, Sayman M, Akbin G. 2012. Orman fidanlıklarında örnek alım teknikleri. Ege Ormancılık Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Yayın No: 67, İzmir, Türkiye, pp: 22.
- Li JF, Wang YH, Cui JW, Wang W, Liu XJ, Chang YJ, Yao DR, Cui J. 2022. Removal effects of aquatic plants on high-concentration phosphorus in wastewater during summer. J Environ Manag, 324: 116434. DOI: 10.1016/j.jenvman.2022.116434.
- Sağdıç A. 2003. Su örneği alma tekniği. Sted, 12(8): 310-312.
- SKKY. 2004. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği. <http://www.cevreorman.gov.tr/yasa/y/25687.doc> (erişim tarihi: 10 Mayıs 2023).
- Söğüt Z. 2002. Su bitkileri ve peyzaj mimarlığında kullanımı (3. Baskı). Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Genel Yayın No:122, Adana, Türkiye, pp: 204.
- Sun Y, Liu Y, Li J, Yan S. 2023. Acetic acid immersion alleviates the softening of cooked *Sagittaria sagittifolia* L. slices by affecting cell wall polysaccharides. Foods, 12: 506. DOI: 10.3390/foods12030506.



A STUDY ON RECYCLABILITY OF AISi7Mg0.3 MACHINING WASTE

Mertol GÖKELMA^{1*}, Rabia ÖNEN TÜZGEL¹, Ahmet Yiğit KAYA^{1,2}, Onur ÖZAYDIN^{2,3}

¹Izmir Institute of Technology, Department of Materials Science and Engineering, 35430, Urla, Izmir, Türkiye

²Cevher Jant Sanayii A.Ş., Ege Serbest Bolgesi Kursad Sokak, No.10, 35411 Gaziemir, İzmir, Türkiye


³Dokuz Eylül University, The Graduate School of Natural and Applied Sciences, Mechanical Engineering, Izmir, Türkiye


Abstract: Aluminium products are widely used in the automotive industry. One of the important aluminium products in the automotive is wheel production. Turkish wheel production is expected to reach 360000 tons in 2025. The wheels are produced by Low-Pressure Die Casting at the first stage and the machining process in CNC machines is used to create the final form. A significant amount of machining waste (swarf, turnings, and chips) is created during the machining and the importance of secondary aluminium has been increasing due to environmental and economic concerns. This study focuses on the recycling of AISi7Mg0.3 cast alloy machining waste. The turnings were sorted into two size fractions and remelted separately under a salt flux in a resistance heating furnace. Two different salt mixtures with different melting points and different salt factors were studied in this work. Metal yield and coagulation yield after remelting were discussed.


Keywords: Recycling, Aluminium, Machining waste, Remelting


*Corresponding author: Izmir Institute of Technology, Department of Materials Science and Engineering, 35430 Urla, Izmir, Türkiye

E mail: mertolgokelma@iyte.edu.tr (M. GÖKELMA)

Mertol GÖKELMA  <https://orcid.org/0000-0002-0217-6013>

Rabia ÖNEN TÜZGEL  <https://orcid.org/0000-0003-2780-268X>

Ahmet Yiğit KAYA  <https://orcid.org/0000-0003-1808-3978>

Onur ÖZAYDIN  <https://orcid.org/0000-0001-6395-7553>

Received: April 19, 2023

Accepted: June 19, 2023

Published: July 01, 2023

Cite as: Gökkelma M, Önen Tüzgel R, Kaya AY, Özaydın O. 2023. A study on recyclability of AISi7Mg0.3 machining waste. BSEng Sci, 6(3): 240-244.

1. Introduction

Primary production of aluminium has been increasing over the last decades because of the increase in aluminium consumption in different sectors such as transportation, engineering, and packaging. Automotive industry ranks first in its usage areas. Kelly et al. (2018) reported in 2018 that the amount of aluminium used per vehicle will increase by 39% in the next 10 years in North America. This rate was predicted as 32% for Europe. Considering the amount of aluminium consumption, recycling has gained importance to reduce the cost and conserve primary resources. In addition, recycling reduces the energy consumption and environmental impact caused by the primary aluminium production.

Automobile wheels, produced from aluminium alloy, represent an important portion of aluminium usage in the automotive industry (Das et al., 2007; The European Aluminium Association, 2021). Steel and aluminium alloys are the most used alloys in the automobile wheel industry, though aluminium alloy wheels are the most preferred wheel type today due to their low weight, high strength/weight ratio, and high corrosion resistance. These characteristics have made the aluminium competitive for a variety of applications (Kara et al., 2017).

Gravity casting was prevalent to manufacture a wheel in the past. However, plenty of factories around the globe has been producing wheels for years by low-pressure die casting. It is made as a single component because it gives the wheel a functional level of safety (Kara et al., 2017). AISi7Mg0.3 aluminium alloy, also named A356, is used mainly as a raw material in the manufacture of the wheels machining is an operation that carried out by CNC (Computer Aided Numerical Control) turning and milling to meet dimensional tolerances and final shaping the cast wheel. During this shaping process, chips are generated. Recyclability of the aluminium gives several advantages upon process flow in mass production. Chips that formed during the machining, can be used in a foundry as well as ingots and scraps after preliminary treatments including degreasing. Recyclability and its efficiency have been studying consistently. Preparation and categorization of the scrap as well as the type of furnaces that melt the scrap must be taken into consideration to optimise the production chain. Because the quality and yield of molten scrap are essential factors that must be improved (Yan et al., 2005; Capuzzi et al., 2018). On top of that the waste form of trace elements such as titanium chip which uses generally for the purpose of decreasing the grain size in A356 alloy, can be added into the molten metal to alter transference efficiency (Ozer et al., 2021). The machining waste has usually a high specific surface area which



might hinder both metal yield and coagulation efficiency. Thus, scrap melting in a specific salt can be an alternative to arise the recycling efficiency. Salt fluxes in the recycling of aluminium scrap decrease metal losses by preventing oxidation. In order to save energy, recycling takes place at a lower temperature with the help of a mixture of various salts. Majority of them are based on NaCl and KCl, but also fluorides such as cryolite or CaF₂ are commonly used to raise coagulation. Chloride-based salts do not react with molten metal (Tenerio et al., 2002; Milke et al., 2005; Capuzzi et al., 2018). Bolivar et al. (2009) investigated the feasibility of the salt melting method for the recovery of scrap aluminium as using less salt. Using 2% CaF₂ led to the highest recovery efficiency. Mixed salts at the ratios of 50-50% NaCl:KCl and 2% CaF₂ have used by salt melting and obtained 99.5% coagulation efficiency (Göknelma et al., 2019).

This study focuses to assess the recyclability of the aluminium alloy wheel chips, generated by machining, experimentally by remelting in different salt fluxes. The effects of size fraction, salt composition, and stirring on the recovery rate of AlSi7Mg0.3 alloy chips were investigated.

2. Materials and Methods

The machining waste of AlSi7Mg0.3 alloy, provided by "Cevher Alloy Wheels Co." was used for the experiments. CaF₂ (Sigma Aldrich), NaCl, and KCl (Isolab) salts with >99.5% of purity were used for the re-melting. A Sample Divider (Loyka, LNB 1613) was used for representative sampling. The scrap was divided into two size fractions (Figure 1.) namely -2 and +2 mm to study the effect of the surface area on remelting. The remelting experiments were performed in a chamber furnace (Protherm) in clay-bonded graphite crucibles coated with boron nitride. After remelting, metal and salt were separated by washing out the salt over a sieve and collected metal pieces were dried and weighed.

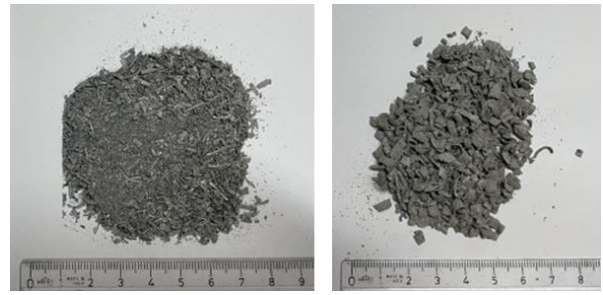


Figure 1. Machining waste of AlSi7Mg0.3 alloy in +2 and -2 mm size fractions.

Table 1 presents the parameters applied for all trials. Chloride (KCl/NaCl) ratio was changed as 30/70 and 50/50 as well as CaF₂ addition was varied as 2 and 3 wt.% to observe the effects on the yield and coagulation. Stirring was applied to some trials to observe the effect of mixing on the coalescence. Salt to scrap mass ratio was changed as 1 and 2 to study the amount of salt on the yield and coagulation. Coalescence efficiency (CE, Equation 1) was calculated by the ratio of biggest droplet to the entire metal collected after remelting. The metal yield (Equation 2) was calculated by the ratio of recovered metal amount to the amount of the scrap. The equations of coalescence efficiency and metal yield are given below:

$$CE = \frac{m_{largest\ droplet}}{m_{total\ recovered\ Al}} \times 100 \quad (1)$$

$$Yield = \frac{m_{total\ recovered\ Al}}{m_{scrap\ charge}} \times 100 \quad (2)$$

Thermo Gravimetric Analysis (TGA) was performed on +2 mm and -2 mm samples under pure oxygen to observe the oxidation behaviour as a function of temperature. The mass change was measured from 25 °C to 810 °C with a heating rate of 10K/min.

Table 1. Experimental parameters

Exp. #	Size of the Chips (mm)	Chloride mix	CaF ₂ (wt.% in the flux)	mSalt/mAl	Stirring
1	2	30% KCl 70% NaCl	2	1	No
2				1	
3				1	
4	-2	50% KCl 50% NaCl	3	2	Yes
5				2	
6				1	
7				2	
8				1	
9				2	
10	2		2	1	No
11				1	
12				2	

3. Results and Discussion

Figure 2 presents the mass change of the samples as a function of temperature increased by 10 K/min. Approximately 3.5 mg of sample was used for both analyses. Both fractions showed approximately 1 wt.% of mass loss until 300 °C which might be due to the combustion of the lubricant rest on the samples. The oxidation started to increase clearly at around 360 °C and 410 °C and the total mass gain (after combustion of the lubrications) was 4.5 wt.% and 2.5 wt.% for - and + fractions respectively. Although the sample composition is the same the oxidation rate is affected by the surface area.

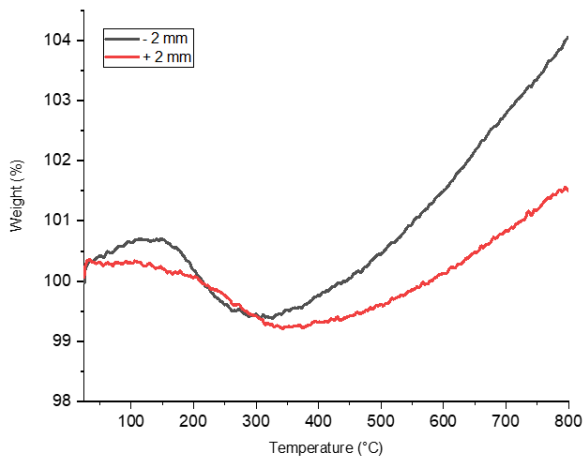


Figure 2. Thermo-gravimetric analysis -2 and +2 mm AlSi7Mg0.3 machining waste under pure O₂.

Two pre-trials were conducted without a salt flux to observe the remelting behaviour of the machining waste in the absence of salt. No melt was obtained at 800 °C for both fractions. This indicates that the high specific surface area of the samples hinders the molten aluminium to break the oxide layer and coagulate. Therefore, the rest of the trials were performed under a salt flux (NaCl, KCl, and CaF₂).

Figure 3. presents the metal yield and coagulation results

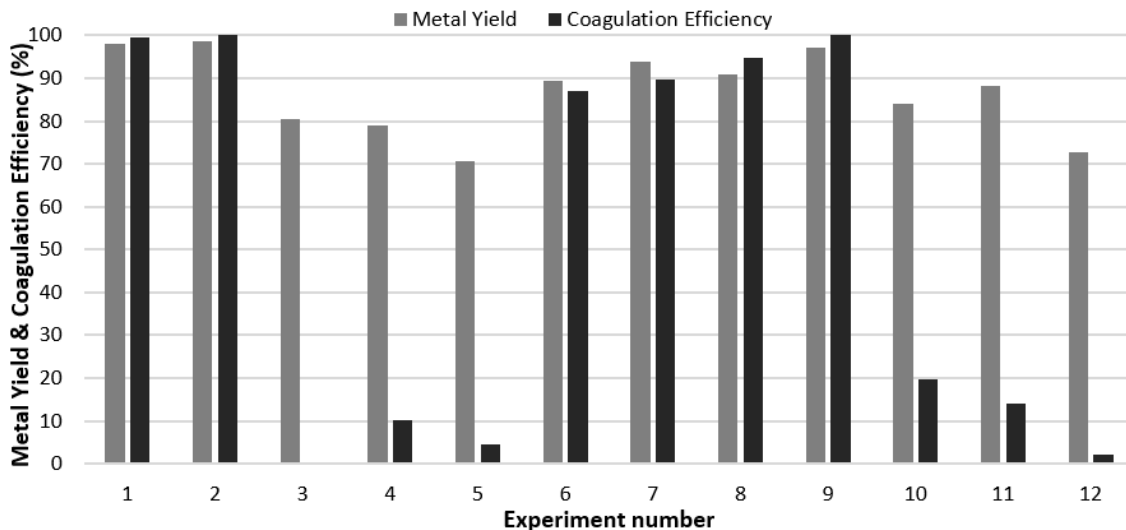


Figure 3. Metal yield and coagulation efficiency results of the machining waste of AlSi7Mg0.3 alloy.

after remelting the machining waste under the salt fluxes. The first seven trials were remelted by using a chloride mix 70:30 NaCl:KCl and CaF₂ as the coagulation agent. The results of +2 mm fraction are shown as 1st and 2nd trials in the diagram. The metal yield and coagulation results were 98.4% ±0.4 and 9.7% ±0.3 respectively. These results indicate that the low oxide/metal ratio allows the salt flux to remove the oxide layer easily even without any stirring. In addition, the salt amount used in the trials was enough to avoid further oxidation during remelting.

The parameters of the third trial were same as the 1st and 2nd trials except the size of the chips. -2 mm fraction was used in this trial which showed almost 20% of metal loss and no coagulation. To investigate the effect of the salt, the salt amount was doubled in the fourth trial which did not change the metal yield but increased the coagulation to 10.3%. The amount of CaF₂ was increased to 3% in the fifth trial to observe the effect of fluoride in comparison with the 4th trial where CaF₂ was only 2%. With this increase, the metal losses increased to 30% and 4.6% of coagulation was observed. The lower yield might be caused by the increasing melting point of the salt flux with increasing CaF₂ content as shown in the calculation of Milke et al. (2005) (Figure 4.) which was in line with the measurements of Bukhalova and Bergman (1955).

A manual stirring was applied for the sixth and seventh trials and the salt/scrap ratio was increased from one to two in the seventh trial. Stirring increased both the metal yield and coagulation significantly and increasing the salt/metal ratio served an additional 2-4% increase which promoted the protection of the melt and the metal-salt interactions. Only the NaCl:KCl ratio was changed in the eighth and ninth trials and 50:50 ratio was applied. The change in the chloride mix increased the metal yield and coagulation. Coleman and Lacy reported that the binary melting point of 50:50 mix is 645 °C and the melting point increased to 700 °C when NaCl concentration increases to 70wt.%.

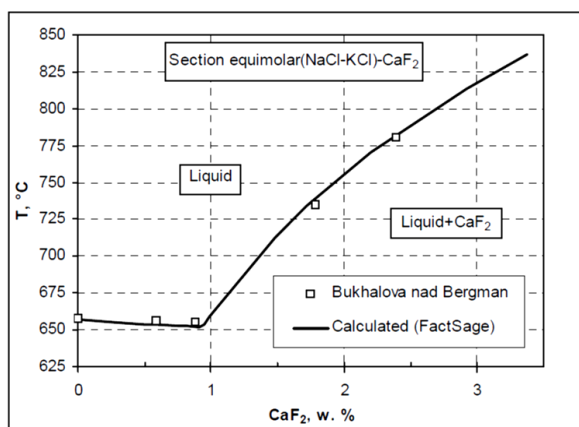


Figure 4. The ternary system NaCl.KCl-CaF₂ calculated by Milke et al. (2005).

The melting point difference is one of the positive influences on recycling which decreases the oxidation of the scrap since liquid salt forms in lower temperature before aluminium oxidizes too much. In addition, Bolivar and Friedrich reported that 50:50 ratio has a higher CaF₂ solubility than the 70:30. This solubility difference might have promoted the removal of oxides and coagulation. As observed in all trials, increasing the salt/scrap ratio increased both the metal yield and coagulation (Coleman et al., 1967; Bolivar et al., 2009).

In the last trials no stirring was applied and CaF₂ was changed as 2 and 3wt.%. A significant decrease in coagulation was observed without stirring. Although the coagulation was very low, 2 wt.% CaF₂ resulted in spherical droplets while 3 wt.% resulted in irregular droplets.

4. Conclusion

Scraps with low surface area needs to be stirred for an acceptable coagulation rate which points out the necessity of rotary furnaces.

50:50 NaCl:KCl ratio promotes the coagulation scraps with high surface area better due to the higher CaF₂ dissolution.

For a higher recycling efficiency and saving the resources, large and fine size fractions of machining wastes should be treated separately.

Author Contributions

The percentage of the author contributions is present below. The author reviewed and approved final version of the manuscript.

	M.G.	R.Ö.T	A.Y.K	O.Ö.
C	100			
D	100			
S	100			
DCP	25	25	25	25
DAI	25	25	25	25
L		50	50	
W	50	10	30	10
CR	50			50
SR	50		50	
PM	100			
FA	100			

C=Concept, D= design, S= supervision, DCP= data collection and/or processing, DAI= data analysis and/or interpretation, L= literature search, W= writing, CR= critical review, SR= submission and revision, PM= project management, FA= funding acquisition.

Conflict of Interest

The author declared that there is no conflict of interest.

Ethical Consideration

Ethics committee approval was not required for this study because of there was no study on animals or humans.

Acknowledgements

This research was funded by the Scientific and Technological Research Council of Türkiye (TÜBİTAK) under the BİDEB-2232 program with grant number 118C311. Center for Materials Research at İzmir Institute of Technology is gratefully acknowledged for the sample analyses. The authors gratefully acknowledge the help of Barkın Yeşilyurt and Ahmet Tuna Dumanoglu from Private Çakabey Schools while conducting the experiments.

References

- Bolivar R, Friedrich B. 2009. The influence of increased NaCl:KCl ratios on metal yield in salt bath smelting processes for aluminium recycling. *World Metallurgy ERZMETALL*, 62(6): 366-371.
- Bukhalova GA, Bergman AG. 1995. Reciprocal 4-component system of fluorides and chlorides of Na, K, Ca and Ba as a flux base for remelting of secondary light metals. *Russ J Appl Chem*, 28(12): 1266-1274.
- Capuzzi S, Timelli G. 2018. Preparation and melting of scrap in aluminum recycling: A review. *Metals*, 8(4): 249. DOI: 10.3390/met8040249.
- Coleman DS, Lacy PDA. 1967. The phase equilibrium diagram for the KCl-NaCl system. *Mater Res Bull*, 2(10): 935-938. DOI: 10.1016/0025-5408(67)90149-3.

- Das SK, Yin W. 2007. The worldwide aluminum economy: The current state of the industry. *JOM*, 59: 57-63.
- Göknelma M, Meling I, Soylu E, Kvithyld A, Tranell G. 2019. A method for assessment of recyclability of aluminum from incinerated household waste. *Light Metals*, 2019: 1359-1365.
- Kara A, Çubuklusu HE, Topçuoğlu ÖY, Çe ÖB, Aybarç U, Kalender C. 2017. Alüminyum alaşımlı jantların tasarım ve ağırlık optimizasyonu. *Pamukkale Üniv Müh Bil Derg*, 23(8): 957-962.
- Kelly S, Apelian D. 2018. Automotive aluminum recycling at end of life: a grave-to-gate analysis. Center for Resource Recovery and Recycling (CR3) Metal Processing Institute Worcester Polytechnic Institute, Worcester, UK, pp: 100.
- Milke E., Friedrich B, Sydykov A, Arnold A. 2005. Solubility of CaF₂ in NaCl-KCl salt flux for Al-recycling and its effect on Al-loss. *Proc - Eur Metall Conf EMC*, September 18-21, 2005, Dusseldorf, Germany, pp: 1537-1548.
- Ozer G, Acar S, Kısasoz A, Guler KA. 2021. Effect of waste titanium chips addition into the aluminum alloys on their microstructure. *Gazi Univ J Sci*, 34(4): 1096-1105. DOI: 10.35378/gujs.819612.
- Tenorio JAS, Espinosa DCR. 2002. Effect of salt/oxide interaction on the process of aluminum recycling. *J Light Metals*, 2(2): 89-93.
- The European Aluminium Association. 2021. The aluminium effect, a unique metal with unique properties'. URL: <https://european-aluminium.eu/about-aluminium/the-aluminium-effect/>. (accessed date: January 5, 2023).
- Yang Y, Xiao Y, Zhou B, Reuter MA. 2005. Aluminium recycling: Scrap melting and process simulation. *John Floyd International Symposium: Sustainable Developments in Metals Processing*, July 3-6, 2005, Melbourne, Australia, pp: 150-160.



SYLLOGISM OF Li-FePO₄ BATTERY CELL VOLTAGE PARAMETER GUESS UNDER APERIODIC DYNAMIC CURRENT PROFILE BY SOME DATA-DRIVEN TECHNIQUES: A ERROR- BASED STATISTICAL COMPARISON BETWEEN DECISION TREE, SUPPORT VECTOR, BEE COLONY, AND NEURAL NETWORK

Taner ÇARKIT^{1*}, Sümeyye ÇARKIT²

¹Kırklareli University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics Engineering, 39100, Kırklareli, Türkiye


²Erciyes University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics Engineering, 38039, Kayseri, Türkiye


Abstract: The various procedures are used in the literature for defining battery parameter change such as direct measurement methods, model-based methods, and data-driven methods, which contain the algorithms used in this paper also. The main aim of this study is to present a powerful and highly correct way of parameter forecasting of the A123 Systems 26650 cylindrical type Li-FePO₄ battery cell. A few of the goal of this paper is to show the guessing performance of the artificial bee colony algorithm, which has a very limited number of applications on the battery parameter of literature, under the non-periodic dynamic charge/ discharge current profile. Then, a comparison has been made between artificial bee colony, artificial neural networks, support vector machine, and decision tree algorithms used in the paper. The load-connected terminal voltage is defined by considering the 100%-60% state of charge range in the primary usage areas of the batteries. A statistical comparison has been made by considering the absolute errors, squared errors, and the regression values information regarding the results presented by the methods. Consequently, the regression values that give information about the consistency of the confidence interval and results, of the bee colony, neural network, support vector, and decision tree methods have been determined as 99.92%, 99.75%, 96.00% and 95.79%, respectively. Moreover, mean squared errors of the methods has been calculated as 0.00202%, 0.00648%, 0.00998%, and 0.11%, respectively. As a new generation algorithm, artificial bee colony, which gave the most successful results according to the results obtained in the study, has been compared with two different methods selected from the existing literature, eXtreme Gradient Boosting and Smoothed eXtreme Gradient Boosting.

Keywords: Artificial intelligence, battery, machine learning, parameter, forecasting

*Corresponding author: Kırklareli University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics Engineering, 39100, Kırklareli, Türkiye

E mail: tanercarkit@klu.edu.tr (T. ÇARKIT)

Taner ÇARKIT  <https://orcid.org/0000-0002-5511-8773>

Sümeyye ÇARKIT  <https://orcid.org/0000-0002-5236-4813>

Received: January 22, 2023

Accepted: May 03, 2023

Published: July 01, 2023

Cite as: Çarkit T, Çarkit S. 2023. Syllogism of Li-FePO₄ battery cell voltage parameter guess under aperiodic dynamic current profile by some data-driven techniques: A error-based statistical comparison between decision tree, support vector, bee colony, and neural network. BSJ Eng Sci, 6(3): 245-252.

1. Introduction

A suitable battery management system (BMS) is needed for good management of battery blocks in electronic systems. For increasing the performance and control capability of BMSs, the correct algorithm has to be running. In order for BMSs to step in at the right time and interfere with system, it is important to determine parameters such as battery current (I), open circuit voltage (V_{oc}), terminal voltage (V_T), state of charge (SoC), number of cycles (N_c), and state of health (SoH) with consistent accuracy. There are many different methods that have been tried on Li-Ion batteries in the literature. There are different traditional approaches such as Coulomb counting, electrical equivalent circuit models, and mathematical or electrochemical models for the detection of V_T , which is the subject of this study and is highly dependent on the SoC . The development of data

science (DS) necessarily incorporates machine learning (ML) and artificial intelligence (AI) techniques into applications in the field of parameter estimation of Li-Ion batteries. ML models allow researchers to extract patterns and trends from data and enable them to generalize the finding to the novel data with affordable computations. However, the number of studies conducted with the algorithms that are the subject of this study is either very limited or non-existent. Therefore, it is clear that this paper will contribute to the literature to increase the number of sources.

Chemali et al. (2018), have investigated SoC estimation by using artificial neural networks (ANN) to develop BMSs used in Li-Ion batteries. Ipek et al. (2019), have studied SoC estimation for Li-FePO₄ batteries by using support vector machine (SVM) and DT-based eXtreme Gradient Boosting (XGBoost). Wang et al. (2019), have



used support vector regression (SVR) optimized by artificial bee colony (ABC) to determine the lifetime of Li-Ion batteries. Gradient boosted decision trees (DT) are trained for *SoH* estimation in Khaleghi et al. (2020)'s studies. Huotari et al. (2021), have carried out studies on Li-Ion batteries for enhancing the operating performance of electric forklifts. A good battery design has been tried to be achieved by using *SoH* and N_c estimation. At this stage, autoregressive integrated modeling average (ARIMA) and supervised learning (bagging with decision tree as the base estimator; BAG) has been used. Shu et al. (2021), have conducted a review study including many ML-based methods to determine the *SoH* of Li-Ion battery and to make estimations. Ipek and Yilmaz (2021), have studied *SoC* estimation using XGBoost and hybrid XGBoost under dynamic operating conditions. Carkit et al. (2022), have made parameter estimation under the combined variable charge/discharge profile using decision tree algorithm and artificial bee colony algorithm. Niri et al. (2022), has used AI technology to develop electrodes during the production of Li-Ion batteries. Correlation has been made between production parameters and electrode quality. ML models have been developed to measure the predictability of electrode and cell properties. Yan et al. (2022), have used empirical model and exponential model powered with ABC to find the usable current capacity that varies depending on N_c in Li-Ion batteries. Carkit et al. (2022), have defined V_{oc} and V_T as the *SoC* dependent function by using the electrical equivalent circuit model. Also, particle swarm optimization (PSO), genetic algorithm (GA), and ABC methods have been used in the study. It has been determined that ABC performs successfully according to PSO and GA. Tian et al. (2022), have developed a hybrid model based on convolutional neural network (CNN)-bidirectional long short-term memory (BiLSTM) and attention mechanism (AM) for forecasting the *SoH* of Li-Ion batteries. The available current capacity is monitored for parameter estimation tracking. The root mean square error (RMSE) value has been calculated as less than 0.01. Wei et al. (2023), have researched to predict *SoH* and remaining useful life of Li-Ion batteries using graph convolutional network (GCN) with dual attention mechanisms. The proposed method has accurately predicted the state-of-health and remaining useful life with a minimum root-mean-squared-error of 0.0104 and 5.80, respectively.

This study contributes to the data-driven approaches by using DT, fine Gaussian (FG)-SVM, ANN, and ABC to predict *SoC* and V_T .

2. Materials and Methods

Current technological progress has increased the popularity of data-driven methods, which are based on interpretation by reading data in the direction of traditional forecasting methods. The advantages of these methods include the complexity of the process in traditional methods, and the prevention of possible user

errors that have the potential to occur in electrical circuits. On the other hand, these current methods are mainly carried out by software and algorithms (Huotari et al., 2021). Moreover, it needs real test results from experimental data (Wu et al., 2016).

2.1. Decision Tree Algorithm

Decision tree algorithm is a method often used in classification processes in DS and ML. Clustering and prediction processes can be included among the other application areas of the algorithm in the literature. The operation of this algorithm that is given Figure 1, is based on the tree structure (Timucin et al., 2019). In the structure of decision trees, there are leaves at the far end (Han et al., 2000), branches extending from the leaves to the nodes, and the main trunk extending from the nodes where the branches meet to the roots. The algorithm reaches the conclusion point by determining its own path according to the "Ok" or "Not-Ok" answers given to the conditions at the node points. The information sent to the algorithm is divided into smaller pieces and used to reach the final goal (Yang et al., 2013). While doing this, many nodes are determined by the algorithm as in Figure 1, which consists of control conditions. The first node in the structure of the data tree is called the "root node".

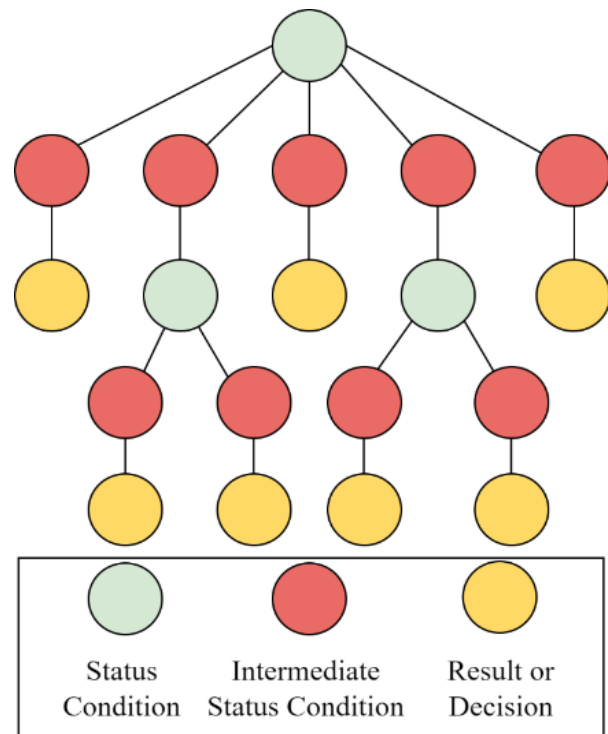


Figure 1. The search structure of DT

2.2. Support Vector Machine

The basis of SVM is placing the farthest boundary line from the data between two statistically separated data groups and creating the critical territory. For this study, one of the data sets consists of real test results, and the other is the results predicted by SVM. As it can be seen in Figure 2, in determining the final boundary zone, the support vectors (SV) are assisted by the observations closest to the boundary (Panarese, 2022). Here, w_n

represents the internal weights, x_n is the input data, b represents the threshold values, and f is the objective function. The purpose of SVM is to first collect the estimation points in the margin area and align them on f . SVM not only provides relatively accurate prediction results in case of fewer data samples, but also compensates for the shortcoming that the ANN model easily falls to the optimal local extremity (Yao et al., 2021).

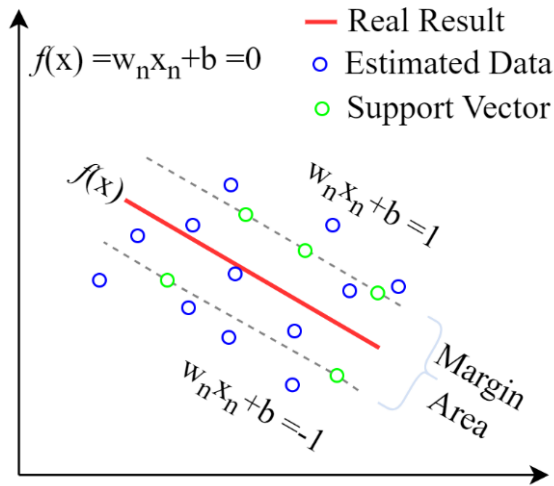


Figure 2. The search structure of SVM

2.3. Artificial Neural Network

ANN, inspired by the functioning of human brain nerve cells, is accepted as a "black box" model, just like the biological features of the brain (Han et al., 2019). The mathematical and neural model of an ANN is given in Figure 3. In the figure, x_i 's represent the input data, w_i values are the ANN internal system weights, f is the activation function, and b is the threshold value. As seen in Figure 4, ANN has at least three layers as input, hidden, and output layers. Data alerts coming from outside are processed through each layer. The processed data reaches the output layer and is transferred to the user by the algorithm. According to the problem for which a solution is sought, a multi-layered method can be obtained by increasing the number of ANN layers by the researchers. In addition to being used as an AI method in some studies, ANN, which is included as an ML method in other some studies, is easy to simulate and non-linear, creating a wide variety of usage areas. Moreover, the use of ANN in battery management applications by different researchers in previous years supports the experience of this method (Wang et al., 2016).

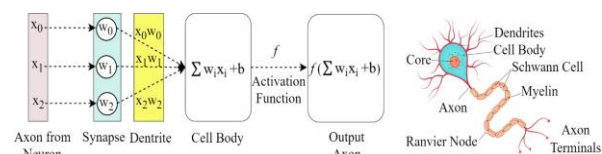


Figure 3. Mathematical model of ANN and exemplary neuron structure

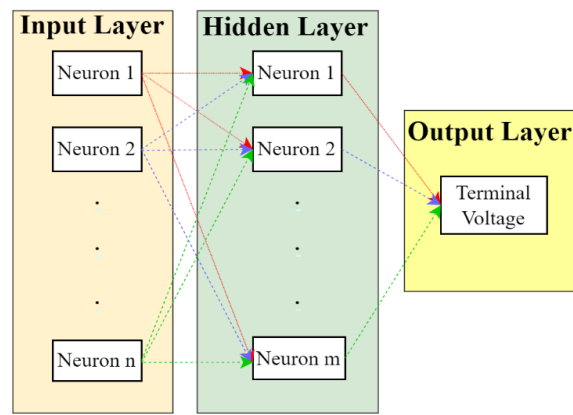


Figure 4. Layer structure and neuron connections of ANN

2.4. Artificial Bee Colony Algorithm

Another method used in the study is the ABC algorithm. ABC, which is among the AI algorithms, is a current optimization method. In ABC, the basic structure of which is given in Figure 5, bees are divided into three classes: Scout bee, onlooker bee, worker bee (Karaboga et al., 2007). In ABC, scout bees approaching food sources randomly calculate the amount of food in the sources. Afterwards, the worker and onlooker bees are informed by the scout bees and the workflow of directing the bees to the sources begins. Solutions to the problem under study represent the locations of food sources for ABC. The amount of nutrients in food sources corresponds to the suitability (quality) of the solutions offered to the problem (Dogan, 2011). In the decision-making process in ABC, there are traces of the collective decision-making approach used by the bees in natural life in their daily operations (Karaboga, 2014).

3. Results and Discussion

3.1. Parameter Forecasting Using Algorithms

The variation of the cell voltage of the A123 Systems 26650 Li-FePO₄ 2500 mAh battery cell, which is the subject of this study, between 100% and 60% SoC that has been obtained by ampere-hour (A.h) method, as seen in Figure 6, is examined.

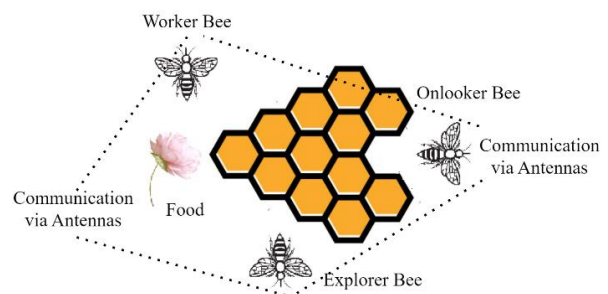


Figure 5. The search structure and communication status of ABC

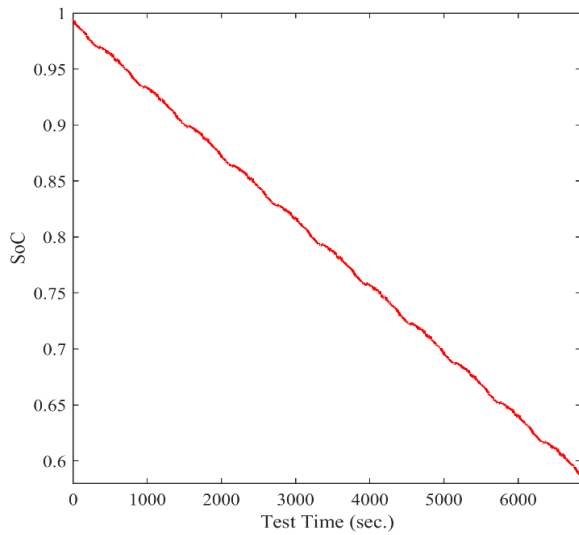


Figure 6. Variation of SoC according to current profile

3.2. Parameter Forecasting Using Algorithms

The variation of the cell voltage of the A123 Systems 26650 Li-FePO₄ 2500 mAh battery cell, which is the subject of this study, between 100% and 60% SoC that has been obtained by ampere-hour (A.h) method, as seen in Figure 6, is examined. It is aimed to accurately determine the cell voltage in Figure 7 by using the experimental test data of the CALCE Battery Research Group (CALCE, 2022). For increasing the complexity and difficulty level of the study, the preferred voltage and current flow profiles are not periodic as seen in Figure 7 and Figure 8. Moreover, the details of non-predetermined dynamic profiles can be found in Figure 7 and Figure 8. At the stage of determining the V_T , the equation depending on the SoC given in equation 1 is used. In the equation, the V_T is defined as the third order exponential function of SoC. $a_{1..5}$ represents the coefficients of the equation.

$$V_{T(SoC)} = a_1 + a_2(SoC)^3 + a_3(SoC)^2 + a_4(SoC)^1 + a_5 \quad (1)$$

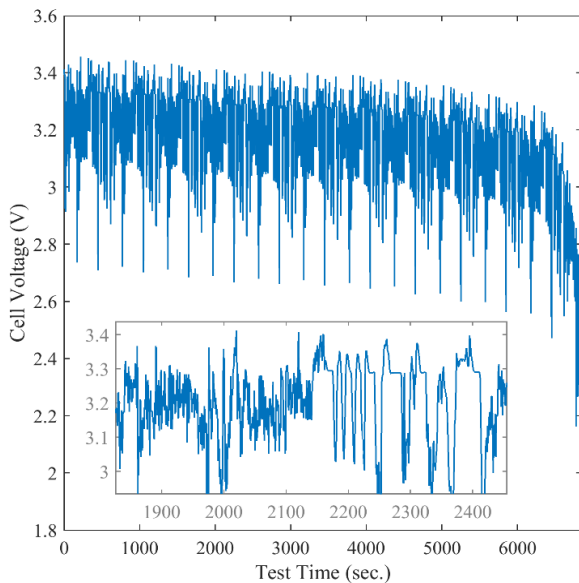


Figure 7. Changing of V_T according to current profile

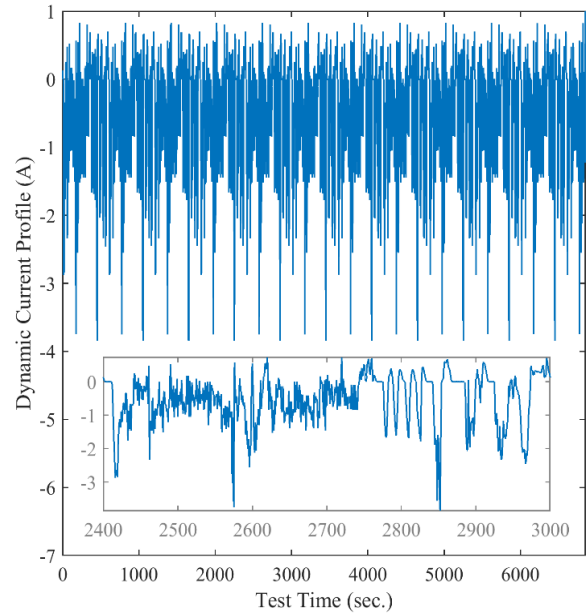


Figure 8. Dynamic current profile

The branching of the DT algorithm, which is preferred for ML purposes, according to the way it uses the data is given in Figure 9. Final data points are reached by considering V_T , SoC, I , and test step time information. Although the speed is very high on the server where the data is processed during the operation of the DT, memory and performance requirements occur. The compatibility of the cell voltage generated using the DT algorithm with the real data is given in Figure 10. The absolute error (e_a) and the squared errors (SE) obtained according to the information provided by DT are given in Figure 11. During the execution of FG-SVM for prediction, the processing speed is high. On the other hand, the memory and performance requirement is similar to DT. The correspondence of the cell voltage produced using FG-SVM with the actual data is given in Figure 12. The e_a and SE obtained according to the information provided by FG-SVM are given in Figure 13.

The processing speed of ANN, which is one of the AI algorithms, is high during its operation for prediction purposes. Levenberg-Marquardt algorithm with 30 neurons selected from the ANN using previous experiences has a high speed (Carkit, 2022). Moreover, the memory and performance requirement are similar to DT and FG-SVM. The correspondence of the cell voltage generated using the ANN with the actual data is given in Figure 14. The e_a and SE obtained according to the information provided by ANN are given in Figure 15. Although the speed of the ABC algorithm used in the AI field is high in the server where the data is processed, it is slower than DT, FG-SVM, and ANN. On the other hand, the memory and performance requirement is less than the others. Compatibility of the cell voltage generated using the ABC algorithm with the real data is given in Figure 16. The error information obtained according to the information provided by ABC is given in Figure 17.

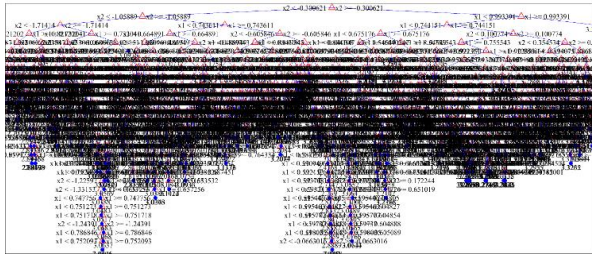


Figure 9. The decision-making strategy of DT

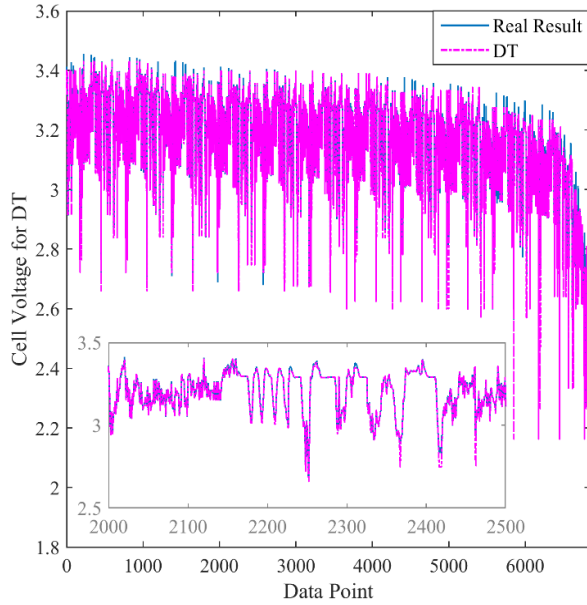


Figure 10. Compatibility of V_T prediction value presented by DT

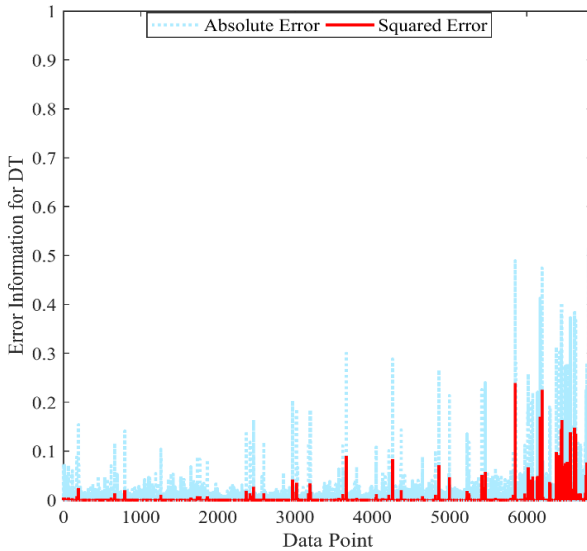


Figure 11. Error information of DT's forecast performance

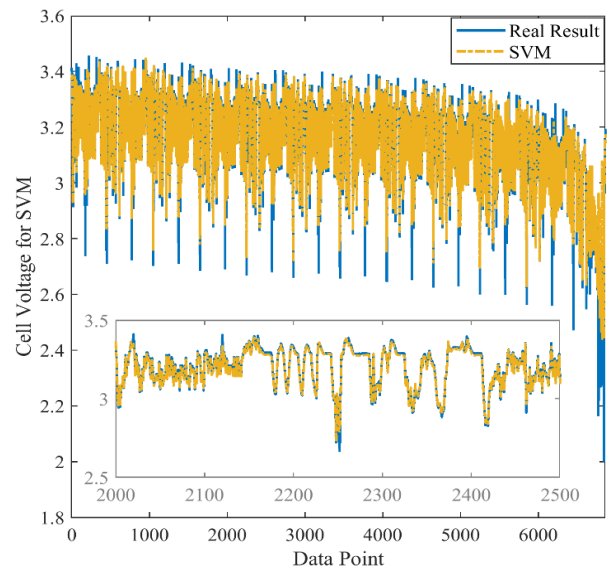


Figure 12. The fit of the V_T prediction value presented by FG-SVM

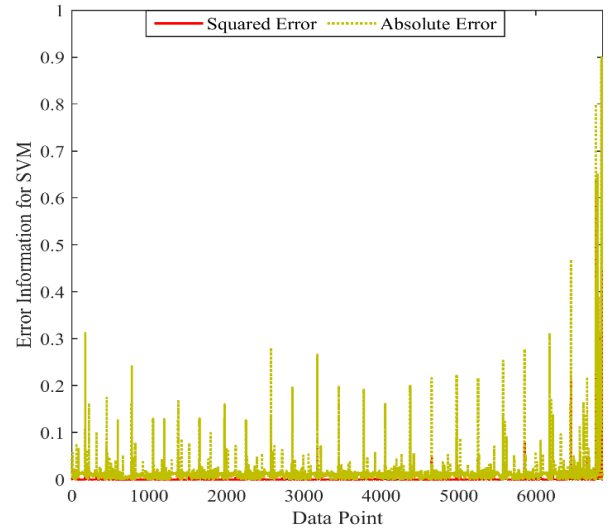


Figure 13. Error information of FG-SVM's forecast performance

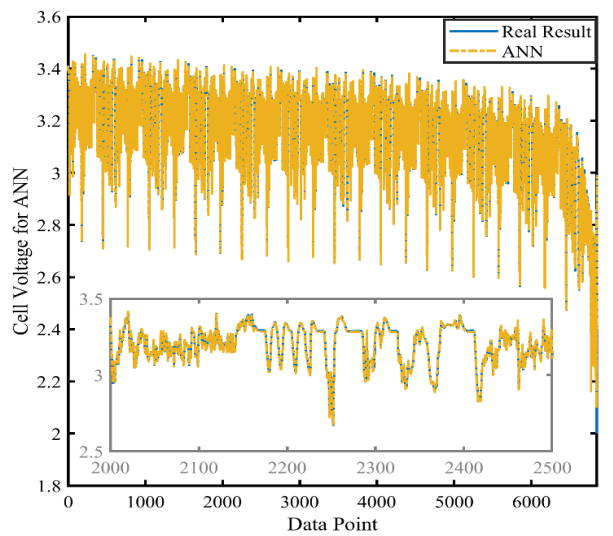


Figure 14. The fit of the V_T prediction value presented by ANN

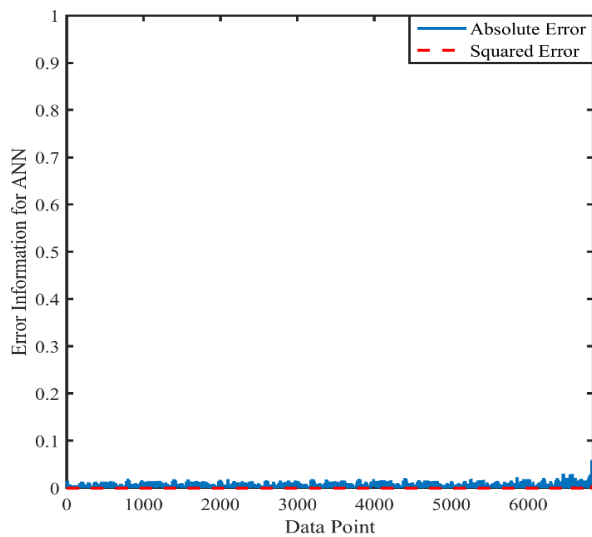


Figure 15. Error information of ANN's forecast performance

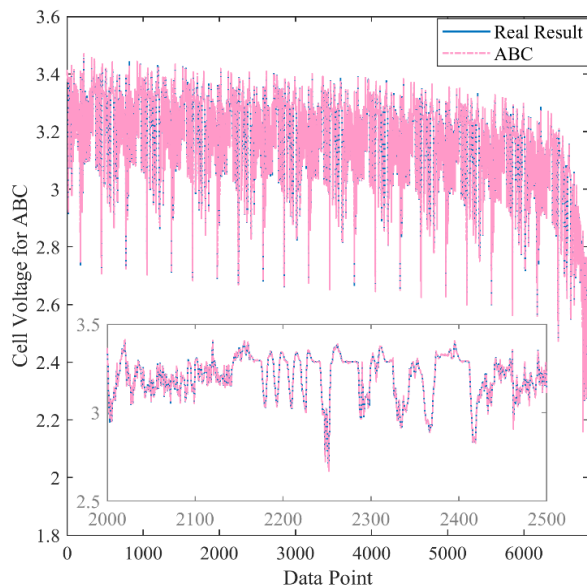


Figure 16. The fit of the V_T prediction value presented by ABC

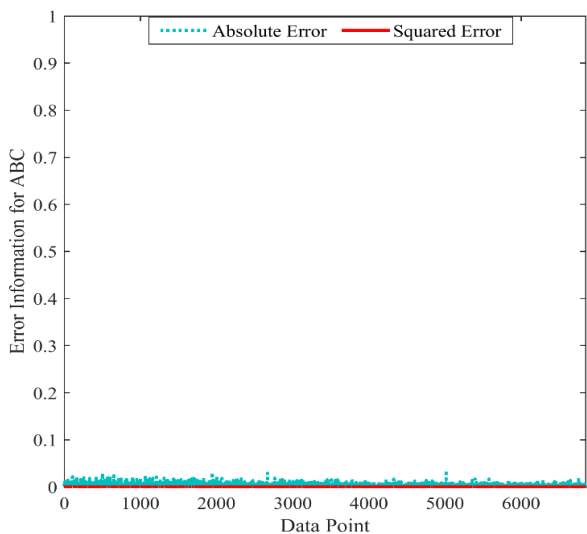


Figure 17. Error information of ABC's forecast performance

In Table 1, which constitutes the summary theme of the study, error information of methods is given. As can be seen from the table; DT, ABC, ANN, and FG-SVM algorithms have performed with 0.010, 0.003, 0.005 and .012 average e_a respectively. Considering the average e_a , ABC has the most successful method compared to the others. Moreover, the performance of the methods for MSE is 0.001, $(2.028)10^{-5}$, $(6.4891)10^{-5}$, and $(9.989)10^{-4}$ respectively. In summary, ABC has outperformed the others methods which are analyzed for this paper in terms of MSE and mean e_a . On the other hand, considering the R^2 values given in Table 2. The R^2 values for the DT, ABC, ANN, and FG-SVM algorithms are 0.9579, 0.9992, 0.9975, and 0.9600 respectively. Considering the R^2 statistical evaluation method, the most successful method is seen as ABC. When the results are evaluated in the context of the literature, the methods used provide the correct interpretation of the research. In addition, the results obtained are consistent with the literature results. The data showing the comparison of the study with a similar study in the literature are given in Table 2. R^2 values of ABC, ANN, Smoothed XGBoost, and XGBoost methods have been obtained as 99.92%, 99.75%, 99.43%, and 98.81 respectively. The $MSE\%$ values of ABC, ANN, Smoothed XGBoost, and XGBoost methods have been determined as $(2.02)10^{-3}$, $(6.48)10^{-3}$, $(20)10^{-3}$, and $(50)10^{-3}$ respectively. As can be seen, ANN and ABC methods have outperformed XGBoost and Smoothed XGBoost that are similar methods in the literature. Even, the ABC method has given more accomplished results than all the literature methods which have been given in this study.

Table 1. Error statistics of algorithm outputs

Algorithms	DT	ABC	ANN	FG-SVM
Min (e_a)	0	$(7.851)10^{-8}$	$(5.929)10^{-7}$	$(9.316)10^{-6}$
Max (e_a)	0.945	0.034	0.250	0.900
Mean (e_a)	0.010	0.003	0.005	0.012
Min (SE)	0	$(6.164)10^{-15}$	$(3.516)10^{-13}$	$(8.679)10^{-11}$
Max (SE)	0.893	0.001	0.062	0.811
MSE	0.001	$(2.028)10^{-5}$	$(6.4891)10^{-5}$	$(9.989)10^{-4}$

Table 2. Achievement comparison of performed forecast techniques against dynamic I-V profile

Methods	Reference	R ² (%)	MSE (%)
DT	This study	95.79	(0.11)
ABC		99.92	$(2.02)10^{-3}$
ANN		99.75	$(6.48)10^{-3}$
FG-SVM		96.00	$(99.8)10^{-3}$
XGBoost	(Ipek et al., 2021)	98.81	$(50)10^{-3}$
Smoothed XGBoost		99.43	$(20)10^{-3}$

4. Conclusion

In this study, which is planned by using up-to-date methods such as artificial intelligence and machine learning; firstly, knowledge about decision tree algorithm, support vector machine, artificial neural network, and artificial bee colony algorithm are given. The change of cell voltage and state of charge with the effect of dynamically showing current profile has been investigated. Estimation data of cell voltage have been obtained by running the algorithms. It is seen that the decision tree algorithm, which is generally used in classification processes in data mining, could have used in the parameter estimation of batteries with acceptable accuracy in this study. The support vector machine method, which is frequently used in regression processes by using support vectors, has presented more acceptable results than the decision tree in terms of mean squared error and R squared. The artificial neural network method, which has been increasingly used in recent years, has shown more successful results than machine learning methods and reference two methods in the literature. As a result of the comparison of each method that have been studied in paper, it has been determined that the artificial bee colony algorithm has showed a more successful prediction performance. On the other hand, it has been seen that the artificial intelligence algorithms have been slower than the machine learning algorithms. It has been noticed that the artificial intelligence algorithms have need less memory and performance support. Furthermore, it has been determined that artificial bee colony and artificial neural network have given more successful results than two different methods which have been chosen from the current reference studies in the literature.

Author Contributions

The percentage of the author(s) contributions is present below. All authors reviewed and approved final version of the manuscript.

	T.Ç.	S.Ç
C	50	50
D	50	50
S	50	50
DCP	50	50
DAI	50	50
L	50	50
W	50	50
CR	50	50
SR	50	50

C=Concept, D= design, S= supervision, DCP= data collection and/or processing, DAI= data analysis and/or interpretation, L= literature search, W= writing, CR= critical review, SR= submission and revision.

Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses, or interpretation of data; in the writing of the manuscript, or in the decision to publish the results.

Ethical Consideration

Ethics committee approval was not required for this study because of there was no study on animals or humans.

Acknowledgements

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

References

- Carkit T. 2022. Determination of output voltage of Li-FePO₄ battery cells using artificial neural networks under variable current profile. *Inter J Sci Eng Res*, 13(12): 15-19.
- Carkit T, Alci M. 2022. Comparison of the performances of heuristic optimization algorithms PSO, ABC and GA for parameter estimation in the discharge processes of Li-NMC battery. *J Energy Systems*, 6(3): 387-400.
- Carkit T, Carkit S. 2022. Forecasting of terminal voltage of Li-FePO₄ batteries in the context of dynamic current profile using machine learning and artificial intelligence: Decision tree algorithm and artificial bee colony algorithm. In: *International Cumhuriyet Artificial Intelligence Applications Conference*, December 8-9, Sivas, Türkiye, pp: 76-80.
- CALCE. 2022. Center for advanced life cycle engineering battery research group. URL: <https://web.calce.umd.edu/batteries/data.htm> (accessed date: November 30, 2022).
- Chemali E, Kollmeyer P, Preindl M, Emad A. 2018. State-of-charge estimation of li-ion batteries using deep neural networks: A machine learning approach. *J Power Sourc*, 400: 242-255.
- Dogan A. 2011. Application of optimization algorithms to provide optimum power flow on power systems. MSc thesis, Erciyes University, Kayseri, Türkiye, pp: 119.
- Han J, Kamber M. 2000. *Data mining concepts and techniques*. Morgan Kaufmann, Waltham, USA, 3rd ed., pp: 740.
- Han X, Feng X, Ouyang M, Lu L, Li J, Zheng Y, Li Z. 2019. A comparative study of charging voltage curve analysis and state of health estimation of lithium ion batteries in electric vehicle. *Autom Innov*, 2: 263-275.
- Huotari M, Arora S, Malhi A, Framling K. 2021. A dynamic battery state-of-health forecasting model for electric trucks: Li-ion batteries case-study. In: *International Mechanical Engineering Congress and Exposition*, November 16-19, Virtual Conference, USA, pp: 10.
- Ipek E, Eren MK, Yilmaz M. 2019. State-of-charge estimation of li-ion battery cell using support vector regression and gradient boosting techniques. In: *IEEE International Aegean Conference on Electrical Machines and Power Electronics & International Conference on Optimization of Electrical and Electronic Equipment*, August 27-29, Istanbul, Türkiye, pp: 604-609.
- Ipek E, Yilmaz M. 2021. A novel method for SOC estimation of Li-ion batteries using a hybrid machine learning technique. *Turkish J Elect Engin Comput Sci*, 29(1): 18-31.
- Karaboga D. 2014. *Artificial intelligence optimization algorithms*. Nobel Academic, Ankara, Türkiye, pp: 246.
- Karaboga D, Basturk B. 2007. A powerful and efficient algorithm for numerical function optimization: Artificial bee colony (ABC) algorithm. *J Global Optimiz*, 39: 459-471.
- Khaleghi S, Firouz Y, Bercibar M, Mierlo J. 2020. Ensemble gradient boosted tree for SoH estimation based on diagnostic features. *Energies*, 13(5): 1262.
- Niri MF, Liu K, Apachitei G, Ramirez L, Lain M, Widanage D, Marco J. 2022. Quantifying key factors for optimised manufacturing of li-ion battery anode and cathode via artificial intelligence. *Energy AI*, 7: 1-16.
- Panarese P. 2022. Approximation techniques with MATLAB. *Software Approx*, 15: 109-140.
- Shu X, Shiquan S, Jiangwei S, Yuanjian Z, Li G, Chen Z, Liu Y. 2021. State of health prediction of lithium-ion batteries based on machine learning: *Advances and Perspectives*. *iSci*, 24: 03265.
- Tian Y, Wen J, Yang Y, Shi Y, Zeng J. 2022. State-of-Health Prediction of Lithium-Ion Batteries Based on CNN-BiLSTM-AM. *Batteries*, 8(10): 155.
- Timucin F, Aytekin A, Ayaz A. 2019. Decision tree algorithm in data mining. In: *5th International Social Research and Behavioral Sciences Symposium*, October 11-12, Tbilisi, Georgia, pp: 350-356.
- Yan L, Peng J, Gao D, Wu Y, Liu Y, Li H, Liu W, Huang Z. 2022. A hybrid method with cascaded structure for early-stage remaining useful life prediction of lithium-ion battery. *Energy*, 243: 123038.
- Yang Y, Farid SS, Thornhill F. 2013. Prediction of biopharmaceutical facility fit issues using decision tree analysis. *Computer Aided Chem Engin*, 32: 61-66.
- Yao L, Xu S, Tang A, Zhou F, Huo J, Xiao Y, Fu Z. 2021. A review of lithium-ion battery state of health estimation and prediction methods. *World Elect Vehicle J*, 12(3): 113.
- Wang Y, Ni Y, Lu S, Wang J, Zhang X. 2019. Remaining useful life prediction of lithium-ion batteries using support vector regression optimized by artificial bee colony. *IEEE Transact Vehic Technol*, 68(10): 9543-9553.
- Wang Y, Yang D, Zhang X, Chen Z. 2016. Probability based remaining capacity estimation using data-driven and neural network model. *J Power Sourc*, 315: 199-208.
- Wei Y, Wu D. 2023. Prediction of state of health and remaining useful life of lithium-ion battery using graph convolutional network with dual attention mechanisms. *Reliabilit Engin System Safety*, 230: 108947.
- Wu J, Wang Y, Zhang X, Chen Z. 2016. A novel state of health estimation method of li-ion battery using group method of data handling. *J Power Sourc*, 327: 457-464.



AÇIK VERİ VE BLOKZİNCİR

Arif Furkan MENDİ*^{1,2}

¹HAVELSAN, 06510, Ankara, Türkiye

²Ostım Technical University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, 06374, Ankara, Türkiye

Özet: Açık veri herhangi bir kişi/kurum tarafından ücretsiz olarak erişilebilecek, yeniden kullanılabilir ve dağıtılabilir veridir. Bilimsel araştırmaların sayısının ve kalitesinin artması için kamu kurum ve kuruluşlarının sahip olduğu büyük veriyi halka açık hale getirmesi kritik öneme sahiptir. Bu çalışmada açık veri kaynağı kullanılarak elde edilecek verinin analiz edilmesi ve blokzincir altyapısı ile tutulması konuları ele alınmaktadır. Ankara Büyükşehir Belediyesinin 2022 yılında dünyaya açmış olduğu Şeffaf Ankara portalinde yer alan yol, yapı, su kanalizasyon onarım bakım konumsal verilerinin toplanması, sınıflandırılması ve güvenli bir şekilde tüm taraflardan alınan verilerin raporlanması çalışması gerçekleştirilmiştir. Aynı zamanda, bu platformdan alınan verilerin sosyal medya paylaşımları yapılabilmesi için yapılandırılmış bir hale getirilmesi, belirlenecek aralıklarla paylaşım yapılabilmesi altyapısı oluşturulmuştur. Bu altyapı blokzincir teknolojisi kullanılarak kurulmuş, böylelikle sistemin güvenliği ve veri manipülasyonunun önüne geçilmesi sağlanmıştır. Bu yapının sağlıklı bir şekilde kurulmasının yanında, hem Ethereum hem Hyperledger kullanılarak iki farklı altyapı sağlayıcısının sunmuş olduğu özellikler kullanılarak alternatif iki sistem elde edilmiş, böylelikle bu iki farklı altyapı sağlayıcısından elde edilen sonuçlar ile performans karşılaştırmaları yapılmıştır. Hyperledger'in saniyelik işlem kapasitesinde Ethereum'a göre 6 kat fazla kapasiteye sahip olduğu, yine Hyperledger'in Ethereum'a göre %33 daha az gecikme süresi ile işlem yapılabilmesine imkân sağladığı deneyimlenmiştir. İleride benzer uygulama geliştirmek isteyenler için karşılaştırmalı, somut analizler elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Açık veri, Blokzincir, Büyük veri


Open Data and Blockchain

Abstract: Open data is data that can be accessed, reused and distributed free of charge by any person/institution. It is critical that public institutions and organizations make their big data available to the public in order to increase the number and quality of scientific research. In this study, the issues of analyzing the data to be obtained using open data source and keeping it with the blockchain infrastructure are discussed. The study was carried out to collect and classify the road, structure, water, sewerage repair maintenance spatial data in the "Seffaf Ankara" portal, which was opened to the world in 2022 by the Ankara Metropolitan Municipality, and to report the data received from all parties in a safe way. At the same time, an infrastructure has been created for the data received from this platform to be structured for social media sharing and for sharing at specified intervals. This infrastructure was established using blockchain technology, thus ensuring the security of the system and preventing data manipulation. In addition to the healthy establishment of this structure, two alternative systems were obtained by using the features offered by two different infrastructure providers using both Ethereum and Hyperledger, so performance comparisons were made with the results obtained from these two different infrastructure providers. It has been experienced that Hyperledger has 6 times more capacity than Ethereum in terms of transaction capacity per second, and that Hyperledger allows transactions with 33% less latency than Ethereum. Comparative and concrete analyzes have been obtained for those who want to develop similar applications in the future.

Keywords: Open data, Blockchain, Big data

*Sorumlu yazar (Corresponding author): HAVELSAN, 06510, Ostım Technical University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, 06374, Ankara, Türkiye

E mail: afmendi@havelsan.com.tr (A.F. MENDİ)

Arif Furkan MENDİ  <https://orcid.org/0000-0002-0750-4012>

Gönderi: 05 Mart 2023

Kabul: 18 Mayıs 2023

Yayınlanma: 01 Temmuz 2023

Received: March 05, 2023

Accepted: May 18, 2023

Published: July 01, 2023

Cite as: Mendi AF. 2023. Open Data and Blockchain. BSJ Eng Sci, 6(3): 253-264.

1. Giriş

Günümüz teknolojik altyapıları ve araçları düşündüğümüzde firmaların ve kurumların müşterilerini ve işletmelerini daha iyi anlamasına yardımcı olacak verileri toplamasının nispeten kolay olduğu görülmektedir. Hatta o kadar kolay hale gelmektedir ki, başa çıkılması gereken çok fazla veriye sahip olma tehlikesiyle karşılaşmaktadır. Veri ve analitik duayenlerinden Marr (2023) ortalama bir küçük işletmenin, büyük oyunculara göre daha az kendi kendine

üretilen veriye sahip olmasına rağmen bu veriyi anlamlandırmadaki çevikliği ve daha az veriye sahip olmasının getirileri sayesinde öne çıkabilme şanslarının olduğunu vurgulamaktadır.

Deloitte'un veri analitiğinin kullanıcılar üzerindeki etkisini sorduğu bir anketi ele alan bir Forbes makalesi; katılımcıların yüzde 49'unun veri analitiğinin daha iyi kararlar almalarına yardımcı olduğunu, yüzde 16'sının ana stratejik girişimleri daha iyi etkinleştirdiğini ve yüzde 10'unun hem müşterilerle hem de iş ortaklarıyla



ilişkilerini geliştirmelerine yardımcı olduğunu ortaya koymaktadır. Ancak verilerden ve analitikten tam olarak yararlanmak için verilerden en yüksek değerin nasıl alınacağını bilmesi gerekmektedir (Panoho 2019).

Kurumlar için veri analitiği bu denli önemli iken, ellerindeki veri miktarı da bir hayli büyüktür. Diğer taraftan veri analitiği konusu özellikle yeni bir alan olduğu için, ciddi ARGE çalışmaları gerektirmektedir. Kurumlar kendi belirledikleri ve önceliklendirdikleri alanlarda ARGE çalışmalarını yapmalarına rağmen, geniş bakış açısıyla ARGE çalışmalarını kısa/orta vadede yapabilmeleri için sınırsız nitelikli insan kaynağına ihtiyaç duymaktadır. Sınırsız insan kaynağına sahip olabilmek mümkün olmayacağı gibi, nitelikle ARGE çalışmaları yapabilecek araştırmacıların istihdam edilebilmesi de kolay değildir. Çünkü bu alanların akademisyenler tarafından özel olarak çalışılması, teorik boyutlarda detaylı olarak ele alınması gerekmektedir.

Kurumların sahip olduğu büyük veri birikiminin aksine; akademisyenlerin ve bağımsız araştırma enstitülerinin büyük veriye erişimi son derece kısıtlıdır. Bu da araştırmaların yavaşlamasına, çoğu zaman başarısızlığına sebebiyet vermektedir. Bu konunun aşılabilmesi noktasında atılan en önemli adımlardan birisi “açık veri” konseptinin kurumlar tarafından benimsenmeye başlanmasıdır. Açık veri konseptine geçiş ile birlikte kurumların elde etmiş olduğu çeşitli veri setlerini halka açık hale getirdiği görülmektedir. Bu sayede bilimsel çalışmaların hızlanmasına önemli katkılar sağlanmaktadır. Bilimsel gelişmeler sayesinde kurumlar da bundan dolayı olarak avantaj elde etmektedirler.

Son yıllarda, teknoloji ile ilgilenenlerin sıklıkla duyduğu kavramlar arasında büyük veri, açık veri ve blokzincir kavramları yer almaktadır. Büyük veri, eldeki yapılandırılmamış verilerin en sade ve işlenebilir hale getirildikten sonra, karşılaştırma yöntemi kullanılarak bu verilerin birbirleriyle olan ilişkilerinin incelenmesi ve aralarındaki bağlantıların ortaya çıkartılması ile analiz edilir. Bu sayede, alınacak olan kararların sonuçlarını önceden kestirmek mümkün olur. Ayrıca verilerde yer alan çeşitli noktaların yerleri değiştirilerek oluşturulan simülasyonlarla, farklı kararlara verilecek tepkiler görülebilir. Büyük veri tamamen gerçek verilerin analizine dayandığı için maliyetleri düşürme, doğru kanallara reklam harcaması yapma, iş gücünden tasarruf sağlama ve beklentilere uygun ürün geliştirme gibi birçok farklı alanda doğru kararlar alınmasına olanak tanımaktadır.

Açık veri ise, herhangi bir kişi/kurum tarafından ücretsiz olarak kullanılabilir, yeniden kullanılabilir ve dağıtılabilir veriye denir (Pfenninger ve ark., 2017). Bu serbest kullanıma en fazla, veri kaynağına atıfta bulunma ve “benzer paylaşım” (bu verinin kullanıldığı eserlerin, veriden daha sıkı bir telif hakkı korumasıyla dağıtılmaması) gibi sınırlamalar getirilebilir. Özellikle büyük miktarda veriye sahip olan kamu kurumları ve araştırma enstitüleri, bilimsel araştırmaları teşvik etmek için pek çok açık veri platformu kurarak verilerini halka

açık hale getirmeye başladığı görülmektedir. Özellikle, bilimsel araştırmalar için en önemli engellerden biri olan veriye erişimin kısıtlı olması durumunun oradan kaldırılması için çok önemli bir adım olduğu düşünülmektedir.

Avrupa’da ve Amerika’da birçok açık veri setinin kullanıcıların hizmetine sunulduğu görülmektedir. “EU OPEN DATA FORMAL” AB kurumları ve organları tarafından yayınlanan açık verilere erişim sağlamaktadır. Tüm verileri ticari veya ticari olmayan amaçlarla kullanmak ve yeniden kullanmak ücretsizdir. Ekonomi, bilim, eğitim gibi birçok alanlardaki verilere bu platformlardan erişilebilmektedir (Commission, 2023). “DATA.GOV” ABD Hükümeti’nin açık verilerinin merkezidir. Bu sitede Tarım, Yaşam, İklim, Enerji, Denizcilik gibi konularda 200 bine yakın veri seti mevcuttur. Platformda bölge bazlı matematik testi sonuçları, ilçelere göre okula devam ve kayıt istatistikleri, şehir bazlı giderler gibi pek çok setlerine erişilebilmektedir (Shadbolt ve ark., 2007). Amerika’nın önemli araştırma enstitülerinden biri olan UCI (University of California, Irvine)’ın sunmuş olduğu “Machine Learning Repository” platformu ise web üzerindeki en eski ve en popüler veri depolarından biridir. Öğrenciler, eğitimciler ve araştırmacılar tarafından makine öğrenimi veri kümelerinin birincil kaynağı olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Oyuncu, yönetmen, yapımcı, stüdyo bilgileriyle kült film listesi seti, Üniversite Veri Setleri, 1998’den Beri Avrupa’da Antibiyotik Direncinin Oluşumu ve Yayılması Verileri, Günlük Covid-19 verileri gibi pek çok veri seti temin edilebilmektedir (Khan ve ark., 2018). Türkiye’de ise belediyecilik çalışmalarında elde edilen büyük miktarda verinin halkın kullanımına sunulması için özellikle İstanbul, İzmir, Konya, Gaziantep Büyükşehir Belediyesi gibi pek çok belediye açık veri platformu oluşturmak için çalışmalar yürütmektedir. Son dönemde açık veri platformuna geçiş yapan belediyelerden birisi Ankara Büyükşehir Belediyesidir. 2022 yılında lansmanı yapılan ve dünyanın erişimine sunulan “Şeffaf Ankara” projesi bunun en somut örneğidir. Şeffaf Ankara platformunda hem konumsal, hem öznitelik anlamında pek çok veri setinin kullanıma sunulduğu görülmektedir (ABB, 2022). Özellikle devam eden çalışmaların/onarımların/bakımların anlık olarak takip edilebilmesine imkân sağlayan konumsal veri hizmeti dikkat çekmektedir.

Her ne kadar bu açık verinin kullanıma sunulması son derece önemli ise de; bu açık veri kaynaklarında alınan verinin manipülasyona, tahribata dayanıklı sistemler vasıtasıyla tutulması da veri tutarlılığı açısından kritik öneme sahiptir. Siber saldırılara, veri tahribatına karşı önerdiği güvenli yapıyla birlikte son dönemin en popüler teknolojilerinden biri olan blokzincir teknolojisi bu noktada karşımıza çıkmaktadır. Blokzincir teknolojisi her ne kadar 1992 yılında ortaya çıkmış olsa da, 2008 yılında Satoshi Nakamoto tarafından kavramsal halde sunulmuştur (Nakamoto, 2008). Merkeziyetsizlik özelliği

ile Bitcoin, güvenilir bir otorite gerektirmeden çift harcama problemini çözen ilk sayısal para olmuş ve birçok ek uygulama için ilham kaynağı haline gelmiştir. Bu tarihten sonra özellikle finans alanında pek çok uygulama geliştirilmeye başlanmıştır. Finansal uygulamalarının yanında, tedarik zinciri, konumsal veri yönetimi, nesnelere interneti uygulamaları gibi pek çok alanda da blokzincir teknolojisini kullanılabileceği ortaya çıktıktan sonra pek çok teknoloji şirketinin bu alana yatırım yapmaya başladığı görülmüştür. Bu yatırımın ardında blokzincir teknolojisini popülerliğinin yanında, sunmuş olduğu merkeziyetsiz yönetim, yüksek güvenlik, aracısız işlem, şeffaflık gibi değer önerileri ile yatırımcıları cezbeder hale gelmiştir.

Blokzincir teknoloji, merkezi bir güven veya otorite ihtiyacını ortadan kaldıran, güvenin sistemdeki katılımcılara dağıtılmasını sağlayan bir teknolojidir. Bu teknoloji merkezi olmayan veri tabanı olarak tanımlanabilir ve her biri sayısal veriler içeren bloklar zinciridir. Bu bloklar bir dizi bilgi veya veriyi genel anlamda depolar. Bloklar işlem verileriyle doldurulduktan sonra, bir önceki doldurulmuş bloğa zincirlenir. Ayrıca bloğun oluşturulma zamanı (timestamp), bloğun hash kodu, önceki bloğun hash kodu, indeks bilgisi, nonce değeri gibi bilgileri de içerir. Blokzincir ağında yer alan tüm taraflarda veritabanının kopyaları bulunur. Bu kopyaların her birinin dağıtık bir şekilde tutulması, verilerin tek bir merkezden alınıp çoklu ortama taşınmasına neden olmakta, potansiyel saldırıların başarılı olmalarını zorlaştırmaktadır. Ağa işlemsel bilgi geldiğinde, bu bilgi ağdaki düğümlere iletilir. Ağdaki tüm düğümler bu işlem bilgisini bloklarına kaydeder. Bloklar işlem bilgisi ile doldurulduktan sonra, bu bloğun blokzincire eklenmesi gerekir.

Bu çalışma ile açık veri kaynaklarından elde edilen verinin doğru şekilde ele alınması, uygun altyapı ile sunulması hedeflenmektedir. Böylelikle elde edilecek avantajların çalışma sonucunda somutlaştırılması planlanmaktadır. Açık veri kaynağı olarak Ankara Büyükşehir Belediye tarafından 2022 yılında lansmanı yapılan Şeffaf Ankara platformu belirlenmiştir. Şeffaf Ankara platformunda hem konumsal, hem öznitelik anlamında pek çok veri setinin kullanıma sunulduğu görülmektedir. Bu açık veri portalinde yer alan yol, yapı, su kanalizasyon onarım bakım konumsal verilerinin toplanması, sınıflandırılması ve güvenli bir şekilde tüm taraflardan alınan verilerin raporlanması çalışması gerçekleştirilecektir. Aynı zamanda, bu platformdan alınan verilerin sosyal medya paylaşımları yapılabilmesi için yapılandırılmış bir hale getirilmesi, belirlenecek aralıklarla paylaşım yapılabilmesi altyapısı oluşturulmuş olacaktır. Bu altyapı blokzincir teknolojisi kullanılarak kurulacak, böylelikle sistemin güvenliği ve veri manipülasyonunun önüne geçilmesi sağlanacaktır. Bu yapının sağlıklı bir şekilde kurulmasının yanında, hem Ethereum hem Hyperledger kullanılarak iki farklı altyapı sağlayıcısının sunmuş olduğu özellikler kullanılarak alternatif iki sistem kurulacak, böylelikle bu iki farklı

altyapı sağlayıcısından elde edilen sonuçlar ile performans karşılaştırmaları yapılacaktır. İleride benzer uygulama geliştirmek isteyenler için de karşılaştırmalı, somut analizler elde edilmiş olacaktır.

Çalışmanın kazanımları dört madde ile özetlenebilir:

- Açık kaynak veri portalinden elde edilen verinin blokzincir teknolojisi kullanılarak oluşturulan sistem üzerinden analizi
- Alınan verilerin sosyal medya paylaşımları yapılabilmesi için yapılandırılmış bir hale getirilmesi ve belirlenecek aralıklarla paylaşım yapılabilmesi için altyapısı oluşturulması
- Hyperledger'in saniyelik işlem kapasitesinde Ethereum'a göre 6 kat fazla kapasiteye sahip olduğu sonucu
- Hyperledger'in Ethereum'a göre %33 daha az gecikme süresi ile işlem yapılabilmesine imkân sağladığı verisi

2. Literatür Özeti

McGinn ve ark. (2018), Bitcoin blok zincirinin hantal ikili veri yapısını yüksek doğruluklu bir grafik modeline çevirerek, çeşitli analizlerle, böylesine yeni bir açık veri mimarisi kullanmanın genellikle gözden kaçan sosyal ve ekonomik faydalarını göstermek için bir çalışma gerçekleştirmiştir. Esasında bir açık veri platformu olan Bitcoin ağındaki verileri kullanarak bir çalışma yapmışlardır. Ağ üzerinde kullanıcı etkinliğini bağlamak için tekrarlanan işlem davranışları kalıplarının nasıl ortaya çıkarılabileceği; yeni çıkarılan Bitcoin'in, bireysel servet birikimlerini göstermek için nasıl ilişkilendirilebileceği, Bitcoin'in deflasyonist özelliklerinin ortaya çıkarılabileceği ve ölçülebileceği naif para miktarı teorisinin uygulanması yoluyla ve kullanıcı topluluğunun ağ üzerinde tekrarlanan hizmet reddi saldırılarına karşı koordineli savunmaları nasıl geliştirebileceği konularını çalışmalarında ele almışlardır. Bu açık verilerin bu tür genel analizleri, mevcut ölçeklenebilirlik, gizlilik ve yönetim sorunları nedeniyle şu anda kurumsal düzeyde blok zinciri gelişimine hâkim olan 'özel izinli' dağıtılmış defter mimarilerinin kapalı veri modellerinde bulunmayan örnek niteliğinde avantajlarının bulunduğunu savunmaktadırlar.

Tavares ve ark. (2020) açık veride blokzincir teknolojisi ile güvenilir veri dönüşümü yapılabileceğini savunmaktadır. Güvenilir açık veriler, denetim, sorumluluk, iş geliştirme veya yolsuzlukla mücadele mekanizması olarak kullanılabilir. Meta veri bilgileri, kaynak endişelerini giderebilir ve güven sorunları bir şekilde dijital imzalarla hafifletilebilir. Bu yaklaşımlar, veri kaynağının izini sürebilir, ancak genellikle dönüştürme süreci hakkında bilgiden yoksundur. Teknoloji aracılığıyla bir açık veri hizmetine güven oluşturmak, üçüncü taraf sertifikalara olan ihtiyacı azaltabilir ve tüm dönüşümleri doğrulayabilen dağıtılmış bir mutabakat mekanizması oluşturmak, veri kümelerinin güvenilir ve kullanımı kolay olmasını garanti

edebilir. Çalışmalarında, açık veri dönüşümlerini izlemek için blok zinciri teknolojilerinden yararlanmayı, tüketicilerin verileri dağıtılmış bir defter kullanarak doğrulamasını ve üçüncü taraf sertifikalarına güvenmeden güvenilir dönüştürülmüş verileri yayımlayabilen bir mekanizma sağlamayı amaçlamaktadır. Önerilen yaklaşımı doğrulamak için, veri dönüşümü için kullanım durumları kullanılmıştır. Mutabakat protokolü, dönüşümleri önceden tanımlanmış bir algoritmaya göre doğrulayabilmeli, sağlayıcı doğrulanabilir dönüştürülmüş verileri yayımlayabilmeli ve tüketici, bir dönüşümden kaynaklanan bir veri setinin yasal olup olmadığını kontrol edebilmektedir.

Dang ve Duong (2021), açık veri kaynaklarında blokzincir teknolojisinin kullanımını özellikle veri manipülasyonunun öne geçebilmek için son derece önemli olduğunu vurgulamaktadır. Açık veri bağlamında, paylaşılan veriler, birçok kaynaktan kaynaklanan birçok dönüşüm sürecinden geçebilir ve bu da gerçek olmayan veri riskini ortaya çıkardığını belirtiyorlar. Ayrıca, her veri kümesinin farklı lisanslar altında paylaşılan farklı özellikleri vardır, bu da güncellenen verilerin özelliklerini ve ilgili politikaları değiştirebileceği anlamına geldiği öne sürülmektedir. Çalışmalarında, veri değişikliklerini takip etmek ve özelliklerini açık veri platformu içinde yönetmek için etkili ve esnek bir çözüm sunmuşlardır. Bu değişiklikler, ihlal edilen değişiklikleri önlemek için değiştirilemez olmalıdır ve verilerin kalitesini iyileştirmek için sertifikalı kaynak olarak kullanılabilmesi savunulmaktadır. Önerilen çözümün mantıklı ve uygulanabilir bir yön olduğunu göstermek için, bu makale sonucu doğrulamak için deneysel bir örnek yürüttükleri görülmektedir. Test modeli, elastik bir sistem mimarı ile başarılı bir şekilde çalışmakta ve genel performans vaat etmektedir.

Joseph (2019) de blokzincir teknolojisinin açık veri ile kullanımının önemli avantajlar sağlayacağını savunmaktadır. Açık veri gibi nispeten yeni kavramlarla birlikte, blokzincir, farklı sosyo-ekonomik kuruluşlarda pratik olarak kullanılma şansına sahip olduğunu belirterek, blokzincir ve açık verinin sentezi şu anda dünya çapında birçok ülkenin kanunlaştırdığı Bilgi Edinme Özgürlüğü (FoI) yasalarının gerekli şekilde uygulanmasını sağladığını vurgulamıştır. Blokzincir ve açık verinin formülsele temellerini keşfetmenin, kullanımlarını farklı bağlamsal sosyo-ekonomik kurulumlarda birleştirmek için yollar açacağını öne sürmektedir.

Fujihara (2020) da blokzincir tabanlı açık veri platformu ve merkezi olmayan Oracle kullanımını savunmaktadır. Blok zinciri ve mobil kalabalık algılama teknolojilerinin birleşimiyle, gerçek bilgileri blok zincirine kaydetmek ve güvenilirlik puanlarına göre çalışanlara para birimi vermek için açık bir veri platformu oluşturmuştur. Çalışmasında, gerçekte meydana gelen olayları onaylamak ve herkesin olayları doğrulayabilmesi için büyük ve uzun süreli açık veri (BaLOD) oluşturmak üzere blokzincir tabanlı açık veri platformunun nasıl

oluşturduğunu açıklamaktadır.

Literatürdeki çalışmalarını incelediğimizde, özellikle açık veri kaynaklarından alınan verinin manipülasyonunu önüne geçilmesi için blokzincir teknolojisinin kullanımının önemli avantajlar sağlayacağı görülmektedir. Öznitelik verileri üzerinde pek çok çalışma yapıldığı da görülmüştür.

3. Materyal ve Yöntem

Açık kaynak verinin alınması ve depolanması için yapılandırılmamış veri tabanlarından olan MongoDB kullanılmıştır. MongoDB ile birlikte, özellikle konumsal verilerin tutulması ve görselleştirilmesi için ArcGIS tercih edilmiştir. Önerilen blokzincir tabanlı sistemin geliştirileceği altyapı olarak ise Hyperledger Fabric ve Ethereum (Sanal makine üzerinden akıllı sözleşmelerin çalıştırılması) seçilmiştir. Kurulan Hyperledger Fabric tabanlı sistemde işlemlerin şeffaf bir şekilde görülebilmesi için Hyperledger'in bir diğer aracı olan Hyperledger Composer kullanılmıştır.

Hyperledger tarafındaki sistemin kullanımı, şeffaflık ve güvenilirlik özelliklerini bünyesinde barındırması açısından büyük önem taşımaktadır. Tüm akıllı sözleşme işlemleri Hyperledger Fabric katmanı üzerinden gerçekleştirilir. Ağın gösterimi ve dağıtımı işlemleri ise Hyperledger Composer aracı üzerinden gerçekleştirilir. Ethereum ise açık platformdur. Solidity dilinde geliştirilen akıllı sözleşmelerin Ethereum sanal makinesi üzerinde çalıştırılır.

Büyük veri Blokzincir işlemleri ve süreçleri yüksek performans gerektirdiğinden, yüksek işlem gücüne sahip bir bilgisayar ihtiyacı ortaya çıkmıştır. NVIDIA GeForce RTX 3090 ekran kartı, Intel i7 12700KF işlemci, 32 GB RAM ve 1 TB SSD'ye sahip bir cihaz belirlenmiş ve Ubuntu 20.04 işletim sistemi kullanılması tercih edilmiştir.

Çalışma ilk olarak literatür taraması ile başlamıştır. Mevcut durumda, piyasadaki uygulama örnekleri incelenecek ve geliştirilmesi planlanan açık kaynak veri analiz sistemine yol göstermesi için akademik çalışmalardan yararlanılmıştır. Uygulama örnekleri incelendikten sonra çalışmanın gerçekleştirilme aşamasına geçilmiştir. Öncelikle kurulacak sistemin gereksinimleri doğrultusunda tasarım yapılmış, ikinci olarak ise geliştirilecek sistemde kullanılacak altyapıya karar verilmiştir. Piyasadaki birçok alternatif, geliştirmeyi planladığımız blokzincir tabanlı açık kaynak analiz sisteminin temeli olan akıllı sözleşmeler ve veri analiz altyapısını sunmaktadır. Uygun olanın belirlenmesi çalışmanın başarısı ve çıkmaza girmemesi açısından büyük önem taşımaktadır. Sistem tasarımı ve kullanılacak altyapı belirlendikten sonra uygulamanın geliştirme aşamasına geçilmiştir. Geliştirilen blokzincir tabanlı iki sistemin performans verilerinin karşılaştırılması gerçekleştirildikten sonra çalışma sonlandırılmıştır. Ayrıntılı yöntem Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Çalışma yöntem adımları

3.1. Sistem Kurulumu

Sistem kurulumu iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Öncelikle kullanılacak blokzincir altyapısı kurulacak, ardından açık veri yapısı kurulup sistemin bütünleştirilmesi gerçekleştirilmiştir.

3.2. Blokzincir Yapısının Kurulumu

Kripto para, ya da dijital para, Avrupa Merkez Bankası (ECB) tarafından; bir merkez bankası, kredi kuruluşu ya da e-para kuruluşunca ihraç edilmemiş, bazı durumlarda paraya alternatif olarak kullanılabilen bir değer dijital temsili olarak ifade edilmiştir (Arikan, 2022). "Blokzincir" şifreleme teknolojisi ile üretilmiş pek çok para birimi mevcuttur. Bunlardan ilki Bitcoin'dir.

2007 yılında sanal para birimi, ilk olarak Bitcoin'in kurucusu Satoshi Nakamoto tarafından bir e-mail yoluyla gündeme gelmiştir. İlk gündeme geldiğinde çok fazla dikkat çekmemiştir. 2008 yılında Bitcoin piyasada yer almıştır. Ancak ilk gündeme geldiğinde çok az kişi tarafından rağbet görmüştür. Bu rağbet eden kişileri de genellikle gelişmiş ülkelerde yaşayan yenilik meraklı insanlar oluşturmuştur. Ancak zamanla Bitcoin giderek yayılmıştır ve ekonomide önemli bir yere sahip olmuştur. Günümüzde Ethereum, Ripple, Cardano, Litecoin, Nem, Neo, Stellar, IOTA, EOS, Monero vb. pek çok kripto para mevcuttur.

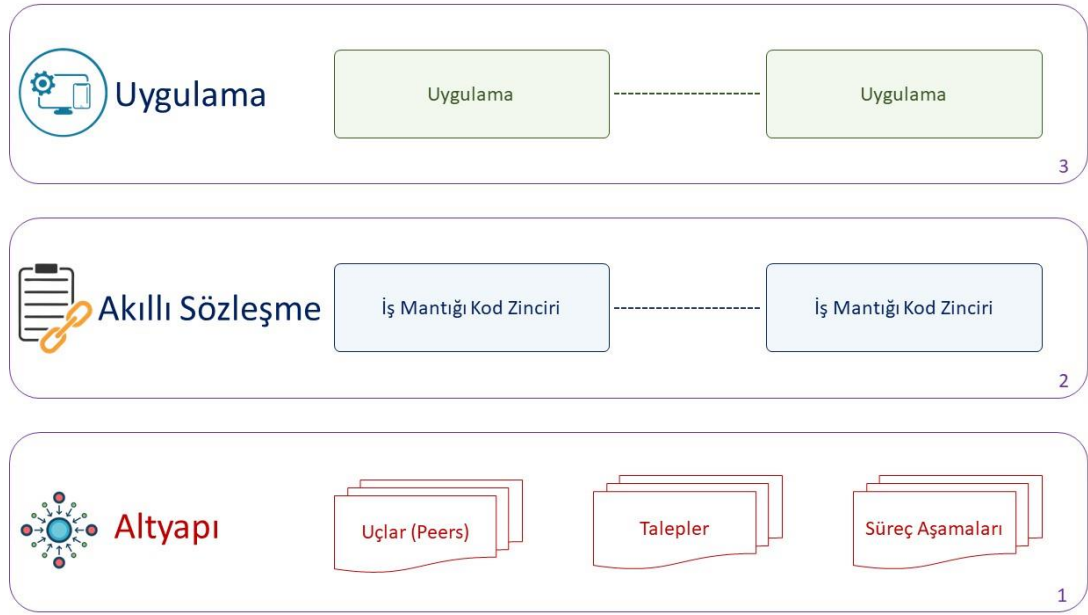
Blokzincir, ağda bulunan katılımcıların birbirlerine güven duymasına gerek olmaksızın işlem yapabilmesine olanak sağlamaktadır. Ayrıca bunu, arada herhangi bir merkezi otorite olmaksızın yapabilme imkânı sunmaktadır. Aracı olmaksızın işlem yapabilme özelliği sayesinde alıcı ve satıcı tarafların daha hızlı bir şekilde yapabilmesine imkân sağlanırken, zincir üzerinde yer alan bloklarda tutulan verinin kriptografi kullanılarak şifrelenmesi sayesinde de merkezi otorite ihtiyacı ortadan kaldırılmaktadır. Tüm bunlar ağ üzerinde belli kural düzeninde yapılabilmesini mümkün kılan, blokzincir teknolojisinin en önemli ve devrimsel özelliği ise akıllı sözleşme yapısıdır. Akıllı sözleşme yapısı, blokzincir ağına gömülü olarak eklenmiş dışarıdan müdahale olmaksızın otomatik olarak çalışan kural kod zincirleridir. Ağda yer alan her bir katılımcının anlaşmaya yönelik taahhütlerinin ve ayrıca belirlenen

ödül ve yükümlü olacağı cezaların belirtildiği iş akış protokolüdür (Ganne 2018).

Blokzincir tabanlı bir sistem kurulacağı zaman, akıllı sözleşme altyapısının da kurulması gerekmektedir. Mevcutta akıllı sözleşme altyapısı sunan farklı sağlayıcılar vardır. Ethereum, Hyperledger ve Corda piyasada yer alan en popüler akıllı sözleşme geliştirme altyapı sağlayıcıları olarak karşımıza çıkmaktadır. Corda, daha çok finansal alandaki uygulama geliştiricileri için bir altyapı sunarken; Hyperledger ve Ethereum ise pek çok alanda kullanılacak akıllı sözleşme altyapısı sunmaktadır. Çalışma kapsamında finansal olmayan bir uygulama geliştirilmesi ihtiyacı olduğu düşünülerek Corda alternatifi devre dışı tutulmuştur.

Çalışma kapsamında hem Ethereum hem de Hyperledger altyapıları kullanılarak iki farklı sistem kurulmuştur. Böylelikle, bu iki farklı sistem üzerinde açık veri yönetiminin yapılması esnasındaki çalışmaların karşılaştırılmasının yapılabilmesi ve en uygun olanın seçilebilmesidir.

Bu iki altyapı kullanılarak kurulacak sistemin tasarımı yapılarak başlanmıştır. Sistem mimarisi üç katmanlı olarak planlanmıştır (Şekil 2). Birinci katman altyapı katmanıdır. Burada blokzincir tabanlı sistemin temelleri kurulmaktadır. Sistemdeki uçların tanımlanması, taleplerin bağlantısının kurulduğu ve süreç adımlarının bulunduğu katman burasıdır. İkinci katman ise akıllı sözleşme altyapısıdır. İş mantığının kurulduğu, kod zincirleri üzerinden yapıldığı katman burasıdır. Üçüncü katman ise uygulama katmanıdır. İşlemin akışının yönetimi ve kullanımı bu katman üzerinden gerçekleştirilmektedir. Hem Ethereum hem Hyperledger altyapılı sistemler bu mimari doğrultusunda kurulmuştur.



Şekil 2. Blokzincir tabanlı sistem mimarisi.

3.2.1. Ethereum blokzincir yapısının kurulumu

Bitcoin'in blokzincir mantığından yola çıkılarak oluşturulan Ethereum platformu, kendisine ait özel bir yazım dili kullanarak bu işletim sistemi üzerinde merkezi olmayan yazılım protokolleri geliştirilmesine olanak sağlamaktadır. Bu protokoller sayesinde aynı ana işletim sistemi içerisinde ve tek bir blokzincir üzerinden kabul edilmiş kontratlar kullanarak binlerce altcoin yaratmak mümkün olabilecektir. Bir altcoin olarak gözükün Ethereum aslından birçok farklı özelliği olan dijital para birimidir ve ETH olarak kısaltılmıştır. Bitcoin ardından sanal para piyasasında ikinci sırada yer alan Ethereum, Bitcoin 2.0 veya dijital petrol olarak adlandırılmaktadır. Ethash adı verilen farklı bir doğrulama algoritması ile oluşturulan Ethereum'u diğer kripto paralardan ayıran en önemli özelliği akıllı sözleşmelerdir. Akıllı sözleşmeler geliştirmek için Solidity dili kullanılmaktadır. Ethereum akıllı sözleşmeleri "Ethereum Sanal Makinesi" üzerinde çalışmaktadır. Ethereum 2.0 ile konsensüs algoritması olarak Proof of Stake kullanılmaktadır. Bu sözleşmelerin mantığı; kullanıcıların kendi komut dosyalarını yazmalarına imkân veren ve kendi özel programlama diline sahip olmasıdır. Kısaca, ağın geneline komut dosyaları dağıtılmakta ve talebe bağlı olarak Ethereum sistemine katılmaktadır (Dannen 2017).

Ethereum tabanlı sistem, akıllı sözleşme altyapısı kullanılarak Solidity dili kullanılarak kurulmuştur. Açık veri altyapısından elde edilecek verinin alınacağı, işleneceği, saklanacağı bir altyapı oluşturulmuştur (Şekil 3).

3.2.2. Hyperledger blokzincir yapısının kurulumu

Hyperledger, sektörler arası blok zincir teknolojilerini ilerletmek için oluşturulan açık kaynak kodlu bir iş birliği girişimidir. Finans, bankacılık, nesnelerin interneti (IoT), tedarik zincirleri, imalat ve teknoloji liderlerinin bir araya geldiği ve Linux Vakfı'nın ev sahipliği yaptığı küresel bir iş birliğidir. Proje, 2016 yılında Linux

Foundation'un açık kaynak kodlu bir projesi olarak ortaya çıkmıştır. Projenin amacı kurumsal düzeyde sektörler arası DDT'nin geliştirilerek, küresel ölçekteki ticari işlemlerin hızlı, şeffaf ve daha az maliyetle yürütülmesini sağlamaktadır. Uluslararası pek çok şirketin de üyesi olduğu bu projenin 90'dan fazla üyesi bulunmaktadır. Hyperledger kurumsal blok zinciri uygulama geliştirmek için kullanılan açık kaynak blok zinciri uygulama geliştirme altyapısıdır. Linux topluluğu tarafından geliştirilmektedir. PBFT konsensüs algoritmasını kullanmaktadır. Hyperledger'in kripto parası bulunmamaktadır. Hyperledger Fabric, Hyperledger Iroha ve Hyperledger Sawtooth en bilinen uygulama geliştirme altyapısıdır. Hyperledger altyapıları akıllı sözleşmeleri desteklemektedir. Hyperledger'da gelişmiş kimlik doğrulama, veri gizliliğini sağlar. Hyperledger (2023) ile Java, Go ve NodeJS dilleri kullanılarak geliştirme yapılabilir. Modüler mimariye sahiptir.

```

1 // Created by @Arif Furkan Mendi
2 // Ethereum acikveri smart contract structure
3 pragma solidity >=0.7.0 <0.9.0;
4
5 contract Acikveri {
6
7     uint256 number;
8
9     function store(uint256 num) public {
10         number = num;
11     }
12
13     function retrieve() public view returns (uint256) {
14         return number;
15     }
16 }
    
```

Şekil 3. Ethereum açık veri sistemi kod örneği.

Hyperledger'in sunmuş olduğu pek çok altyapı ve araç mevcuttur. Başarılı bir uygulama geliştirebilmek için en önemli konulardan biri uygun altyapıya karar vermektir. Sunmuş olduğu özellikleri ile en öne çıkan altyapı seçeneği Hyperledger Fabric'tir. Sektörden bağımsız devrim niteliğinde bir çözümdür; esneklik, düşük kaynak

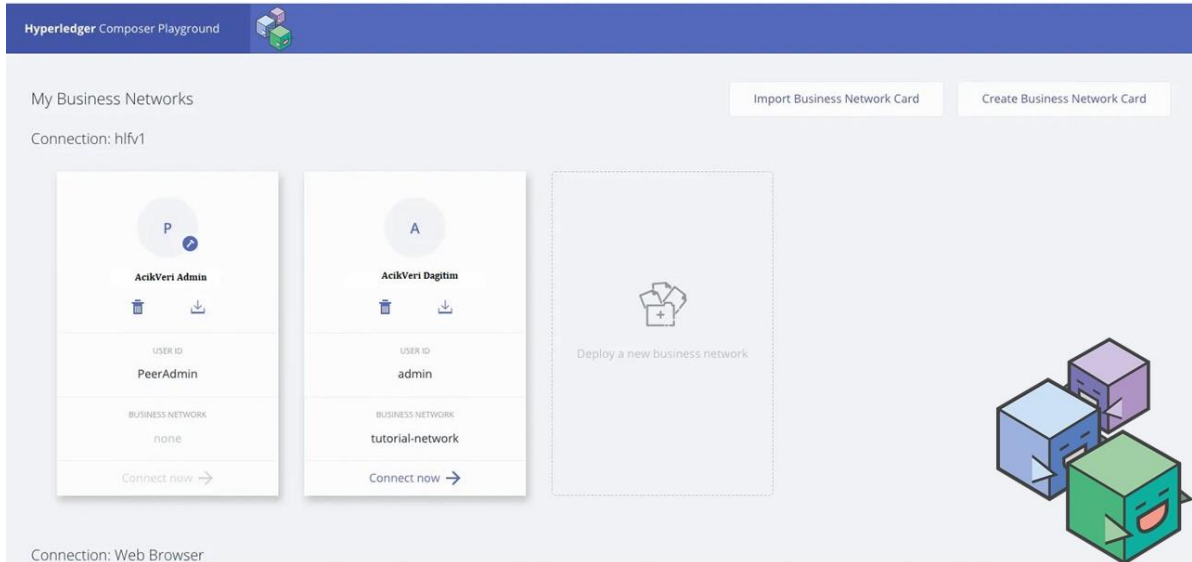
tüketimi, performans optimizasyonu gibi avantajlarla desteklemektedir. Modüler mimariye sahip Hyperledger Fabric; özel bir yapı sunmakta ve kanal mimarisi ile gizlilik sağlamaktadır. Bu sebeple kurulacak olan Hyperledger sisteminin Fabric kullanılarak inşa edilmesine karar verilmiştir. Blokzincir tabanlı ağın oluşturulması ve dağıtılması için ise gelişmiş bir arayüz sağlayan ve Hyperledger Fabric ile uyumlu çalışan Hyperledger Composer tercih edilmiştir. Ayrıca Hyperledger Composer tarafından sağlanan geri kalan hizmet uyumluluğu sayesinde farklı veritabanları ve

sistemler ile iletişim sağlanmaktadır. Hyperledger tabanlı kurulacak sistem Fabric ve Composer kütüphaneleri ile kurulmuştur.

İlk olarak Fabric altyapısı üzerine sistem kurulumu gerçekleştirilmiştir (Şekil 4). Fabric altyapısı kullanılarak kurulan sistemin yönetimi konusunda Composer aracı, özellikle ağın dağıtılması ve yönetilmesi konusunda kullanıcı dostu bir arayüz ile fark katmaktadır (Şekil 5). Böylelikle ağın yönetimi, dağıtımı kolay bir şekilde yapılabilmektedir.

```
1 // Created by @Arif Furkan Mendi
2 // fabric sdk veri sistemi initialization
3 package main
4
5 import (
6     "fmt"
7     "github.com/chainhero/heroes-service/blockchain"
8     "os"
9 )
10
11 func main() {
12     // Definition of the Fabric SDK properties
13     tSetup := blockchain.FabricSetup{
14         // Network parameters
15         OrdererURL: "orderer.hf.chainhero.io",
16
17         // Channel parameters
18         ChannelID: "channel",
19         ChannelConfig: os.Getenv("GOPATH") + "/src/github.com/chainhero/heroes-service/fixtures/artifacts/channel.tx",
20
21         // Chaincode parameters
22         ChaincodeID: "heroes-service",
23         ChaincodePath: os.Getenv("GOPATH"),
24         ChaincodePath: "github.com/chainhero/heroes-service/chaincode/",
25         OrgAdmin: "Admin",
26         OrgName: "org1",
27         ConfigFile: "confg.yaml",
28     }
29
30     // User parameters
31     tUser := blockchain.User{
32         Name: "User",
33     }
34
35     // Initialization of the Fabric SDK from the previously set properties
36     err := tSetup.Initialize()
37     if err != nil {
38         fmt.Printf("Unable to initialize the Fabric SDK: %v\n", err)
39         return
40     }
41     // Close SDK
42     defer tSetup.CloseSDK()
43 }
```

Şekil 4. Hyperledger açık veri sistemi Fabric kurulum kodu.



Şekil 5. Hyperledger açık veri sistemi ekran görüntüsü.

3.3. Açık Veri Bağlantısının Kurulması

Blokzincir altyapısına karar verildikten sonra, ikinci olarak, elde edilen açık verinin tutulacağı bir veri tabanı tercihi yapılmıştır. Alınacak verinin yapılandırılmamış veri olduğunu düşündüğümüzde ilişkisel olmayan bir

veri tabanı seçimi yapılması ihtiyacı oluşmuştur. Bu noktada çeşitli veri formatlarını destekleyen ve belge odaklı bir veritabanı modeli kullanan açık kaynaklı bir veritabanı sistemi olan MongoDB'nin kullanılmasına karar verilmiştir.

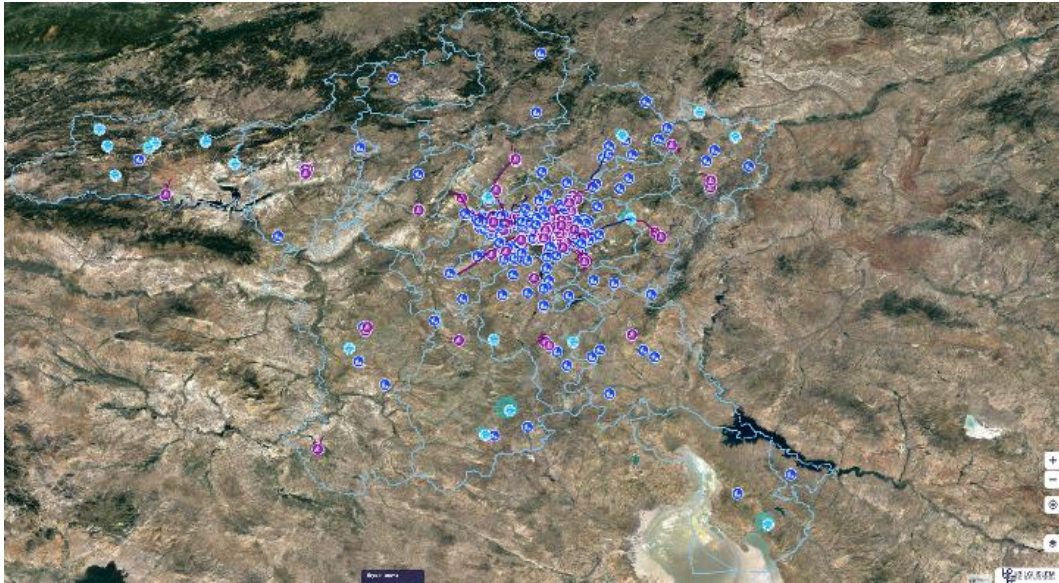
MongoDB, büyük ölçekli verileri depolamak için tasarlanmış ve aynı zamanda bu verilerle çok verimli bir şekilde çalışmaya izin veren, açık kaynaklı, belge odaklı bir veritabanıdır. MongoDB'de verilerin saklanması ve alınması tablo şeklinde olmadığı için NoSQL (Not only SQL) veritabanı altında kategorize edilmiştir (Celesti, Fazio, and Villari 2019).

MongoDB'nin yanında konumsal verinin tutulması ve gösterimi için ArcGIS kullanılmıştır. ArcGIS, coğrafi verileri görüntülemek, düzenlemek, yönetmek ve analiz etmek için coğrafi bir yazılımdır. Katmanlar oluşturularak coğrafi istatistikleri görselleştirerek coğrafi bilgilerin işlenmesine ve analiz edilmesine olanak tanımaktadır. Hem beşeri bilimlerde hem de bilimlerde çok sayıda akademik kurum ve bölüm tarafından çıkarılan araştırmaları geliştirmek ve örneklemek için kullanılır. Ayrıca, dünya çapında birçok hükümet ve özel/ticari kurum tarafından kullanılmaktadır (Nowak ve ark., 2020).

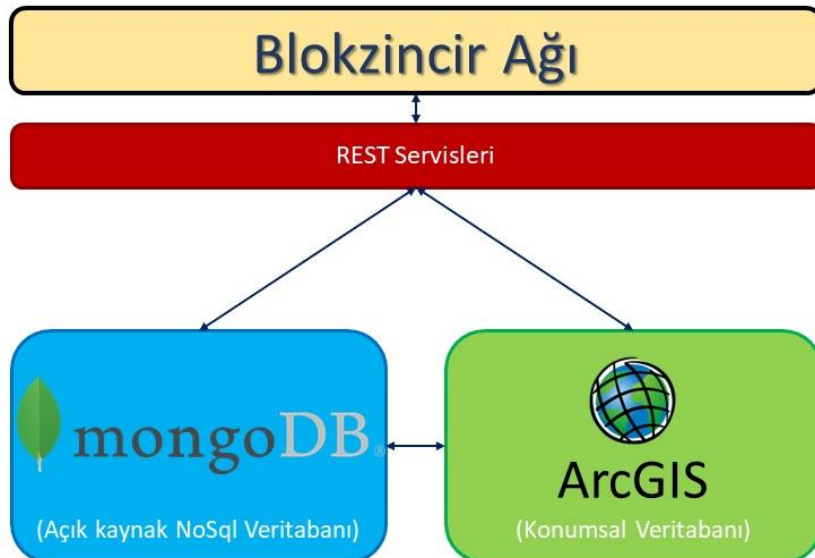
Şeffaf Ankara açık veri platformu, Ankara'daki altyapı, hobi, demografik dağılım, hava durumu, afet destek araçlarının takibi gibi pek çok konuda büyük veri setlerinin halka açıldığı önemli bir bilimsel veri tabanı olarak karşımıza çıkmaktadır (ABB, 2022). Çalışma kapsamında portalde yer alan (Şekil 6).

- Yol,
- Yapı,
- Su kanalizasyon onarım bakım

konumsal verilerinin toplanması, sınıflandırılması ve güvenli bir şekilde tüm taraflardan alınan verilerin raporlanması çalışması için adaptörlerin yazılması, veri yapılarının uyumlandırılarak MongoDB'ye aktarılması çalışması için altyapı kurulmuştur. MongoDB'nin yanında konumsal verinin tutulması ve gösterimi için ArcGIS kullanılmıştır. Bu iki veri tabanının birbiriyle iletişimle halde kullanılması ve aradaki rest servisler kullanılarak blokzincir katmanı ile iletişim kurulması sağlanmıştır (Şekil 7).



Şekil 6. Şeffaf Ankara konumsal veri gösterimi.

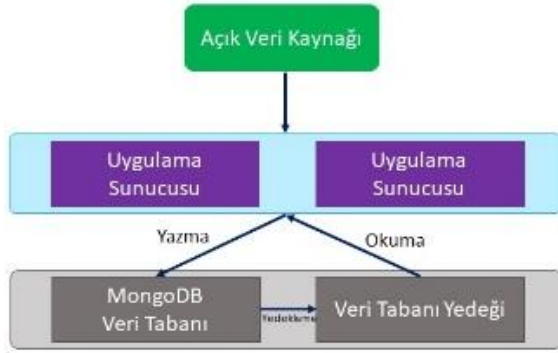


Şekil 7. Açık veri ve blokzincir katmanları mimarisi.

4. Bulgular ve Tartışma

4.1. Blokzincir Tabanlı Açık Veri Yönetimi

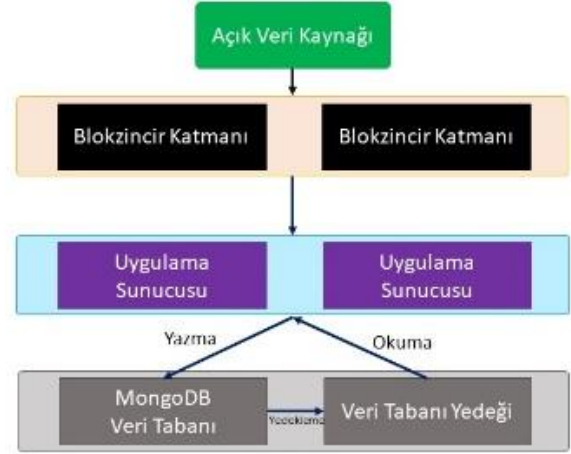
Açık veri kaynakları kullanılarak veri analitiğinin yapılması ile ilgili çok sayıda kaynak mevcut olsa da, özellikle blokzincirin ek bir katman olarak konulduğu çalışma sayısı sınırlıdır. Yapılan çalışma blokzincir katmanının açık veri yönetim süreçlerine yenilikçi bir bakış açısı kazandırılmasını sağlamıştır (Şekil 8). Blokzincir katmanının eklenmesi sayesinde özellikle güvenlik anlamında ciddi avantajlar elde edilmiştir.



Açık Veri Yönetim Sistemleri

Dağıtık tutulan sistem üzerindeki verinin manipüle edilmesi ihtimali ortadan kaldırılmıştır. Bunun yanında, blokzincir teknolojisinin temelinde yer alan akıllı sözleşme yapısı sayesinde tüm işlemlerin belirli bir standart üzerinden, önceden belirlenmiş yapıda işlenmesi sağlanmıştır.

Kurulan iki blokzincir tabanlı sistemin karşılaştırma verilerini incelediğimizde ise Hyperledger ve Ethereum'un birbirlerine göre üstünlükleri ve eksikleri olduğu görülmüştür.



Blokzincir Tabanlı Açık Veri Yönetim Sistemi

Şekil 8. Blokzincir tabanlı açık veri yönetimi.

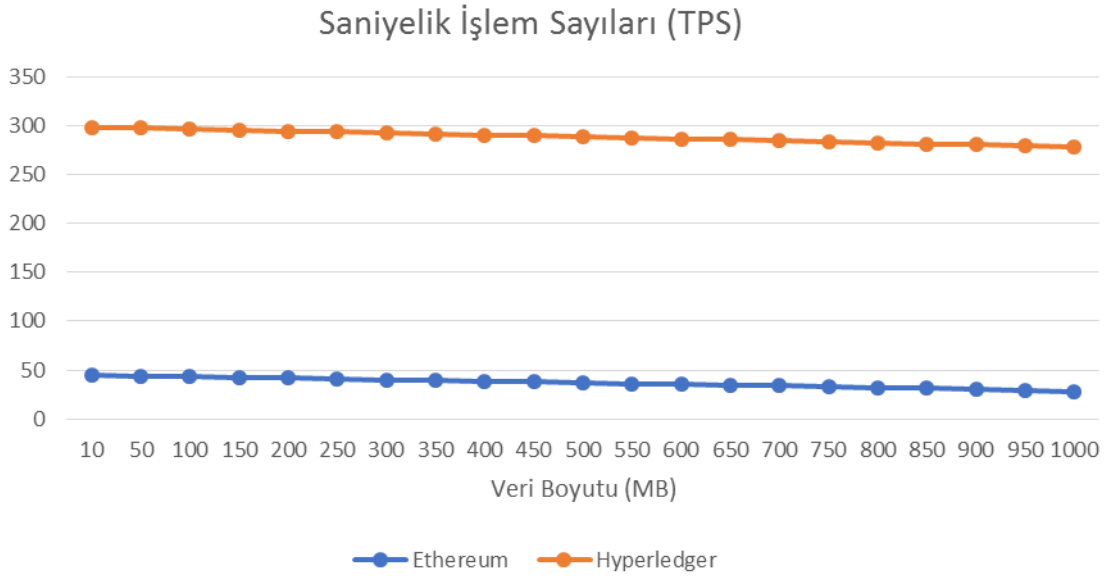
4.2. Blokzincir Tabanlı Altyapıların Karşılaştırılması

Açık veri kaynağının elde edilmesi, blokzincir tabanlı iki sistemin kurulması sonrası sistemsel altyapı başarılı bir şekilde tamamlanmıştır. Kurulan iki sistemin açık veri portalinden elde edilen verilerle beslenmesi, sistemin performans değerlerinin karşılaştırılması aşamasına geçilmiştir.

İlk olarak Ethereum tabanlı blokzincir sistemi üzerinde alınan yol, yapı ve su kanalizasyon onarım bakım verileri üzerinden işlem yapılmıştır. Şubat 2023'deki verilerin sisteme akışı sağlanmıştır. Hyperledger tabanlı sistem için de eş zamanlı olarak aynı çalışma gerçekleştirilmiştir. Ethereum için saniyede yapılan işlem sayısı 45 (tps) ile başlarken, Hyperledger için ise bu sayı 298 (tps) ile başlamaktadır. Elde edilen veriler Tablo 1'de verilmektedir. Veri boyutu büyüdükçe işlem kabiliyetinde de sınırlamalar başladığı gözükmemektedir. Veri boyu büyüdükçe, saniyelik işlem sayısında görece azalmalar meydana gelmektedir. Detaylı grafik Şekil 9'da görülmektedir.

Tablo 1. Ethereum ve Hyperledger tabanlı blokzincir sistemlerin saniyelik işlem sayıları

Veri Boyutu (mb)	Ethereum	Hyperledger
10	45.00	298.00
50	44.00	298.00
100	44.00	297.00
150	42.00	295.00
200	42.00	294.50
250	41.00	293.50
300	40.20	292.50
350	39.40	291.50
400	38.60	290.50
450	37.80	289.50
500	37.00	288.50
550	36.20	287.50
600	35.40	286.50
650	34.60	285.50
700	33.80	284.50
750	33.00	283.50
800	32.20	282.50
850	31.40	281.50
900	30.60	280.50
950	29.10	279.50
1000	28.00	278.50



Şekil 9. Ethereum ve Hyperledger tabanlı blokzincir sistemlerin saniyelik işlem sayıları karşılaştırma grafiği.

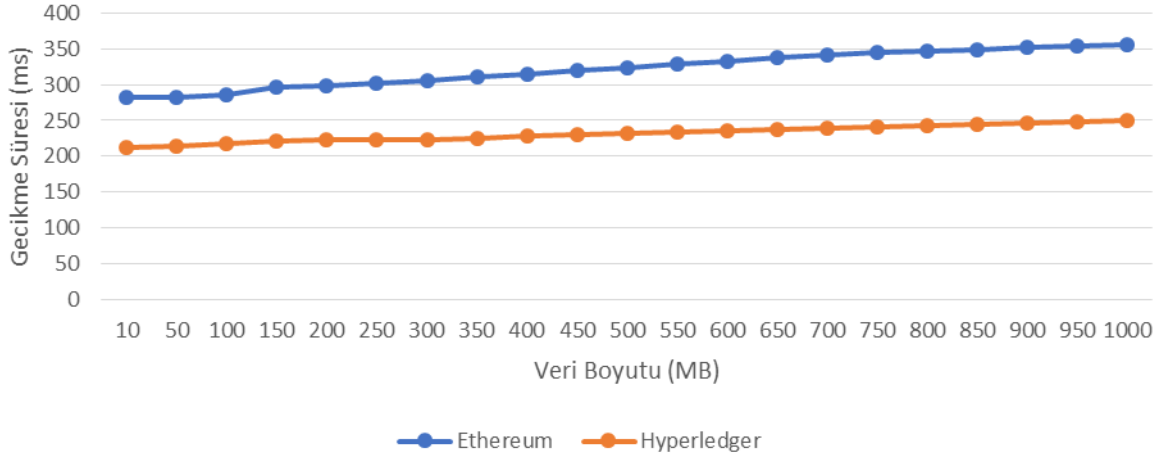
Saniyelik işlem süresinin yanında bir diğer önemli performans ölçüm parametresi de işlem gecikme süresidir. Her iki sistemin çalıştırılması neticesinde elde edilen veriler karşılaştırıldığında Ethereum için 282ms ile başlayan gecikme süresi, Hyperledger için ise 212ms olarak tespit edilmiştir (10 mb'lık işlem yoğunluğunda). Elde edilen veriler Tablo 2'de verilmektedir. Veri boyutu arttıkça Ethereum'da daha hızlı bir yükselme eğilimi gözlemlenmiştir. Detaylı grafik Şekil 10'da görülmektedir.

Tablo 2. Ethereum ve Hyperledger tabanlı blokzincir sistemlerde işlem gecikme süreleri

Veri Boyutu (mb)	Ethereum	Hyperledger
10	282.00	212.00
50	283.00	214.00
100	285.00	218.00
150	296.00	221.00
200	297.50	223.00
250	301.90	223.00
300	306.30	223.60
350	310.70	224.00
400	315.10	227.81
450	319.50	229.58
500	323.90	231.35
550	328.30	233.13
600	332.70	234.90
650	337.10	236.68
700	341.50	238.45
750	344.90	240.22
800	346.30	242.00
850	349.03	243.77
900	351.43	245.55
950	353.83	247.32
1000	356.23	249.09

Yapılan bu iki somut karşılaştırma, Hyperledger'in performans olarak Ethereum'a göre daha avantajlı konumda olduğunu göstermektedir. Fakat, Hyperledger tabanlı sistemin kurulması esnasında ciddi efor sarf edilmesi gerekmiştir. Tüm sistem konfigürasyonunun yapılması, güvenlik katmanlarının kurulması gibi işlemler yaklaşık 15 saat sürmüştür. Diğer taraftan Ethereum için tüm bu kurulumların yapılması 4-5 saat gibi bir sürede tamamlanmıştır. Bunun temel sebebi; Ethereum'un kullanıcılarına konfigüre edilmiş bir altyapı sunmasıdır. Burada pek çok güvenlik sistemi, akıllı sözleşme yapısı vb. alt hizmet hazır olarak sunulmaktadır. Bu sebeple özellikle kurulum aşamasında ciddi zaman kazancı sağlamaktadır. Diğer önemli konulardan birisi de Hyperledger'in kurulum esnasında komut satırından çoğu işlemlerin yapılması gerekliliğidir. Ethereum'da ise bu efor çok daha azdır. Bu da Hyperledger ile geliştirim yapmak isteyenlerin kod geliştirim, sistem yönetimi gibi mühendislik yeteneklerinin çok daha yüksek olması gereksinimini ortaya çıkarmaktadır. Ethereum üzerinden ise çok daha kolay bir şekilde geliştirim yapılması imkânı bulunmaktadır.

Gecikme Süresi Karşılaştırma Grafiği (ms)



Şekil 10. Ethereum ve Hyperledger tabanlı blokzincir sistemlerde işlem gecikme süreleri karşılaştırma grafiği.

5. Sonuç

Kurumlar tarafında sunulan açık verinin doğru yöntemlerle alınması, depolanması ve yönetimi verimli ve doğru sonuçlar elde edilmesi için büyük öneme sahiptir. Ankara Büyükşehir Belediyesi tarafından sunulan Şeffaf Ankara açık veri platformundan sunulan verinin blokzincir katmanı eklenerek veri tutarlılığını sağlandığı bir yapı elde edilmiştir. Açık veri kaynağından alınan yapılandırılmamış verinin tutulması, yönetilmesi noktasında MongoDB kullanılmıştır. Çalışmanın ikinci aşamasında ise; blokzincir teknolojisi kullanarak uygulama geliştirmek isteyenlerin yaşadığı en önemli kararsızlıklardan olan hangi altyapının kullanılacağı sorusuna yanıt somut karşılaştırmalar ile ele alınmaya çalışılmıştır. Bunun için en önemli blokzincir altyapı sağlayıcılarından olan Hyperledger ve Ethereum altyapıları kullanılarak iki farklı sistem kurulmuştur. Kurulan her iki sistemin gerçek veriler ile beslenmesi neticesinde, Hyperledger tabanlı sistemin Ethereum'a göre 6 kat daha fazla saniyelik işlem yapabildiği görülmüştür. Gecikme süresinde ise yine Ethereum'a göre Hyperledger'in %33 oranında avantaj sağladığı görülmüştür. Tüm bu avantajların yanında, Hyperledger'i seçmenin bazı dezavantajları da olduğu deneyimlenmiştir. Özellikle sistem kurulum aşamasının Ethereum'a göre 3 kat daha fazla zaman gerektirdiği gözlemlenmiştir. Ayrıca, kurulum için komut satırından ileri seviye bilgi ve kurulum gerekliliği de yine Hyperledger'in dezavantajlı olduğu konulardandır. Ethereum'da nispeten daha kolay kullanılabilir, kompakt bir yapı sunulduğu görülmüştür. Eğer büyük çaplı, kurumsal kullanıma uygun bir uygulama geliştirilecekse bu eforun tolere edilebilir olduğu söylenebilir. Fakat geliştirilecek küçük uygulamalar için Ethereum'un daha hızlı sonuç vereceğini söyleyebiliriz.

Çalışma sonucunda açık veri kaynağından alınan verilerin sosyal medya paylaşımları yapılabilmesi için yapılandırılmış, veri tutarlılığının garanti altına alındığı bir hale getirilmesi sağlanmıştır. Ayrıca, burada elde edilen verinin yapılandırılıp yönetilmesi özelliği

kazanması sayesinde sosyal medya paylaşımları, raporlamalar için bir altyapı da oluşturulmuştur. Gelecek çalışmalarda bu altyapı kullanılarak sosyal medya paylaşım sistemleri üzerine de çalışmalar yapılabilecektir.

Katkı Oranı Beyanı

Yazar katkı yüzdesi aşağıda verilmiştir. Yazar makaleyi incelemiş ve onaylamıştır.

	A.F.M.
K	100
T	100
Y	100
VTI	100
VAY	100
KT	100
YZ	100
KI	100
GR	100
PY	100
FA	100

K= kavram, T= tasarım, Y= yönetim, VTI= veri toplama ve/veya işleme, VAY= veri analizi ve/veya yorumlama, KT= kaynak tarama, YZ= Yazım, KI= kritik inceleme, GR= gönderim ve revizyon, PY= proje yönetimi, FA= fon alımı.

Çatışma Beyanı

Yazar bu çalışmada hiçbir çıkar ilişkisi olmadığını beyan etmektedir.

Etik Onay Beyanı

Bu çalışmada hayvanlar ve insanlar üzerinde herhangi bir çalışma yapılmadığı için etik kurul onayı alınmamıştır.

Kaynaklar

- ABB. 2022. Şeffaf Ankara. Ankara Büyükşehir Belediyesi. URL: <https://seffaf.ankara.bel.tr/> (erişim tarihi, 19 Şubat 2023).
- Arikan NI. 2022. Kripto paraların dünya genelindeki hukuki durumuna ilişkin bir inceleme. *Düzce İktisat Derg*, 2(1): 1-9.
- Celesti A, Maria F, Massimo V. 2019. A study on join operations in MongoDB preserving collections data models for future internet applications. *Future Internet*, 11(4): 1-17.
- Commission, European. 2023. The official portal for European data. European Commission. URL: <https://data.europa.eu/en/training/elearning/open-data-formats> (erişim tarihi, 19 Şubat 2023).
- Dang TK, Thu AD. 2021. An Effective and elastic blockchain-based provenance preserving solution for the open data. *Inter J Web Inform Systems*, 17(5): 480-515.
- Dannen C, 2017. Introducing Ethereum and Solidity: Foundations of cryptocurrency and blockchain programming for beginners. *Introducing Ethereum and Solidity: Foundations of Cryptocurrency and Blockchain Programming for Beginners*. Apress, Newyork, USA, 1st ed., pp: 185.
- Fujihara A. 2020. Proposing a Blockchain-Based open data platform and its decentralized oracle. *Adv Intel Systems Comput*, 1035: 190-201.
- Ganne E. 2018. World trade organization can blockchain revolutionize international trade? URL: <https://www.tradefacilitation.org/what-we-have-learned/wto-can-blockchain-revolutionize-international-trade/> (erişim tarihi, 19 Şubat 2023).
- Hyperledger. 2023. Hyperledger projects. linux foundation. URL: <https://www.hyperledger.org/projects> (erişim tarihi, 19 Şubat 2023).
- Joseph, Bwalya Kelvin. 2019. Blockchain for Open Data - exploring conceptual underpinnings and practice. *Pub Admin Inform Technol*, 31: 161-175.
- Khan MMR, Rezoana BA, Abu BS, Mahjabin RO. 2018. Study and observation of the variation of accuracies of KNN, SVM, LMNN, ENN algorithms on eleven different datasets from UCI machine learning repository. 4th International Conference on Electrical Engineering and Information and Communication Technology, iCEEICT, 13-15 September, Virtually, pp: 124-129.
- Marr B. 2023. How can small businesses use big data? Here Are 6 Practical Examples. Bernard Marr & Co. <https://bernardmarr.com/how-can-small-businesses-use-big-data-here-are-6-practical-examples/> (erişim tarihi, 19 Şubat 2023).
- McGinn D, McIlwraithD, Guo Y. 2018. Towards open data blockchain analytics: A bitcoin perspective. *Royal Soc Open Sci*, 5(8): 180298.
- Nakamoto S. 2008. Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system. *Bitcoin*: 9. URL: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>. (erişim tarihi, 19 Şubat 2023).
- Nowak MM, Dziób K, Ludwisiak L, Chmiel J. 2020. Mobile GIS applications for environmental field surveys: A state of the art. *Glob Ecol Conserv*, 23: e01089.
- Panoho K. 2019. The age of analytics and the importance of data quality. *Forbes*. <https://www.forbes.com/sites/forbesagencycouncil/2019/10/01/the-age-of-analytics-and-the-importance-of-data-quality/?sh=672d0a8e5c3c> (erişim tarihi, 19 Şubat 2023).
- Pfenninger, Stefan ve ark., 2017. The importance of open data and software: Is energy research lagging behind? *Energy Policy*, 101(2016): 211-215.
- Shadbolt N. 2007. Government data : Lessons from Data.Gov.Uk. *IEEE*, 16-22.
- Tavares B, Correia FF, Restivo A. 2020. Trusted data transformation with blockchain technology in open data. *Adv Intel Systems Comput*, 1004: 213-216.



GIDA PAKETLEMEDE RİSK DEĞERLENDİRMESİ SÜRECİ İÇİN BULANIK ÇOK KRİTERLİ BİR MODEL UYGULAMASI: DEMATEL VE CODAS

Semra BAYHUN^{1*}, Tuğçe ORAL², Mehmet ÖZDEMİR³

¹Yıldız Teknik University, Faculty of Machinery, PhD Program of Occupational Health and Safety, 34220, İstanbul, Türkiye

²Üsküdar Üsküdar University, Institute of Health Sciences, Department of Occupational Health and Safety, 34452, İstanbul, Türkiye

³Marmara University, Institute of Science, PhD Program of Machinery Engineering, 34452, İstanbul, Türkiye

Özet: Paketli gıda üretiminde makinelerden kaynaklı tehlikelerin tespitinin gerekliliği; karar vericilerin subjektif yaklaşımlarına karşı belirsizliklerin giderilmesi, tehlikelerden kaynaklı risklerin önceliklendirilmesi ve akabinde düzeltici faaliyetlerin sıralanması açısından çok kriterli karar verme problemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışmada karşımıza çıkan ana araştırma sorusu, karar verici uzman ekibin tercihleri de dahil olmak üzere nicel ve nitel karar kriterlerine dayalı olarak gıda üretim faaliyetlerinde makineler ile ilgili alınacak güvenlik önlemlerini sıralamak için bir yöntem gerekliliği olup olmadığıdır. Bu çalışma uygulama alanına ait mesleki tehlikelerin değerlendirilmesi ve bu tehlikeler sonucunda alınacak güvenlik önlemlerinin önceliklendirilmesi olmak üzere iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada, kriterlere ait faktör ağırlıkları Bulanık DEMATEL (Karar Verme Deneme ve Değerlendirme Laboratuvarı) ile hesaplanmıştır. İkinci aşamada elde edilen ağırlıklar kullanılarak Bulanık CODAS (Birleştirilebilir Uzaklık Esaslı Değerlendirme veya Birleştirilebilir Mesafe Tabanlı Değerlendirme) ile mesleki tehlikeler ve tehlikelerden kaynaklı riskler önceliklendirilmiştir. Böylece gerçekleştirilmesi gereken düzeltici ve önleyici faaliyetlerin iş planının sağlıklı bir şekilde oluşturulması sağlanmıştır. İş sağlığı ve güvenliği yönetim sisteminin işletilebilirliğini güçlendiren bir yaklaşım olarak risk ve önlemler birlikte analiz edilmiştir. Önerilen uygulama modeli gıda üretim sanayinde faaliyet gösteren bir fabrikada uygulanmış, en önemli ilk üç risk kaynağından ilki "Paketleme Makinesine ait Koruyucuların Manipülasyona Uğraması" olarak saptanmıştır. Bunu takip eden tüm alt kriterlerin bir arada değerlendirilmesiyle sırasıyla "Makine Operatörlük Eğitimi Bulunmayan Kişilerin Makineye Müdahalesi ve Paketleme Makinesinin Tehlikeli Bölgesine El ile Müdahalede Bulunması" olarak belirlenmiştir. Elde edilen bu veriler gıda sektöründe makine kullanımı noktasında operatörlük iş kolunun öneminin, iş sağlığı ve güvenliğinin sağlanması ile iş kazalarının önlenmesi açısından etkin bir faktör olduğunu ortaya koymaktadır.

Anahtar kelimeler: Risk analizi, Bulanık mantık, F-DEMATEL, F-CODAS, Gıda üretim endüstrisi


A Fuzzy Multi-Criteria Model Application for Risk Assessment Process in Food Packaging: DEMATEL and CODAS


Abstract: The necessity of detecting the hazards originating from machinery in packaged food production; It appears as a multi-criteria decision-making problem in terms of eliminating uncertainties against the subjective approaches of decision makers, prioritizing risks arising from hazards, and then ordering corrective actions. The main research question we encounter in this study is whether there is a need for a method to rank the safety measures to be taken regarding machinery in food production activities based on quantitative and qualitative decision criteria, including the preferences of the decision-making expert team. This study consists of two stages: the evaluation of the occupational hazards of the application area and the prioritization of the safety measures to be taken as a result of these hazards. In the first stage, the factor weights of the criteria were calculated with Fuzzy DEMATEL (Decision Making Trial and Evaluation Laboratory). Occupational hazards and risks arising from hazards were prioritized with Fuzzy CODAS (Combinable Distance Based Assessment) using the weights obtained in the second stage. Thus, it was ensured that the corrective and preventive actions to be carried out were formed in a healthy way. As an approach that strengthens the operability of the occupational health and safety management system, risks and precautions are analyzed together. The proposed application model was applied in a factory operating in the food production industry, and the first of three most important source of risk was determined as "Manipulation of the Protectors of the Packaging Machine". By evaluating all the following sub-criteria together, it was determined as 'Intervention of Persons without Machine Operator Training to the Machine and Manually Intervention in the Hazardous Zone of the Packaging Machine'. These obtained data reveal that the importance of the operator business in terms of machine use in the food industry is an effective factor in ensuring occupational health and safety and preventing occupational accidents.


Keywords: Risk analysis, Fuzzy logic, F-DEMATEL, F-CODAS, Food production industry

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Yıldız Teknik University, Faculty of Machinery, PhD Program of Occupational Health and Safety, 34220, İstanbul, Türkiye

E mail: guney_akinoglu@gmail.com (S. BAYHUN)

Semra BAYHUN  <https://orcid.org/0000-0001-8890-8248>

Tuğçe ORAL  <https://orcid.org/0000-0003-1795-1550>

Mehmet ÖZDEMİR  <https://orcid.org/0000-0002-3816-9157>

Gönderi: 14 Nisan 2023

Kabul: 31 Mayıs 2023

Yayınlanma: 01 Temmuz 2023

Received: April 14, 2023

Accepted: May 31, 2023

Published: July 01, 2023

Cite as: Bayhun S, Oral T, Özdemir M. 2023. A fuzzy multi-criteria model application for risk assessment process in food packaging: DEMATEL and CODAS. BSJ Eng Sci, 6(3): 265-275.



1. Giriş

İş sağlığı ve güvenliği saha uygulamaları kapsamında öncelikli çalışmaların başında risk değerlendirme uygulamaları gelmektedir. Risk analizi, risk değerlendirmenin bir alt basamağı olup; işyerinde üretim için gerekli ham madde ve malzeme tedariki ile başlayan ve üretim hedefine uygun ürün çıkana kadar geçen sürede çalışan güvenliği ve sağlığına zarar verebilecek tüm aşamaların belirlenmesidir. Risk analizi çıktılarının sayısal olarak değerlendirilme süreci de risk değerlendirilmesi olarak tanımlanmaktadır (Güler ve ark., 2011). Literatürde risk değerlendirmesi olarak birçok farklı yöntem bulunmaktadır. Önemli olan bu yöntemleri birbirleri ile karşılaştırmalı olarak uygulayarak, üretime destek olan tüm süreçlerde kör noktaların giderilmesi sağlamaktır.

Dinamik ve talebi yoğun bir sektör olan gıda imalatında üretim devamlılığının sağlanması, sistemsel hataların önceden fark edilerek önlenmesi veya düzeltilmesine bağlıdır. Bundan dolayı işletmeler, imalat sürecinde değişken taleplere göre üretim kalitesi ve standardizasyonları, çalışan performansı, iş çevrim süresi ve imalat esnasından yaşanabilecek makine arızaları ve çalışan kazaları gibi kriterlere göre ön görülebilen riskleri hedeflemektedir. Makine, çalışan, yoğun talep ve üretim gibi dinamik kriterlerin yer aldığı problemleri çözmek için çok kriterli karar verme (ÇKKV) yaklaşımlarından faydalanılmaktadır. Son yıllarda tek seferde daha etkin gözlem ve değerlendirme imkânı sağlayabilmek için ÇKKV yöntemleri ile klasik risk değerlendirme yöntemleri hibrit bir metot olarak geliştirilerek kullanılmaktadır. Böylece, risk değerlendirmesi yapan (karar vericilerin) kişilerin risk ölçeğine ulaşırken, en ideal düzeltici- kontrol yöntemlerine karar vermesi sağlanmaktadır (Kaya, 2020).

(Oral ve Bayhun, 2021) tarafından yapılan bir araştırmada gıdaların paketlenmesi esnasında kullanılan makinelerle çalışma esnasında yaşanan yaralanmalı iş kazalarının nedenleri FMEA ve HRNS olmak üzere iki farklı risk değerlendirme yönteminin karşılaştırılmasıyla irdelenmiştir. Yapılan araştırmada FMEA metoduna göre karar verilen önleme yöntemleri durumun kontrol aşamasında olduğu tespit edilirken, aynı önlem yöntemi HRNS metodunda durumun önemi ve yeterli bir önlem olmadığı vurgulanmıştır (Oral ve Bayhun, 2021). Benzer çalışmadaki aynı risk parametreleri kullanılarak, kontrol-önlem kriterlerine daha etkin karar verebilmek için çok kriterli karar verme yöntemlerinden faydalanılarak yeni bir hibrit risk değerlendirme yöntemi geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Bu çalışmada gıda imalatı sektöründe üretim esnasında yaşanan iş kazalarını minimize etmeye yönelik standart risk değerlendirme yöntemleri dışında kaza türlerini ağırlıklandırma da bulanık karar verme deneme ve değerlendirme laboratuvarı (DEMATEL) yöntemi, yaşanan kazalara göre önlem yöntemlerine karar vermek için birleştirilebilir mesafeye dayalı değerlendirme

(CODAS) yöntemi kullanılarak hibrit bir uygulama yapılmıştır.

1.1. Maksimum Verim-Performans Ölçümünde Tercih Edilen ÇKKV Yöntemleri

Araştırma konusuna benzer karmaşık problemleri çözmeye yönelik ÇKKV yöntemleri kullanılarak oluşturulan hibrit modeller ile optimal seçim için karar vericilere yönelik geliştirilen uygulama örnekleri incelenmiştir. VIKOR yöntemi ile alternatifler arasında seçim yaparken, çok kriterli sıralama indeksi oluşturarak ideal çözüme en yakın kararın verilmesine imkân sağlanmaktadır (Uğur ve ark., 2017). Yapılan incelemelerde genellikle optimal seçimlerde VIKOR yönteminin tercih edildiği saptanmıştır.

Chang ve ark. (2011) tarafından Tedarik Zinciri Yönetimini (TZY) etkileyen faktörler elektronik endüstrisindeki 17 profesyonel satın alma uzmanına DEMATEL yöntemi uygulama anketleri gönderilerek saptanmaya çalışılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda TZY'yi etkileyen faktörlerin ürün kalitesi, fiyatı gibi bilinen kriterlerin aksine, mal teslimatı olduğu ortaya çıkmıştır.

İlbarhar ve ark. (2018) yaptıkları çalışmalarında, pisagor bulanık AHP içeren Pisagor Bulanık Orantılı Risk Değerlendirmesi (PFPPRA) yaklaşımında bulunmuşlardır. Çalışmanın uygulamasını inşaat sektöründe gerçekleştirmişlerdir. Sonuçlar Hata Türü ve Etkilerinin Pisagor Bulanık Analizi ile karşılaştırılarak önerilen yöntemin karar verme sürecinin belirsizliğini daha iyi temsil ettiği gösterilmiştir.

Uslu ve ark. (2022) çalışmalarında, bulanık tabanlı DEMATEL ve MABAC (Multi-Attributive Border Approximation Area Comparison) yöntemlerini kullanarak üç aşamalı bulanık risk matrisi tabanlı yeni bir Risk Analizi (RA) önermişlerdir. İlk aşamada F-DEMATEL ile Risk Faktörlerinin (RF) önem ağırlıklarını hesaplamışlardır. İkinci adımda, bulanık risk matrisi kullanılarak Risk Türlerinin (RT) risk derecelerini hesaplamışlardır. Üçüncü aşamada ise düzeltici ve önleyici faaliyetler F-MABAC 'a göre sıralanmıştır.

Kuzu (2021) çalışmasında, gemilerin ikiye ayrılma kazasını önlemek için gemi yapısal hasarını tetikleyen 18 faktöre dayalı alternatif bir risk analizi yaklaşımında bulunmuştur. Kriterlerin aralarındaki neden-sonuç ilişkisini bulmak için yaygın olarak kullanılan bir yöntem olan bulanık DEMATEL kullanmıştır. Çalışmasında, gemi yapısal kazalarına ve önleyici tedbirlerine yönelik önerilerde bulunmuştur.

Koohathongsumrit ve Chankham (2022) çalışmalarında, bulanık risk değerlendirmesine dayalı ağırlık merkezi yöntemini, bulanık AHP ve VIKOR birleştiren yeni bir hibrit yaklaşım ile entegre ederek rotasyon problemi üzerine çalışmışlardır. Çalışmalarının etkinliği ve yöntemin uygulanabilirliğini, Tayland'dan Çin'e ampirik bir rota seçimi yoluyla doğrulamışlardır. AHP ile niteliklerin göreceli ağırlıkları hesaplandıktan sonra, nakliye maliyeti, süresi, güvenilir risk dereceleri ve öncelik değerleri VIKOR kullanılarak kapsamlı ulaşım

planlanması tasarımında karar vericilere yardımcı olmuştur. Li ve ark. (2022) çalışmalarında, bulanık VIKOR-FMEA'ya dayalı bir operasyonel emniyet risk analizi modeli oluşturmuşlardır. Uzman ekip, Hata Türü ve Etkileri Analizi (FMEA) yöntemini kullanarak her bir arıza türünün (S), oluşma sıklığının (O) ve tespit edilebilirliğini (D) değerlendirmek için dilsel değişkenleri kullanmışlardır. Risk faktörlerinin ağırlıklarını hesaplamak için bulanık AHP yöntemini maksimum sapma yaklaşımı ile entegre ederek kullanmışlardır. FMEA yöntemi sonucunda riskleri sıralamak için VIKOR yöntemini kullanmışlardır. (Rehman ve ark. (2022) çalışmalarında, elektrik enerjisi sektöründe riskleri azaltma stratejilerini belirlemek için en muhtemel, şiddetli, maliyetli, tespiti zor ve kontrol edilmesi zor riskler olarak kategorize ederek, risklerin değerlendirilmesi için kriterleri Bulanık Tam Tutarlılık Yöntemi (FUCOM) ile ölçerek, bu risklerin sıralanması için bulanık VIKOR yöntemini kullanmışlardır. Uygulama sonucunda yolsuzluk, döngüsel borçlar, eski altyapı, enerji kayıpları ve araştırma ve geliştirme eksikliğini en kritik riskler olarak bulmuşlardır.

Uslu ve ark. (2022) çalışmalarında, risk kriterlerini entropi ile ağırlıklandırıp, kriterlerin önem tespiti için Tercih Seçim İndeksi (PSI) ve Kriterler arası Korelasyon Yoluyla Kriterlerin Önem Tespiti (CRITIC) yöntemlerini entegre ederek kullanmışlardır. Hata türlerinin önceliklendirilmesi için Ortalama Çözüm Uzaklığına Göre Değerlendirme (EDAS), CODAS, Karmaşık Orantılı Değerlendirme (COPRAS) yöntemleri kullanmışlardır. Önerilen yöntemin etkinliğini savunma ve havacılık sanayisinde faaliyet gösteren bir firmada değerlendirmişlerdir.

Sahmutoglu ve ark. (2022) çalışmalarında, afet anında gıdaya erişim ve toplanma bölgesi sorununa çözüm olacak hibrit model önerisinde bulunmuşlardır. Uzman görüşü ile belirlenen gıda ve toplanma noktasına etki edecek kriterlerin aralık değerli nütrozofik AHP metodolojisi ile önem ağırlıkları belirlenmiştir. Bartın il sınırlarında bulunan on iki toplanma noktasının risklerine göre sıralaması aralık değerli nütrozofik CODAS yöntemi ile elde etmişlerdir. Önerilen entegre metodolojinin, afet risk değerlendirmeleri için uygulanabilir bir yöntem olması amaçlanmıştır.

Karasan ve ark. (2022) tarafından yapılan bir çalışmada işletmeler açısından üretilen bir ürünün müşteri gereksinimleri ve teknik özellikleri ayrı kategoride değerlendirilerek ilişkilendirilmiştir. Bu çalışmada müşteri gereksinimlerini belirlemede AHP yöntemi kullanılırken, teknik özellikler arasındaki ilişkiler nütrozofik DEMATEL yöntemi ile hem verilerdeki kesinlik hem de karar vericilerin belirsizlikleri dikkate alınarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak, müşteri tarafından beklenen en önemli teknik özellik ile müşteri gereksinimi arasında ilişki kurulmuştur.

Koca ve ark. (2021) akıllı şehirlerin planlanmasında öncülük edecek bir çalışmayı DEMATEL yöntemi kullanarak iki aşamalı hibrit bir metot ile yapmışlardır.

Yapılan çalışma sonucuna göre akıllı şehir konusunda farkındalık ve uygulama boyutlarını nitel bir tanımlayıcı yöntem ile DEMATEL'i içeren nicel bir yöntemle birleştirerek kullanmışlardır. Böylece, niteliksel aşama sonucu teknoloji odaklı çıkarken, nicel aşama sonucu insanların daha önemli ve belirleyici bir kriter olduğunu ortaya koymuştur. Böylece bu çalışma ile benzer problemlerin çözümünde hibrit metotların geliştirilmesinin karar vericilere daha pratik ve uygulanabilir rehberlik sağlayacağı vurgulanmıştır. Koca ve ark. (2021) yaptığı örnek çalışmada olduğu gibi bu çalışmada da geliştirilen hibrit bir metodoloji ile kaza türleri ve önleyici uygulamalara karar vermede etkili bir sonuç elde edilmesi amaçlanmıştır. Böyle hibrit bir metot ile gıda sektöründe yaygın olarak kullanılan gıda paketleme makinelerine bağlı olarak yaşanan kazaları önlemek için karar vericilere rehberlik edeceği düşünülmektedir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Bulanık Küme Teorisi

Bulanık mantık kavramı ilk kez 1965 yılında Matematikçi Lotfi A. Zadeh (1965) tarafından insan odaklı karar verme sürecindeki belirsizlik ve karmaşıklık ile mücadele edebilmek için kullanılan güçlü bir araçtır. Gerçek hayat problemlerinde çözüm ve karar vermedeki eylemlerin kesin bir şekilde tanımlanması mümkün olmadığı için belirsizlik ile karşı karşıya kalırız. Dilsel kelimeleri bulanık sayılara dönüştürüp kullanmak, karar verici grubun düşünce ve fikirlerindeki belirsizliği kavramaya çalışmaktan daha kolaydır. Bu bağlamda $\tilde{A} = (l, m, u)$ olarak tanımlanan üçgen bulanık sayıdır. Denklem 1'de l, m ve u, bulanık kümelerin alt, orta ve üst sayılarını gösterir. Bulanık sayı üyelik fonksiyonlarını şu şekilde gösterebiliriz (Denklem 1).

$$\mu_{\tilde{A}} = \begin{cases} 0, & x < l \\ \frac{x-l}{m-l}, & l \leq x \leq m \\ \frac{u-x}{u-m}, & m \leq x \leq u \\ 0 & x \geq u \end{cases} \quad (1)$$

Tablo 1'de bulanık ikili karşılaştırma yönteminde kullanılan önem ölçekleri gösterilmektedir. Bu önem ölçeği kullanılarak iki bulanık üçgen sayıları, $\tilde{A}_1 = (l_1, m_1, u_1)$ ve $\tilde{A}_2 = (l_2, m_2, u_2)$ şeklinde ifade edilebilir. Bunların istatistiksel tahminini şu şekilde çözmek mümkünür. Üçgensel bulanık sayıların kendi aralarında toplanması (Denklem 2);

$$\tilde{A}_1 + \tilde{A}_2 = (l_1 + l_2, m_1 + m_2, u_1 + u_2) \quad (2)$$

Üçgensel bulanık sayıların kendi aralarında çıkarılması (Denklem 3);

$$\tilde{A}_1 - \tilde{A}_2 = (l_1 - l_2, m_1 - m_2, u_1 - u_2) \quad (3)$$

Tablo 1. Bulanık ikili karşılaştırma yönteminde kullanılan önem ölçeği

Dilsel Ölçek	Etki Skoru	Üçgensel Bulanık Karşılıkları	
Çok Önemli (VI) - Çok Etkili	4	(0,7; 0,9; 1,0)	(7/10, 9/10, 10/10)
Önemli (I) - Etkili	3	(0,5; 0,7; 0,9)	(1/2, 7/10, 9/10)
Normal (N)	2	(0,3; 0,5; 0,7)	(3/10, 5/10, 7/10)
Önemsiz (U) - Etkisiz	1	(0,1; 0,3; 0,5)	(1/10, 3/10, 1/2)
Çok Önemsiz (VU) - Çok Etkisiz	0	(0; 0,1; 0,3)	(0, 1/10, 3/10)

Üçgensel bulanık sayıların kendi aralarında çarpılması (Denklem 4);

$$\tilde{A}_1 \times \tilde{A}_2 = (l_1 \times l_2, m_1 \times m_2, u_1 \times u_2) \quad (4)$$

Bulanık üçgen sayıların aritmetik olarak ifadesi (Denlem 5 ve 6);

$$k \times \tilde{A}_1 = (k \times l_1, k \times m_1, k \times u_1), k > 0 \quad (5)$$

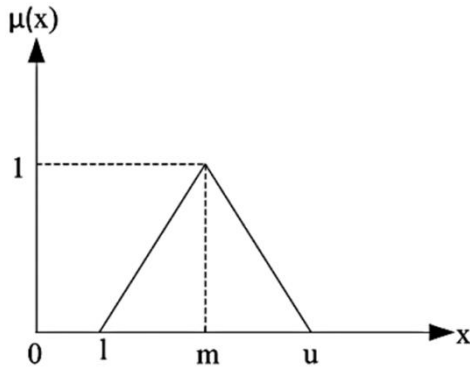
ve

$$\frac{k}{\tilde{A}_1} = \left(\frac{k}{l_1}, \frac{k}{m_1}, \frac{k}{u_1} \right), k > 0 \quad (6)$$

2.2. Bulanık DEMATEL

Bulanık DEMATEL dinamik ve ayrıntılı ÇKKV probleminde mevcut kriterler arasındaki ilişkiyi analiz ederek kriter ağırlıklarını hesaplamaya yarayan bir çözüm yöntemidir (Kuzu, 2021). DEMATEL, değişkenler arasındaki karşılıklı bağımlılık ilişkisini ve ağırlıklı etki değerlerini gösterir. Yöntemin işleyişi ile ilgili çözüm basamakları aşağıda gösterilmiştir (Chang ve ark., 2011; Li ve ark., 2022).

Adım 1. Doğrudan ilişki matrisinin oluşturulması; bu aşamada karar verici uzman grubun her bir kriter için karşılıklı etkilerini belirlemesi istenir. Böylece karar vericilerin dilsel değerlendirmesi gerçek sayısal değerlere çevrilmiş olur. Doğrudan ilişki matrisi bu nedenle tanımlanır. $A = [a_{ij}]$ burada A , $n \times n$ negatif olmayan matristir, a_{ij} , i faktörünün j faktörü üzerindeki doğrudan etkisini gösterir; ve $i = j$ olduğunda, köşegen elemanlar $a_{ij} = 0$ olur. Adım 1 görsel olarak ifade edildiği üçgensel bulanık sayı modeli Şekil 1’de gösterilmektedir.



Şekil 1. Üçgensel bulanık sayı.

Adım 2. İlk doğrudan ilişki matrisinin oluşturulması; bu adımda alt kriterler arasında karşılaştırma yapılarak normalleştirilmiş doğrudan ilişki matrisi elde edilir.

Adım 3. Toplam ilişki matrisinin (T) elde edilmesi; aşağıdaki formüller (Denklem 1) kullanılarak hesaplanır. T_{ij} , i kriterinin j kriteri üzerindeki dolaylı etkisini gösterir, dolayısıyla T, her bir kriter çifti arasındaki toplam ilişkiyi verir (Denklem 7).

$$T = D(I - D)^{-1} \quad (7)$$

Adım 4. Modelin analiz edilmesi, \tilde{r}_i ve \tilde{c}_i aşağıdaki formüller (Denklem 8 ve 9) kullanılarak belirlenir. Formülde \tilde{r}_i , tamamen i kriteri tarafından diğer tüm faktörlere verilen doğrudan ve dolaylı etkiyi gösterirken, \tilde{c}_i etkinin derecesini gösterir.

$$r_i = \sum_{j=1}^n T_{ij} \quad (8)$$

$$c_j = \sum_{i=1}^n T_{ij} \quad (9)$$

$i = j$ olduğunda, $r_i \sim + c_j \sim i$ kriteri tarafından verilen ve alınan tüm kriterleri gösterir. Yani $r_i \sim - c_j \sim$, hem i kriterinin tüm sistem üzerindeki etkisini hem de diğer sistem kriterlerinin, kriter i üzerindeki etkisini gösterir. Böylece $r_i \sim + c_j \sim i$ kriterinin tüm sistemdeki önem derecesini gösterebilir. Öte yandan $r_i \sim - c_j \sim$ değeri pozitif ise i kriteri açık neden olacaktır. $r_i \sim - c_j \sim$ negatifse, kriter etki grubu içinde kümelenmiş net bir sonuç olacaktır (Chang ve ark., 2011)

Adım 5. $r_i \sim + c_j \sim$ ve $r_i \sim - c_j \sim$ değerlerine göre neden-sonuç ilişkisi diyagramı çizilir. Böylece, faktörler arasındaki karmaşık ilişki kolayca görselleştirilir.

Toplam ilişki bulanık matrisinin kesin durumu, aşağıdaki formüller kullanılarak hesaplanır (Denklem 10 - 13);

$$\tilde{T} = \lim_{k \rightarrow +\infty} (\tilde{x}^1 + \tilde{x}^2 + \dots + \tilde{x}^k) \quad (10)$$

$\tilde{t}_{ij} = (\tilde{l}_{ij}, \tilde{m}_{ij}, \tilde{u}_{ij})$ olduğu zaman;

$$[\tilde{l}_{ij}] = x_l \times (I - x_l)^{-1} \quad (11)$$

$$[\tilde{m}_{ij}] = x_m \times (I - x_m)^{-1} \quad (12)$$

$$[\tilde{u}_{ij}] = x_u \times (I - x_u)^{-1} \quad (13)$$

Adım 6. Durulaştırma süreci: bu adımda $r_i \sim + c_j \sim$ ve $r_i \sim - c_j \sim$, en iyi bulanık olmayan performans (BNP) değerlerini belirlemek için Ross (1995) tarafından literatüre kazandırılan alan merkezi (COA) durulaştırma yöntemi kullanılır. Dışbükey bir bulanık sayı için $\tilde{\delta}$ ve alanın merkezine karşılık gelen gerçek sayı z^* Denklem 14 ve 15 kullanılarak belirlenir (Akyuz ve Celik, 2015).

$$z^* = \frac{\int \mu(z)zdz}{\int \mu(z)dz} \quad (14)$$

$\tilde{G} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$ bulanık sayısının en iyi bulanık olmayan performans değeri aşağıdaki formül ile hesaplanır;

$$BNP_{ij} = \frac{u_{ij} - l_{ij} + m_{ij} - l_{ij}}{3} + l_{ij} \quad (15)$$

Adım 7. Nihai çıktının elde edilmesi ve neden-sonuç ilişki şemasının oluşturulmasıdır.

2.3. Bulanık CODAS

Ghorabae ve ark. (2016) tarafından literatüre kazandırılan CODAS yönteminde, alternatiflerin negatif ideal çözüme olan uzaklıklarının hesaplanması için Öklid (Euclidean) ve Taksikab (Taxicab) uzaklıkları ile alternatiflerin birbirlerine göre avantajlı yönleri belirlenmektedir. Yöntemin ana çalışma mantığı hesaplanan negatif ideal çözümden en fazla uzaklıkta olan alternatifin seçilmesidir. Karar alternatiflerinin negatif ideal çözüme uzaklıklarının keşfinde öncelikle Öklid uzaklığı, sonrasında eğer iki karar alternatifi Öklid mesafesi üzerinden karşılaştırılamıyorsa veya çok benzer değerlere sahip ise, diğer bir ölçüt olan Taksikab uzaklığı dikkate alınır. n alternatif m kriterin olduğu bir karar verme probleminde, uygulama adımları aşağıdaki gibidir. CODAS yönteminin uygulama aşamaları şu şekildedir (Keshavarz Ghorabae, 2016).

Adım 1. Karar matrisi (X) aşağıdaki şekilde oluşturulur (Denklem 16);

$$X = [x_{ij}]_{n \times m} = \begin{bmatrix} x_{11} & \dots & x_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & \dots & x_{nm} \end{bmatrix} \quad (16)$$

Karar matrisindeki x_{ij} ($x_{ij} \geq 0$ olmak üzere), i. alternatifin j. kritere göre performans değerini ifade etmektedir. ($i \in \{1, 2, \dots, n\}$ ve $j \in \{1, 2, \dots, m\}$)

Adım 2. Normalize karar matrisi elde edilir. Tüm performans değerleri Denklem 17 ile ifade edilir. Burada doğrusal normalizasyon işlemi ile kriter tipine göre normalizasyon yapılır.

$$n_{ij} = \begin{cases} \frac{x_{ij}}{\max x_{ij}} & \text{eğer } j \in N_b \\ \frac{x_{ij}}{\min x_{ij}} & \text{eğer } j \in N_c \end{cases} \quad (17)$$

Burada N_b ile fayda kriteri, N_c ile zarar kriteri ifade edilmektedir.

Adım 3. Ağırlıklandırılmış normalize karar matrisinin oluşturulması; bu aşamada Denklem 18 yardımı ile bir önceki adımda hesaplanan normalize karar matrisi değerleri ve kriterlerin önem ağırlıkları çarpılarak, ağırlıklandırılmış karar matrisi elde edilir.

$$r_{ij} = w_j n_{ij} \quad (18)$$

Burada w_j ($0 < w_j < 1$ olmak üzere) j. kriterin ağırlığına ifade eder ve tüm kriter ağırlıklarının toplamı 1'e eşit olacaktır.

Adım 4. Negatif ideal çözüm noktası belirlenir. Ağırlıklandırılmış karar matrisinin her bir sütununda yer alan en küçük performans değeri seçilerek negatif ideal çözüm Denklem 19 ve 20 kullanılarak elde edilir.

$$ns = [ns_j]_{1 \times m} \quad (19)$$

$$ns_j = \min r_{ij} \quad (20)$$

Adım 5. Alternatiflerin negatif ideal çözüme olan Öklid ve Taksikab uzaklıkları sırasıyla Denklem 21 ve 22 yardımı ile hesaplanır.

$$E_i = \sqrt{\sum_{j=1}^m (r_{ij} - ns_j)^2} \quad (21)$$

$$T_i = \sum_{j=1}^m |r_{ij} - ns_j| \quad (22)$$

Adım 6. Göreceli değerlendirme matrisi (Ra)'nın oluşturulması, bu adımda her bir alternatifin diğerlerine olan Öklid ve Taksikab uzaklıkları dikkate alınarak aşağıdaki Denklem 23 ve denklem 24 aracılığıyla göreceli değerlendirme matrisi oluşturulur.

$$Ra = [h_{ik}]_{n \times n} \quad (23)$$

$$h_{ik} = (E_i - E_k) + (\psi (E_i - E_k) \times (T_i - T_k)) \quad (24)$$

Burada $k \in \{1, 2, \dots, n\}$, ψ ise iki alternatifin Öklid uzaklığının eşitliğini tanımlayan bir eşit fonksiyonu ifade eder ve Denklem 25 ile tanımlanır.

$$\psi(x) = \begin{cases} 1 & \text{eğer } |x| \geq \tau \\ 0 & \text{eğer } |x| < \tau \end{cases} \quad (25)$$

Buradaki τ eşik parametresi olarak tanımlanır ve karar verici tarafından belirlenebilir. Öklid uzaklığının önemsizlik derecesini gösteren bu parametrenin 0,01 ile 0,05 arasında bir değer olması tavsiye edilmektedir. Eğer iki alternatifin Öklid uzaklıkları arasındaki fark τ 'den küçük ise, bu iki alternatif Taksikab uzaklığı ile

kıyaslanır. Çalışmalarda τ eşit parametre değerinin genellikle 0,2 olarak kullanıldığı görülmektedir. Adım 7. Her bir alternatifin değerlendirme puan skorunun hesaplanması için Denklem 26 kullanılır.

$$H_i = \sum_{k=1}^n h_{ik} \quad (26)$$

Adım 8. Sonuç olarak alternatifler sahip oldukları değerlendirme puanlarına göre sıralanır. En yüksek puanı alan alternatif, diğerlerine göre en iyi seçim anlamına gelmektedir.

3. Uygulama ve Bulgular

Demir Önerilen model hazır gıda imalatı ve paketlenmesi işlemlerinin yürütüldüğü bir fabrikada uygulanmıştır. Çalışmanın analiz sürecini yürüten uzman ekip ikisi iş güvenliği uzmanı ve biri endüstri mühendisi olmak üzere üç kişiden oluşmaktadır. Kriterlerin tespiti, uzman ekibin görüşleri alınarak ve önerilen modele uygun olarak

hazırlanan tehlike tespit formu ile belirlenmiştir. Tehlikelerin tespiti ve risk değerlendirilmesi Uzman ekip tarafından fabrikada tespit edilen faaliyete yönelik tehlike kaynakları ve riskler; Mekanik (T-1), Ergonomik (T-2), Organizasyonel (T-3) olmak üzere üç farklı ana kriter ve T-11, T-12, T-13, T-14, T-21, T-22, T-31 olmak üzere 7 alt kriterden oluşmakta olup Tablo 2’de gösterilmiştir (Oral ve Bayhun, 2021).

Uzmanlardan elde edilen verilerin doğrultusunda oluşturulan karşılaştırma matrisi Tablo 3’de gösterilmektedir. Burada uzman görüşleri kullanılan bulanık mantık doğrultusunda teke indirgenmiştir.

Uzman görüşleri ile oluşturulan ikili karşılaştırma matrisinin normalize edilmesi sağlanmıştır. Elde edilen ikili karşılaştırma matrisi normalizasyonu Tablo 4’de gösterilmektedir.

İkili karşılaştırma matrisinin normalizasyonu gerçekleştirildikten sonra üçgen bulanık diyagramına uygun olacak şekilde diyagramın sağ ve sol taraftan normalleştirilen matris Tablo 5’de görülmektedir.

Tablo 2. Faaliyete ait tehlike kaynakları ve riskler

Tehlike Kodu	Faaliyet	Faaliyete Ait Tehlike	Riskler
T-11	Paketleme Makinesinin Tehlikeli Bölgesine El İle Müdahalede Bulunma	Makine operasyon bölgesine paketleme malzemesinin sıkışması nedeni ile makine durdurulmadan çalışanların el ile müdahalede bulunması sonucu oluşan tehlikedir.	Elin yüksek ısı ile paketin yapışmasını sağlayan noktaya temas etmesi ile meydana gelebilecek yanık veya uzuv kaybı.
T-12	Paketleme Makinesine Ait Koruyucuların Manipülasyona Uğraması	Makine bakım/ onarım çalışmaları sonucunda makine koruyucuların sökülüp tekrar takılmaması nedeniyle koruyucuların koruma fonksiyonlarının yeterliliğini yitirmesi ile oluşan tehlikedir.	Koruyucuların yetersizliği sonucu çalışan makineye müdahale ile meydana gelebilecek uzuv kaybı.
T-13	Paketleme Makinesi Yardımcı Ekipmanı Çok Kefeli Terazilere Ürün Yapışması Sonucu El İle Müdahale	Paketlenecek gıda ürünlerinin gramajlarının belirlendiği paketleme makinesinin yardımcı ekipmanları olan çok kefli terazilere ürün yapışması sonucu bu noktalara el ile müdahale edilmesinden ötürü ürünlerin taşınmasını sağlayan taşıma bantlarına çalışanlarının el ve parmaklarının sıkışması sonucu oluşan tehlikedir.	Taşıma bantlarına el ile müdahale etme sonucu meydana gelebilecek uzuv sıkışması veya kaybı.
T-14	Paketleme Makinesi bobin (>20kg) Değiştirme İşleminin Çalışanlar Tarafından Ekipman Desteği Olmadan Gerçekleştirilmesi	Minimum ağırlığı 20 kg olan bobinlerin değişimi esnasında çalışanların bobini düşürmesi sonucu meydana gelen tehlikedir.	Bobin düşmesi sonucu meydana gelebilecek uzuv ezilmesi veya kaybı.
T-21	Paketleme Makinesi Besleme Elevatörü Noktasında Kasa Kaldırma ve Boşaltma İşlemlerinin Yapılması	Paketleme makinesine ürün beslemesi sırasında çalışanların kaldırma ve boşaltma işlerini yapması sonucu kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarının oluşumuna neden olan tehlikedir.	Kaldırma ve taşıma işleri sonucu meydana gelebilecek kas-iskelet sistemi meslek hastalığı veya iş kazası olarak yaralanmaya sebep olan olay/ fiziksel veya ruhsal baskı.
T-22	Tekrarlayıcı Çalışmalar Yapılması	Paketleme ürünlerinin kolilenmesi işlerindeki dikkat isteyen tekrarlayıcı işlerin stres etkisini artırması sonucu oluşan tehlikedir.	Stres sonucu meydana gelebilecek olan psikolojik rahatsızlıklar.
T-31	Makine Operatörlük Eğitimi Bulunmayan Kişilerin Makineye Müdahalesi	Makine operatörlük eğitimi olmayan çalışanların makinelere müdahale etmeleri sonucu oluşan tehlikedir.	Yetersiz organizasyonel yapı sonucu meydana gelebilecek uzuv kayıplı veya ölümlü olay.

Tablo 3. Uzmanların ikili karşılaştırma matrisi

	T-11	T-12	T-13	T-14	T-21	T-22	T-31
T-11	(1;1;1)	(0,7; 0,9; 1,0)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,1; 0,3; 0,5)	(0,1; 0,3; 0,5)	(0,1; 0,3; 0,5)	(0,1; 0,3; 0,5)
T-12	(0,7; 0,9; 1,0)	(1;1;1)	(0,1; 0,3; 0,5)	(0,1; 0,3; 0,5)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,1; 0,3; 0,5)
T-13	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,1; 0,3; 0,5)	(1;1;1)	(0,1; 0,3; 0,5)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,1; 0,3; 0,5)
T-14	(0,1; 0,3; 0,5)	(0,1; 0,3; 0,5)	(0,1; 0,3; 0,5)	(1;1;1)	(0,1; 0,3; 0,5)	(0,1; 0,3; 0,5)	(0,1; 0,3; 0,5)
T-21	(0,1; 0,3; 0,5)	(0,1; 0,3; 0,5)	(0,1; 0,3; 0,5)	(0,1; 0,3; 0,5)	(1;1;1)	(0,1; 0,3; 0,5)	(0,1; 0,3; 0,5)
T-22	(0,1; 0,3; 0,5)	(0,1; 0,3; 0,5)	(0,1; 0,3; 0,5)	(0,1; 0,3; 0,5)	(0,5; 0,7; 0,9)	(1;1;1)	(0,3; 0,5; 0,7)
T-31	(0,7; 0,9; 1,0)	(0,7; 0,9; 1,0)	(0,7; 0,9; 1,0)	(0,1; 0,3; 0,5)	(0,1; 0,3; 0,5)	(0,3; 0,5; 0,7)	(1;1;1)

Tablo 4. İkili karşılaştırma matrisi normalizasyonu

index (ij)	T	a1			b1			c1			d1			f1			g1			h1		
		T-11 (aij)			T-12 (bij)			T-13 (cij)			T-14 d(ij)			T-21 f(ij)			T-22 g(ij)			T-31 h(ij)		
a1	T-11	1	1	1	0,7	0,9	1	0,3	0,5	0,7	0,1	0,3	0,5	0,1	0,3	0,5	0,1	0,3	0,5	0,1	0,3	0,5
a2	T-12	0,7	0,9	1	1	1	1	0,1	0,3	0,5	0,1	0,3	0,5	0,3	0,5	0,7	0,3	0,5	0,7	0,1	0,3	0,5
a3	T-13	0,3	0,5	0,7	0,1	0,3	0,5	1	1	1	0,1	0,3	0,5	0,3	0,5	0,7	0,3	0,5	0,7	0,1	0,3	0,5
a4	T-14	0,1	0,3	0,5	0,1	0,3	0,5	0,1	0,3	0,5	1	1	1	0,1	0,3	0,5	0,1	0,3	0,5	0,1	0,3	0,5
a5	T-21	0,1	0,3	0,5	0,1	0,3	0,5	0,1	0,3	0,5	0,1	0,3	0,5	1	1	1	0,1	0,3	0,5	0,1	0,3	0,5
a6	T-22	0,1	0,3	0,5	0,1	0,3	0,5	0,1	0,3	0,5	0,1	0,3	0,5	0,5	0,7	0,9	1	1	1	0,3	0,5	0,7
a7	T-31	0,7	0,9	1	0,7	0,9	1	0,7	0,9	1	0,1	0,3	0,5	0,1	0,3	0,5	0,3	0,5	0,7	1	1	1

Tablo 5. Sağ ve sol normalleştirilmiş değerleri ile oluşturulan matris

index (ij)	T	xls-xrs		xls-xrs		xls-xrs		xls-xrs		xls-xrs		xls-xrs		xls-xrs	
		T-11		T-12		T-13		T-14		T-21		T-22		T-31	
a1	T-11	0,818	0,636	0,667	0,600	0,222	0,222	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
a2	T-12	0,667	0,600	0,818	0,636	0,000	0,000	0,000	0,000	0,222	0,222	0,222	0,222	0,000	0,000
a3	T-13	0,222	0,222	0,000	0,000	0,818	0,636	0,000	0,000	0,222	0,222	0,222	0,222	0,000	0,000
a4	T-14	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,818	0,636	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
a5	T-21	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,818	0,636	0,000	0,000	0,000	0,000
a6	T-22	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,444	0,444	0,818	0,636	0,222	0,222
a7	T-31	0,667	0,600	0,667	0,600	0,667	0,600	0,000	0,000	0,000	0,000	0,222	0,222	0,818	0,636

Sağ ve sol taraftan normalleştirilen matris toplam değeri ile ilişki matrisi oluşturulmaktadır. Dolayısıyla oluşturulan bulanık toplam ilişki matrisi Tablo 6’da yer almaktadır.

Bulanık toplam ilişki matrisi oluşturulduktan sonra bir sonraki adım normalleştirilmiş direk matrisidir. Normalleştirilmiş direk matrisi değişkenler arasındaki ilişkileri ortaya koymaktadır. Normalleştirilmiş direk matrisi Tablo 7’de gösterilmektedir.

Toplam nominalleştirilmiş kesin değerlerin hesaplanması (Denklem 27):

$$w_{ij}^{-k} = \min a_{ij}^n + x_{ij}^n \Delta_{min}^{max} \quad (27)$$

Tablo 6. Bulanık toplam ilişki matrisi

T	T-11		T-12		T-13		T-14		T-21		T-22		T-31	
T-11	1,0	0,8	0,6	0,7	0,7	0,6	0,2	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
T-12	0,7	0,7	0,6	1,0	0,8	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,2
T-13	0,2	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	1,0	0,8	0,6	0,0	0,0	0,2	0,2	0,2
T-14	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,8	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0
T-21	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,8	0,6	0,0	0,0	0,0
T-22	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,4	0,4	1,0	0,8	0,6
T-31	0,7	0,7	0,6	0,7	0,7	0,6	0,7	0,7	0,6	0,0	0,0	0,2	0,2	1,0

Normalleştirilmiş direk matrisi sonrasında kimlik matrisi oluşturulmaktadır. Bir başka ifade ile karar matrisinin ortaya çıkartılmasıdır (Denklem 28). Kimlik matrisi Tablo 8’de gösterilmektedir.

$$S = k \times A_k = \frac{1}{\max 1 \leq i \leq n \sum_{j=1}^n a_{ij}} \quad (28)$$

Karar verme yöntemlerdeki kritik matris olarak ifade edilen ve değişkenler arasındaki ilişki ortaya çıkaran normalleştirilmiş doğrudan matris Tablo 9’da yer almaktadır.

Tablo 7. Normalleştirilmiş direk matrisi

index (ij)	T	a1	b1	c1	d1	f1	g1	h1
		T-11	T-12	T-13	T-14	T-21	T-22	T-31
a1	T-11	0,677	0,624	0,222	0,000	0,000	0,000	0,000
a2	T-12	0,624	0,818	0,000	0,000	0,222	0,222	0,000
a3	T-13	0,222	0,000	0,818	0,000	0,222	0,222	0,000
a4	T-14	0,000	0,000	0,000	0,818	0,000	0,000	0,000
a5	T-21	0,000	0,000	0,000	0,000	0,818	0,000	0,000
a6	T-22	0,000	0,000	0,000	0,000	0,444	0,818	0,222
a7	T-31	0,624	0,667	0,667	0,000	0,000	0,222	0,818

Tablo 8. Kimlik matrisi oluşturma

Index (ij)	T	a1	b1	c1	d1	f1	g1	h1	S
		T-11	T-12	T-13	T-14	T-21	T-22	T-31	
a1	T-11	0,709	0,661	0,300	0,100	0,100	0,100	0,100	2,071
a2	T-12	0,661	0,836	0,100	0,100	0,300	0,300	0,100	2,398
a3	T-13	0,300	0,100	0,836	0,100	0,300	0,300	0,100	2,036
a4	T-14	0,100	0,100	0,100	0,836	0,100	0,100	0,100	1,436
a5	T-21	0,100	0,100	0,100	0,100	0,836	0,100	0,100	1,436
a6	T-22	0,100	0,100	0,100	0,100	0,500	0,836	0,300	2,036
a7	T-31	0,661	0,667	0,667	0,000	0,000	0,222	0,818	3,035

Max top A
k = 1/3,035

Tablo 9. Normalleştirilmiş doğrudan matris (O)

index (ij)	T	a1	b1	c1	d1	f1	g1	h1
		T-11	T-12	T-13	T-14	T-21	T-22	T-31
a1	T-11	0,234	0,218	0,099	0,033	0,033	0,033	0,033
a2	T-12	0,218	0,276	0,033	0,033	0,099	0,099	0,033
a3	T-13	0,099	0,033	0,276	0,033	0,099	0,099	0,033
a4	T-14	0,033	0,033	0,033	0,276	0,033	0,033	0,033
a5	T-21	0,033	0,033	0,033	0,033	0,276	0,033	0,033
a6	T-22	0,033	0,033	0,033	0,033	0,165	0,276	0,099
a7	T-31	0,218	0,220	0,220	0,000	0,000	0,073	0,270

Normalleştirilmiş doğrudan matrisinden sonra normalleştirilmiş doğrudan matrisi ile kimlik matrisinin negatifleştirilmesi yapılmaktadır. Negatifleşme matrisi Tablo 10'da gösterilmektedir.

Normalleştirilmiş doğrudan matrisi ile kimlik matrisinin negatifleştirilmesi sonrası oluşan matrisin tersi alınmaktadır. Matrisin tersi Tablo 11'de gösterilmektedir. Ters matris oluşturulduktan sonra ters matris ile ilişki matrisi çarpılarak yeni bir matris elde edilir. Ortaya çıkan matris Tablo 12'de yer almaktadır.

Bir sonraki adım olarak sebep ve sonuç diyagramını

eşlemek için hesaplama yapılmaktadır. Oluşan matris Tablo 13'de yer almaktadır.

Sebeup ve sonuç diyagramını eşlemek için oluşturulan matristen sonra etki ve nedensel faktörler belirlenmektedir. Oluşan faktörler Tablo 14'de yer almaktadır.

En sonra adım olarak risklerin yüzdeleri belirlenmektedir. Bu yüzdeler değerlere en fazla risk oluşturan değişken ortaya çıkmaktadır. Yüzdelerin yer aldığı risk sıralaması Tablo 15'de gösterilmektedir.

Tablo 10. Eksi normalleştirilmiş doğrudan matris (O) kullanılarak elde edilen kimlik matrisi (I)

	T-11	T-12	T-13	T-14	T-21	T-22	T-31
T-11	0,766	-0,218	-0,099	-0,033	-0,033	-0,033	-0,033
T-12	-0,218	0,724	-0,033	-0,033	-0,099	-0,099	-0,033
T-13	-0,099	-0,033	0,724	-0,033	-0,099	-0,099	-0,033
T-14	-0,033	-0,033	-0,033	0,724	-0,033	-0,033	-0,033
T-21	-0,033	-0,033	-0,033	-0,033	0,724	-0,033	-0,033
T-22	-0,033	-0,033	-0,033	-0,033	-0,165	0,724	-0,099
T-31	-0,218	-0,220	-0,220	0,000	0,000	-0,073	0,730

Tablo 11. Matrisin ters çevrilmesi (I-O)

	T-11	T-12	T-13	T-14	T-21	T-22	T-31
T-11	1,578	0,565	0,317	0,1334	0,249	0,225	0,159
T-12	0,593	1,663	0,25	0,1458	0,37	0,33	0,181
T-13	0,345	0,254	1,52	0,1248	0,33	0,294	0,156
T-14	0,17	0,168	0,141	1,4147	0,144	0,132	0,11
T-21	0,17	0,168	0,141	0,0943	1,464	0,132	0,11
T-22	0,267	0,264	0,222	0,1224	0,427	1,51	0,263
T-31	0,779	0,772	0,649	0,1334	0,328	0,406	1,544

Tablo 12. Toplam ilişki matrisini (S) elde etmek için (I - O)⁻¹ matrisi ile (O) matrisinin çarpılması

	T-11	T-12	T-13	T-14	T-21	T-22	T-31
T-11	0,578	0,565	0,317	0,1334	0,249	0,225	0,159
T-12	0,593	0,663	0,25	0,1458	0,37	0,33	0,181
T-13	0,345	0,254	0,52	0,1248	0,33	0,294	0,156
T-14	0,17	0,168	0,141	0,4147	0,144	0,132	0,11
T-21	0,17	0,168	0,141	0,0943	0,464	0,132	0,11
T-22	0,267	0,264	0,222	0,1224	0,427	0,51	0,263
T-31	0,779	0,772	0,649	0,1334	0,328	0,406	0,544

Tablo 13. Sebep ve sonuç diyagramını eşlemek için (D+R) ve (D-R) hesaplaması

	T-11	T-12	T-13	T-14	T-21	T-22	T-31
T-11	0,578	0,565	0,317	0,1334	0,249	0,225	0,159
T-12	0,593	0,663	0,25	0,1458	0,37	0,33	0,181
T-13	0,345	0,254	0,52	0,1248	0,33	0,294	0,156
T-14	0,17	0,168	0,141	0,4147	0,144	0,132	0,11
T-21	0,17	0,168	0,141	0,0943	0,464	0,132	0,11
T-22	0,267	0,264	0,222	0,1224	0,427	0,51	0,263
T-31	0,779	0,772	0,649	0,1334	0,328	0,406	0,544
R	2,901	2,853	2,24	1,1689	2,313	2,03	1,522

Tablo 14. Bulanık negatif ideal çözüm değerleri

	D	R	D+R	D-R	
T-11	2,226	2,901	5,127342912	-0,675627453	Etki (Sonuç) Faktör
T-12	2,532	2,853	5,385478045	-0,320865163	Etki (Sonuç) Faktör
T-13	2,025	2,24	4,264883483	-0,21463982	Etki (Sonuç) Faktör
T-14	1,279	1,169	2,447445747	0,109719315	Neden Faktör
T-21	1,279	2,313	3,591737044	-1,034571983	Etki (Sonuç) Faktör
T-22	2,076	2,03	4,106073146	0,046509016	Neden Faktör
T-31	3,612	1,522	5,133936365	2,089476088	Neden Faktör

Tablo 15. Yüzdelerle göre mesleki tehlikelerin sıralaması

Ağırlıkları	Yüzde (%)		
T-11	5,127	0,171	17,059
T-12	5,385	0,179	17,918
T-13	4,265	0,142	14,189
T-14	2,447	0,081	8,143
T-21	3,592	0,119	11,950
T-22	4,106	0,137	13,661
T-31	5,134	0,171	17,081

Önerilen modelin çözüm sonuçlarına göre hazır gıda paketlemesi işlemlerinin yürütümü esnasında karşılaşılan mekanik tehlike kaynakları içerisinde Paketleme Makinesine ait Koruyucuların Manipülasyona

Uğraması öncelikli olarak bulunurken; Ergonomik tehlike kaynakları içerisinde Tekrarlayıcı Çalışmaların Yapılması, Organizasyonel tehlike kaynakları içerisinde ise Makine Operatörlük Eğitimi Bulunmayan Kişilerin Makineye Müdahalesi bulunmuştur.

Faaliyete ait tehlike kaynakları ve riskler bir arada değerlendirildiğinde ise bir iş kazasının gerçekleşmesine en fazla etki sağlayan ilk üç işlem sırasıyla; Paketleme Makinesine ait Koruyucuların Manipülasyona Uğraması, Makine Operatörlük Eğitimi Bulunmayan Kişilerin Makineye Müdahalesi ve Paketleme Makinesinin Tehlikeli Bölgesine El ile Müdahalede Bulunması' tespit edilmiştir.

4. Tartışma

Oral ve Bayhun (2021) tarafından yapılan "Gıda Paketleme Makinelerinin Kullanım Risklerinin HRNS Metodu ve FMEA Yöntemi ile Karşılaştırılması" başlıklı araştırmada benzer tehlike kaynakları ve risklerin önem dereceleri iki farklı yöntem ile karşılaştırılmıştır. Yapılan araştırma sonucunda HRNS metoduna göre en yüksek skora sahip tehlike kaynağı 'Paketleme Makinesine ait Koruyucuların Manipülasyona Uğraması' olarak çıkmıştır. Aynı verilerin ÇKKV yöntemleri ile hibrit bir metod ile karşılaştırılması sonucu da HRNS metodu sonucu ile benzerlik göstermektedir.

Aynı verilerin FMEA metodu kullanılarak yapılan değerlendirme sonucunda ise Organizasyonel tehlike kaynağına bağlı olarak "Makine Operatörlük Eğitimi Bulunmayan Kişilerin Makineye Müdahalesi" en yüksek skora sahip olarak bulunmuştur (Oral ve Bayhun, 2021). Araştırma bulguları da iş kazası veya meslek hastalığına neden olan etkenler ile ilgili risk değerlendirme çalışmalarında tek kriterli değerlendirmeye bağlı yöntemlerin tercih edilmesinde sonuçlar farklılıklar gösterebildiği gibi öncelikli riskin saptanamamasına neden olabilmektedir. Bu amaçla, işyerleri düzeni ve koşulları içerisinde iş kazasının gerçekleşmesine zemin hazırlayan etkenlerin ÇKKV yöntemleri yardımıyla bir arada değerlendirilmesi iş güvenliği uygulamaları açısından daha doğru bir risk tespiti yapılmasını sağlamaktadır.

Uygulanan yöntem, önemsiz riskleri çok yüksek derecelere yükseltmeyeceği gibi, ciddi bir tehlikeyi de düşük derecelere indirmez. Elde edilen sonuçlar, uygulanan risk sıralama yönteminin gerçekten ciddi sonuçları olabilecek yüksek riskler için değişken sonuçlar sağlamadığını gösterir (Yılmaz ve Özcan, 2019).

Zadeh (1965), somut olayların araştırılmasında veya sınıflandırılmasında kesin ölçütlerin olmadığından bahsetmektedir. Bu durum, özellikle iş güvenliği uygulamalarında risklerin belirlenmesinde ve sıralanmasında bulanık sayılara bağlı metodların gerekliliğini vurgulamaktadır.

5. Sonuç

Bu araştırma, hazır gıda paketlemesinde veya hazır gıda üretimi faaliyeti gösteren işletmelerde yaşanabilecek iş kazalarına neden olacak kaynakların tespitinde ve önleyici uygulamalara bağlı olarak iş performansını artırmanın etkili bir yolunu sağlamayı amaçlamaktadır.

İşyeri içinde iş kazasının gerçekleşmesine en fazla etki sağlayan ilk faktörün; Paketleme Makinesine ait Koruyucuların Manipülasyona Uğraması olduğu görülmektedir. Bu durumda alınabilecek önlemler için işyeri içinde makine kurulumu aşamasında iş sağlığı ve güvenliği profesyonellerinin görüşlerinin alınması, çalışanın hangi şekil ve koşullarda makine ile çalışmasının uygun olduğunun değerlendirilmesi açısından önemlidir.

İkinci faktör Makine Operatörlük Eğitimi Bulunmayan

Kişilerin Makineye Müdahalesi'dir. Bu tehlikeli davranışın işyeri içinde önlenmesi için denetimlerin uyarı ve ceza uygulamaları ile desteklenmesi; ayrıca bu konuda oluşturulan prosedürler hakkında çalışanların eğitilmesi gerekmektedir.

Üçüncü faktör Paketleme Makinesinin Tehlikeli Bölgesine El ile Müdahalede Bulunması'dır. Birinci tehlike faktörü için yapılacak düzeltici faaliyetler bu tehlikeli davranışında sonuçlarını olumlu derecede düzeltecektir. Ayrıca makineye müdahale gerektiren durumların varsa teknik alt nedenleri (Makine veya ürün kaynaklı) araştırılarak kök nedenler incelenmelidir.

Bu araştırmada, mekanik, ergonomik ve organizasyonel ana kriterler değerlendirilirken Bulanık DEMATEL ve CODAS yöntemi uygulanmıştır. Gelecekteki çalışmalarda, yaşanan iş kazalarını azaltmak veya işletmelerdeki risklerin kritiklik seviyeleri diğer ÇKKV yöntemleri ile belirlenebilir. Fakat bu çalışma, gıda imalatı işletmelerinde yaşanan iş kazalarının kök nedenlerine bağlı olarak değerlendirilmesinde ve bu alana yönelik ÇKKV yöntemleri kullanılarak yapılan ilk çalışmalardan biri olduğundan; bu nedenle önerilen metodolojinin ileride yapılacak çalışmalara ışık tutabileceği düşünülmektedir.

Katkı Oranı Beyanı

Yazar(lar)ın katkı yüzdesi aşağıda verilmiştir. Tüm yazarlar makaleyi incelemiş ve onaylamıştır.

	S.B.	T.O.	M.Ö.
K	40	30	30
T	50	50	
Y	40	40	20
VTI	40	30	30
VAY	30	30	40
KT	40	40	20
YZ	40	40	20
KI	40	40	20
GR	100		

K= kavram, T= tasarım, Y= yönetim, VTI= veri toplama ve/veya işleme, VAY= veri analizi ve/veya yorumlama, KT= kaynak tarama, YZ= Yazım, KI= kritik inceleme, GR= gönderim ve revizyon.

Çalışma Beyanı

Yazarlar bu çalışmada hiçbir çıkar ilişkisi olmadığını beyan etmektedirler.

Etik Onay Beyanı

Bu araştırmada hayvanlar ve insanlar üzerinde herhangi bir çalışma yapılmadığı için etik kurul onayı alınmamıştır.

Kaynaklar

- Akyuz E, Celik E. 2015. A fuzzy DEMATEL method to evaluate critical operational hazards during gas freeing process in crude oil tankers. J Loss Prevent Process Indust, 38: 243-253. DOI: 10.1016/j.jlp.2015.10.006.
- Chang B, Chang CW, Hung C. 2011. Fuzzy DEMATEL method for

- developing supplier selection criteria. *Expert Syst Appl*, 38(3): 1850-1858. DOI: 10.1016/j.eswa.2010.07.114.
- Güler Ç, Songül A, Vaizoğlu A, Tekbaş F. 2011. Risk değerlendirmesi. *Palme Yayınevi*, Ankara, Türkiye, pp: 48.
- İlbahar E, Karaşan A, Cebi S, Kahraman C. 2018. A novel approach to risk assessment for occupational health and safety using Pythagorean fuzzy AHP & fuzzy inference system. *Safety Sci*, 103: 124-136. DOI: 10.1016/j.ssci.2017.10.025.
- Karasan A, İlbahar E, Cebi S, Kahraman C. 2022. Customer-oriented product design using an integrated neutrosophic AHP & DEMATEL & QFD methodology. *Appl Soft Comput*, 118: 108445. DOI: 10.1016/j.asoc.2022.108445.
- Kaya İ, Karaşan A. 2020. Çok kriterli karar verme. *Umuttepe Yayınları*, İstanbul, Türkiye, pp: 142.
- Keshavarz GM. 2016. Developing an MCDM method for robot selection with interval type-2 fuzzy sets. *Robotics Comput Integ Manufact*, 37: 221-232. DOI: 10.1016/j.rcim.2015.04.007.
- Koca G, Eğilmez O, Akcakaya O. 2021. Evaluation of the smart city: Applying the dematel technique. *Telemat Informat*, 62: 101625. DOI: 10.1016/j.tele.2021.101625.
- Koohathongsumrit N, Chankham W. 2022. A hybrid approach of fuzzy risk assessment-based incenter of centroid and MCDM methods for multimodal transportation route selection. *Cogent Engineering* 9(1): 2091672. DOI: 10.1080/23311916.2022.2091672.
- Kuzu AC. 2021. Risk analysis of break-in-two accident of ships using fuzzy DEMATEL method. *Ocean Eng*, 235: 109410. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2021.109410.
- Li H, Guo Y, Li F, Cao Y, Wang Y, Ma Y. 2022. Assessment of operation safety risk for South-to-North Water Diversion Project: a fuzzy VIKOR-FMEA approach. *Water Supply*, 22(4): 3685-3701. DOI: 10.2166/ws.2022.009.
- Oral T, Bayhun S. 2021. Comparison of the use risks of food packaging machines with the HRNS method and FMEA method. *BSJ Eng Sci*, 4(4): 168-178. DOI: 10.34248/bsengineering.948968.
- Rehman OU, Ali Y, Sabir M. 2022. Risk assessment and mitigation for electric power sectors: A developing country's perspective. *Int J Critical Infrastruct Protect*, 36: 100507. DOI: 10.1016/j.ijcip.2021.100507.
- Sahmutoglu I, Taskin A, Ayyildiz E. 2022. Assembly area risk assessment methodology for post-flood evacuation by integrated neutrosophic AHP-CODAS. *Natural Hazards*, 116: 1071-1103. DOI: 10.1007/s11069-022-05712-1.
- Uğur OL, Mürsel E, Üçkardeşler A. 2017. Çatı kaplama malzemesi seçiminde VIKOR çok kriterli karar verme yönteminin uygulanması. *İleri Tekn Bil Derg*, 7(2): 117-130.
- Uslu T, Can GF, Delice EK. 2022. A new multidimensional process type FMEA approach: Defense and aerospace industry application. *J Fac Eng Architect Gazi Univ*, 37(3): 1411-1426. DOI: 10.17341/gazimmfd.847213.
- Yılmaz F, Özcan SM. 2019. A risk analysis and ranking application for lifting vehicles used in construction sites with integrated ahp and fine-kinney approach. *Advan Sci Tech Res J*, 13: 152-161. DOI:10.12913/22998624/111779.
- Zadeh LA. 1965. Fuzzy sets. *Info Control*, 8(3): 338-353.



INVESTIGATING THE EFFECT OF NOZZLE DIAMETER ON TENSILE STRENGTH IN 3D-PRINTED POLYLACTIC ACID PARTS

Fuat KARTAL^{1*}, Arslan KAPTAN²


¹Kastamonu University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Mechanical Engineering, 37150, Kastamonu, Türkiye
²Sivas Cumhuriyet University, Sivas Technical Sciences Vocational School, Department of Motor Vehicles and Transportation Technologies, 58140, Sivas, Türkiye


Abstract: Three-dimensional (3D) printing is a rapidly evolving manufacturing technology that enables the production of intricate, customizable parts with a wide range of applications. The quality and mechanical properties of printed parts are heavily influenced by the process parameters, such as nozzle size. This study presents a comprehensive investigation of the effect of nozzle diameter on the tensile strength of 3D-printed polylactic acid (PLA) parts, focusing on six nozzle sizes: 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, and 0.8 mm. PLA, a commonly used thermoplastic in 3D printing, was employed as the material of choice. Using an open-source Fused Filament Fabrication (FFF) 3D printer, dog bone-shaped specimens were printed according to the ASTM D638-Type IV standard for tensile testing. The results reveal a strong correlation between nozzle size and tensile strength, with smaller nozzles producing parts with higher tensile strength due to finer layers and improved interlayer adhesion. However, the trade-off between tensile strength and printing time associated with smaller nozzle sizes must be considered when optimizing the 3D printing process for specific applications. This study provides essential insights into the influence of nozzle diameter on tensile strength, offering valuable guidance for achieving desired mechanical properties in 3D-printed parts.

Keywords: 3D printing, Fused filament fabrication, Nozzle diameter, Tensile strength, Polylactic acid, Additive manufacturing

*Corresponding author: Kastamonu University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Mechanical Engineering, 37150, Kastamonu, Türkiye

E mail: fkartal@kastamonu.edu.tr (F. KARTAL)

Fuat KARTAL  <https://orcid.org/0000-0002-2567-9705>

Arslan KAPTAN  <https://orcid.org/0000-0002-2431-9329>

Received: April 24, 2023

Accepted: May 31, 2023

Published: July 01, 2023

Cite as: Kartal F, Kaptan A. 2023. Investigating the effect of nozzle diameter on tensile strength in 3D-printed polylactic acid parts. *BSJ Eng Sci*, 6(3): 276-282.

1. Introduction

Three-dimensional (3D) printing, also known as additive manufacturing, has revolutionized the field of manufacturing by enabling the production of complex, customized parts with reduced lead times and material waste (Farashi and Vafae, 2022; Shaukat et al., 2022; Nazir et al., 2023). This innovative technology has found applications across various industries, including aerospace, automotive, healthcare, and consumer goods, owing to its ability to create intricate geometries and facilitate rapid prototyping (Triyono et al., 2020; Shaukat et al., 2022; Das et al., 2023). Among the numerous 3D printing techniques, Fused Filament Fabrication (FFF) is one of the most widely adopted methods due to its affordability, ease of use, and versatility in terms of material selection (Triyono et al., 2020; Hikmat et al., 2021; Mazen et al., 2022; Embia et al., 2023).

In FFF 3D printing, process parameters play a critical role in determining printed parts' quality and mechanical properties (Akhoundi and Behraves, 2019; Tezel and Kovan, 2022). Some of the key parameters include print speed, temperature, layer height, infill pattern, infill density, and nozzle size. Among these, the nozzle size significantly influences the printed parts' resolution, surface finish, and mechanical properties, such as tensile

strength (Wang et al., 2020; Hsueh et al., 2021; Mulcahy et al., 2023). Tensile strength, a vital property that dictates how a part behaves under tensile loads, is of particular interest as it often determines the suitability of printed components for specific applications (Anand Kumar and Shivraj Narayan, 2019; Wang et al., 2020;).

Despite the growing importance of 3D printing in modern manufacturing, limited research has been conducted to systematically investigate the effect of nozzle diameter on the tensile strength of printed parts (Shaukat et al., 2022). Understanding the relationship between nozzle size and tensile strength is critical for optimizing the 3D printing process to achieve desired mechanical properties and part quality (Akhoundi and Behraves, 2019; Wang et al., 2020; Hsueh et al., 2021; Farashi and Vafae, 2022; Shaukat et al., 2022; Tezel and Kovan, 2022; Hamat et al., 2023).

This study aims to bridge this knowledge gap by conducting a comprehensive investigation of the effect of nozzle diameter on the tensile strength of 3D-printed parts. The study focuses on six nozzle sizes, including 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, and 0.8 mm, to provide a detailed understanding of the influence of nozzle size on tensile strength. Polylactic acid (PLA), a common thermoplastic used in FFF 3D printing, was chosen as the material for



this study due to its widespread use and ease of processing. The findings of this study will offer valuable insights for engineers, researchers, and practitioners seeking to optimize 3D printing processes for specific applications, taking into account the trade-offs between mechanical properties and other factors, such as printing time and material usage.

2. Materials and Methods

2.1. Materials and 3D Printer

Poly(lactic acid), also known as poly(lactic acid) or polylactide (PLA), is a thermoplastic polyester with backbone formula $(C_3H_4O_2)_n$ or $[-C(CH_3)HC(=O)O-]_n$, formally obtained by condensation of lactic acid $C(CH_3)(OH)HCOOH$ with loss of water. It can also be prepared by ring-opening polymerization of lactide $[-C(CH_3)HC(=O)O-]_2$, the cyclic dimer of the basic repeating unit (Figure 1) (Sheikh et al., 2015). PLA is a biodegradable thermoplastic that has gained popularity in the 3D printing industry due to its origin from renewable resources such as corn starch and sugarcane. PLA has good thermal stability, is insoluble in water, and has good solvent resistance. It can be processed in a variety of ways, such as extrusion, injection molding and additive manufacturing. Products made from PLA have good biocompatibility, gloss, transparency and heat resistance, in addition to being biodegradable. PLA mechanical and thermal properties are given in Table 1. PLA is an environmentally friendly material that has a lower carbon footprint compared to petroleum-based plastics. PLA demonstrates several advantages that make it an attractive choice for 3D printing applications, including ease of processing, good printability, and a wide range of available colors. PLA material was commercially available in 1.75 mm diameter filament form by the manufacturer, Esun, which provides consistent quality and material properties. In this study, Ender 3 S1 open source 3D printer was used. Its features are listed in Table 2.

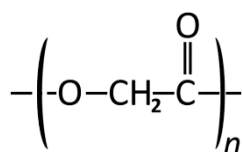


Figure 1. Poly(lactic acid) skeletal formula (Sheikh et al., 2015).

2.2. 3D Printing Process

An open-source FFF 3D printer was utilized for this study. The printer was equipped with an interchangeable nozzle system, allowing for the easy replacement of nozzles with six different diameters. The printing parameters (Table 3), such as print speed, temperature, and layer height, were maintained constant for all specimens, except for the nozzle size, to ensure that the observed differences in tensile strength could be solely attributed to the nozzle diameter. The slicing was done in Cura software with open access code, by choosing the parameters of the print wall

thickness of 0.8 mm and the fill pattern linear 45°. The produced G-codes were introduced as input to the printer.

Table 1. PLA product details

Features	Units	Value
Flexural modulus	MPa	100-150
Tensile strength	MPa	40-60
Elongation at break	%	4-10
Elastic modulus	MPa	3000-4000
Melting point	°C	176
Intensity	g/cm ³	1,25 -1,28
Processing temperature	°C	170-230

Table 2. Properties of the Ender 3 S1 3D printer

Property	Description
Printing volume	255 x 255 x 300 mm
Build surface	Adjustable heated bed
Filament	1.75mm PLA, ABS, PETG, TPU, etc.
Extruder	Single nozzle, Bowden-style
Layer resolution	0.1 - 0.4 mm
Max. print speed	180 mm/s
Nozzle diameter	0.4 mm
Connectivity	USB, SD card
Display	4.3-inch color touchscreen
Firmware	Open-source Marlin firmware
Power supply	Input: 100-120V AC/4.0A 200-240V AC/2.0A, Output: 24V
File format	STL, OBJ, G-code, AMF, etc.
Supported OS	Windows, Mac, Linux
Weight	8.9 kg

Table 3. Printing parameters for the study

Parameter	Value
Material	Poly(lactic acid) (PLA)
Layer height	0.2 mm
Infill density	100% (Solid)
Infill pattern	Rectilinear
Print speed	50 mm/s
Extrusion temperature	210°C
Bed temperature	60°C
Fan speed	100% (except for the first layer, 0%)
Shell thickness	1.2 mm
Top/Bottom thickness	1.2 mm
Print orientation	Flat, along the XY plane (ASTM D638 Type IV)
Test specimens per nozzle size	5

2.3. Specimen Preparation

To evaluate the tensile strength of 3D-printed parts, dog

bone-shaped specimens were printed according to the ASTM D638-Type IV standard (Anand Kumar and Shivraj Narayan, 2019) for tensile testing of plastics. ASTM D638 Type IV specimens are designed to test thinner or more flexible materials, so these specimens are generally compatible with the typical dimensions and durability of 3D printed parts as referred to in the literature (Maurya et al., 2019; Chandrasekhar et al, 2019). So this type of sample is a good option for measuring the tensile properties of materials in 3D printing. This standard specifies the geometry, dimensions, and testing conditions for tensile tests, ensuring the reliability and comparability of the results. For each nozzle size, ten specimens were produced to ensure statistical significance and account for potential variability in the printing process. All specimens were printed in the same orientation with the long axis parallel to the printer bed, ensuring consistent layer orientation and minimizing the influence of anisotropy on tensile strength. Nozzles of different diameters used in printing (Figure 2.a), Ender 3 S1 open source 3D printer (Figure 2.b) was used and produced with the tensile strength of 3D-printed parts shown in Figure 2.c.



Figure 2. (a) Nozzles of different diameters used in printing, (b) Ender 3 S1 3D printer and (c) Produced the tensile sample of 3D-printed parts according to ASTM-Type IV.

2.4. Tensile Testing

Tensile tests (Figure 3) were performed using a universal testing machine equipped with a load cell appropriate for the expected tensile strength range of the printed specimens. The tests were conducted at a constant crosshead speed of 5 mm/min in accordance with the ASTM D638-Type IV standard. The load-displacement data were collected and analyzed to determine the tensile strength, defined as the maximum stress experienced by the specimen before failure. For each nozzle size, the average tensile strength and standard deviation were calculated from the ten tested specimens to provide a comprehensive understanding of the effect of nozzle

diameter on tensile strength.

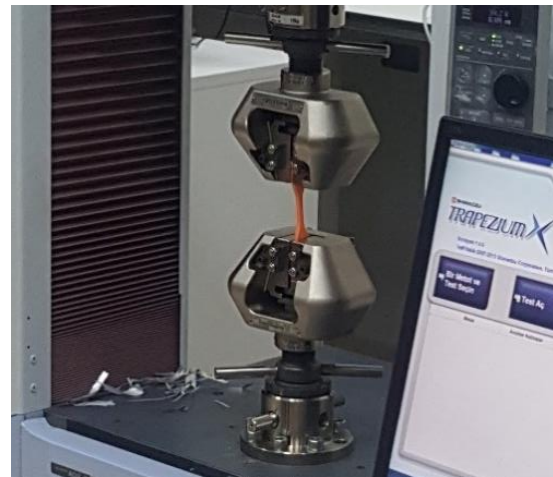


Figure 3. Experimental tensile test set-up.

2.5. Scanning Electron Microscopy

To further investigate the influence of nozzle size on the tensile strength of printed parts, Scanning Electron Microscopy (SEM) (Figure 4) was employed to analyze the fracture surfaces of the specimens after tensile testing. This analysis allowed for the visualization of the interlayer bonding, voids, and defects at different nozzle sizes, providing insights into the observed trends in tensile strength.

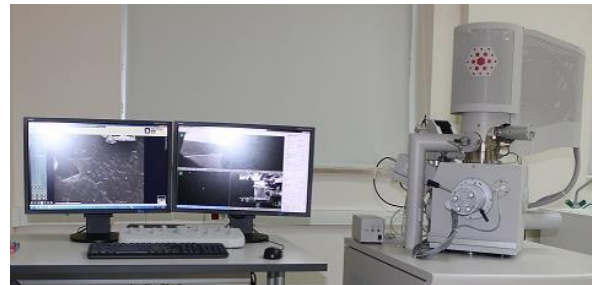


Figure 4. Taking SEM images of samples.

3. Results

The tensile test results for each nozzle size are presented in Table 4, which includes the average tensile strength and standard deviation values. The results in Table 4 reveal a consistent trend between nozzle size and tensile strength: as the nozzle size increases, the tensile strength of the printed parts decreases. This trend can be attributed to several factors related to the 3D printing process, as discussed below in Figure 5.

3.1. Layer Thickness and Interlayer Adhesion

The decrease in tensile strength with increasing nozzle size can be primarily attributed to the increase in layer thickness. Smaller nozzle diameters produce thinner layers, which result in better interlayer adhesion and, consequently, higher tensile strength. Improved interlayer adhesion can be attributed to the increased contact area between layers and the enhanced diffusion of polymer chains across the layer interfaces, promoting stronger bonding.

Table 4. Tensile strength results for different nozzle sizes

Nozzle Size (mm)	Tensile Strength (MPa)					Average
	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	Sample 5	
0.3	60.24	60.23	60.22	60.3	60.19	60.23
0.4	54.42	54.48	54.50	54.51	54.52	54.52
0.5	51.25	51.26	51.32	51.33	51.34	51.34
0.6	47.55	47.61	47.63	47.64	47.65	47.65
0.7	43.85	43.91	43.93	43.94	43.95	43.95
0.8	40.27	40.33	40.35	40.36	40.37	40.37

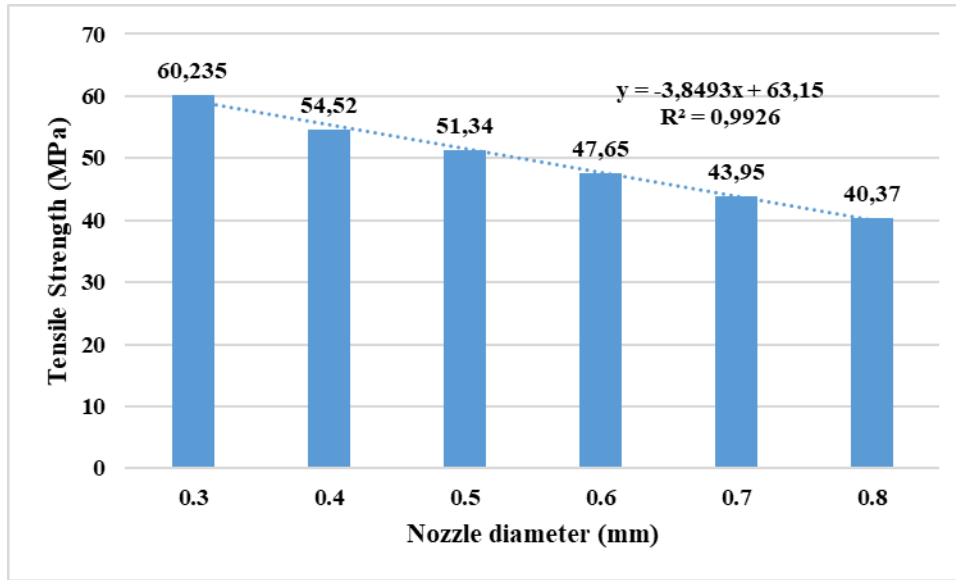


Figure 5. Effect of six different nozzle sizes on tensile strength.

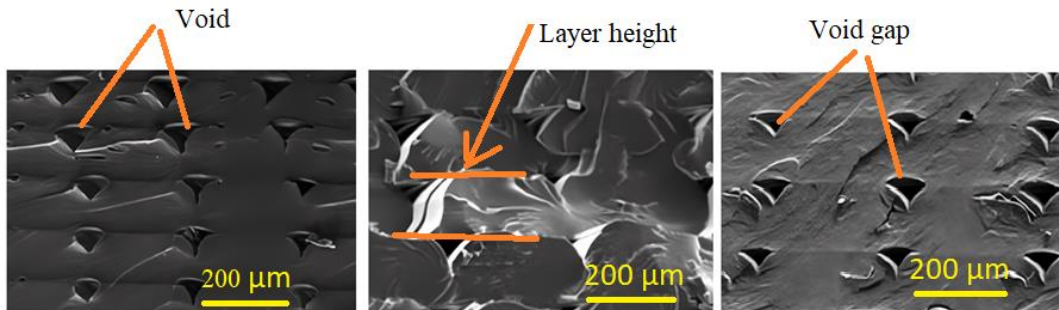


Figure 6. SEM analysis revealed that parts printed with larger nozzle sizes (0.8 mm) had more visible layer lines and larger voids.

3.2. Precision and Material Deposition

Another factor contributing to the observed trend is the improved precision and control of material deposition achievable with smaller nozzle sizes. The precise deposition of material helps reduce voids and defects in the printed parts. The absence of voids contributes to improved mechanical properties, as voids can act as stress concentrators and initiate crack propagation under tensile loads.

3.3. Scanning Electron Microscopy Analysis

SEM analysis is a powerful technique to study the surface morphology and microstructure of materials. In the case of 3D printed parts, it can provide insights into the quality of the printed object, layer adhesion, and the presence of voids or defects. The SEM analysis of the fracture surfaces

supported the findings from the tensile tests. Specimens printed with smaller nozzles exhibited fewer voids and better interlayer bonding, providing further evidence for the observed relationship between nozzle size and tensile strength. Moreover, the SEM analysis revealed that parts printed with larger nozzle sizes (0.8 mm) had more visible layer lines and larger voids (Figure 6), which negatively impacted the mechanical performance under tensile loading. A larger nozzle size typically corresponds to a larger layer height, leading to a coarser surface finish and more visible layer lines. Additionally, the increased layer height reduces the resolution of the printed part, making it harder to reproduce fine details accurately.

3.4. Trade-off between Tensile Strength and Printing Time

While the results indicate that smaller nozzle sizes yield higher tensile strength, it is important to consider the trade-off between tensile strength and printing time. Smaller nozzle sizes require more time to print parts due to the finer layers and increased number of deposited layers. Consequently, the choice of nozzle size should be carefully evaluated based on the desired mechanical properties and other factors, such as printing time, material usage, and surface finish.

4. Discussion

The results demonstrate a clear trend between nozzle size and tensile strength. As the nozzle size increased, the tensile strength of the printed parts decreased. This observation can be attributed to the smaller nozzle diameters producing finer layers, which leads to better interlayer adhesion and, consequently, higher tensile strength. Moreover, smaller nozzle sizes allow for more precise control of material deposition, which helps reduce voids and defects in the printed parts. These factors collectively contribute to the improved tensile strength of parts produced with a smaller nozzle. According to Tezel and Kovan (2022), it is recommended to use a larger nozzle diameter and lower layer thickness to produce parts with superior properties. The study concluded that an increase in nozzle diameter leads to increased part strength, while layer thickness significantly affects surface quality. Increased nozzle diameter and part density contribute to reduced production time. It is recommended to use a larger nozzle diameter and lower layer thickness for parts with superior properties. Triyono et al. (2020) investigated the impact of nozzle hole diameter on the porosity and tensile strength of 3D printed parts using PLA material. The authors conducted experiments using fused deposition modeling (FDM) 3D printing, with varying nozzle hole diameters of 0.3, 0.4, 0.5, and 0.6 mm. They maintained consistent bed temperature (60°C), extruder temperature (200°C), and printing speed (80 mm/s) across all experiments. The layer thickness was set at a ratio of 20% to the nozzle hole diameter, and a 100% line-type infill pattern was used.

On the other hand, apart from the effect of the nozzle diameter specified in this study, there are also studies in the literature in which alternative aspects of improving the mechanical properties of 3D printed samples are mentioned. These are studies that mention that slicing parameters such as wall thickness, layer height, infill pattern and raster direction also play an important role in defining structural integrity and strength performances. Among them, for example, Dudescu and Racz (2017) stated that in their study on different printing directions, infill ratios and infill patterns, voids may occur even in samples printed at 100% infill ratio. On the other hand, they found that the mechanical properties of the samples were significantly affected not only by the filling ratios, but also by the printed pattern and orientation of the

different layers. They pointed out that prints with higher mechanical properties can be achieved by optimizing the printing direction, fill ratio and fill patterns (Dudescu and Racz, 2017). Pandzic et al (2019) examined the effects of different filler types and filler ratios on the tensile properties of products manufactured with the FDM method and PLA material, by testing 9 samples with a total of 13 different filler types and different filler ratios from 10% to 90%. They reveal findings that 3D printing time and amount of material used can be saved by preserving the tensile properties. They pointed out that if the filling ratio of 100% is reduced to 90%, the final tensile strength and yield strength of the product obtained from PLA material will decrease by 40%. They also stated that the “concentric” fill pattern gives the highest ultimate tensile strength and yield strength. In addition, it is stated that by choosing larger layer heights, printing time can be shortened significantly at the expense of more visible layers. At the same time, it is mentioned that the reverse is also possible. It is stated that the first few of the fill lines formed in a way to form a bridge over the fill patterns of the pieces are drooping. It has been mentioned that the lower the infill, the longer the bridging distance and, consequently, the greater the sagging. It has been pointed out that this situation can be prevented by increasing the number of layers (at least 3 upper layers). It has been pointed out that this situation will directly affect the strength performance of the manufactured part (help.prusa3d.com). As a result, it is possible to produce parts with much better strength by optimizing the slicing parameters.

The results of the study demonstrated that larger nozzle hole diameters led to increased density and tensile strength of the 3D printed parts, although the relationship was not linear.

5. Conclusion

This study provided a comprehensive investigation into the effect of nozzle diameter on the tensile strength of 3D-printed PLA parts, examining six nozzle sizes ranging from 0.3 to 0.8 mm in increments of 0.1 mm.

- The results revealed a clear correlation between nozzle size and tensile strength, with smaller nozzle sizes producing parts with higher tensile strength.
- This trend can be attributed to the thinner layers and improved interlayer adhesion achievable with smaller nozzles, as well as the enhanced precision and control of material deposition, which helps reduce voids and defects in printed parts.
- The findings of this study offer valuable insights for engineers, researchers, and practitioners aiming to optimize 3D printing processes for specific applications.
- When selecting a nozzle size, the trade-off between tensile strength and printing time should be considered, as smaller nozzle sizes require more time to print parts.

- The choice of nozzle size should be carefully evaluated based on the desired mechanical properties, application requirements, and other factors, such as material usage and surface finish.

5.1. Future Work

The findings of this study lay the groundwork for further research in the field of 3D printing and mechanical properties. Potential avenues for future investigation include:

The effect of layer height on tensile strength for different nozzle sizes, as well as the interaction between layer height, nozzle size, and print speed.

The influence of nozzle size on the tensile strength of other materials commonly used in FFF 3D printing, such as ABS, PETG, and nylon. This research could help determine the generalizability of the findings across different materials and assess the impact of material-specific properties on the relationship between nozzle size and tensile strength.

The interaction between nozzle size, infill pattern, and infill density, as well as the optimization of these parameters to achieve desired mechanical properties, material usage, and print time.

Author Contributions

The percentage of the author(s) contributions is present below. All authors reviewed and approved final version of the manuscript.

	F.K.	A.K.
C	70	30
D	100	
S		100
DCP	60	40
DAI		100
L	20	80
W	80	20
CR	50	50
SR	100	
PM	60	40
FA	100	

C=Concept, D= design, S= supervision, DCP= data collection and/or processing, DAI= data analysis and/or interpretation, L= literature search, W= writing, CR= critical review, SR= submission and revision, PM= project management, FA= funding acquisition.

Conflict of Interest

The author declared that there is no conflict of interest.

Ethical Consideration

Ethics committee approval was not required for this study because of there was no study on animals or humans.

Acknowledgements

We would like to thank Kastamonu University Scientific Research Coordinatorship for supporting this study with project number KÜBAP-01/2022-38.

References

- Akhoundi B, Behraves AH. 2019. Effect of filling pattern on the tensile and flexural mechanical properties of FDM 3D printed products. *Exp Mechanics*, 59: 883-897.
- Anand Kumar S, Shivraj Narayan Y. 2019. Tensile testing and evaluation of 3D-printed PLA specimens as per ASTM D638 Type IV standard. In *Innovative Design, Analysis and Development Practices in Aerospace and Automotive Engineering (I-DAD 2018) Volume 2*. Springer, Singapore, pp: 79-95.
- Chandrasekhar U, Yang LJ, Gowthaman S. 2019. *Innovative Design, Analysis and Development Practices in Aerospace and Automotive Engineering (I-DAD 2018): Volume 2*. Springer, Singapore. DOI: 10.1007/978-981-13-2718-6.
- Das A, Awasthi P, Jain V, Banerjee SS. 2023. 3D printing of maxillofacial prosthesis materials: Challenges and opportunities. *Bioprinting*, 32: e00282.
- Dudescu C, Racz L. 2017. Effects of raster orientation, infill rate and infill pattern on the mechanical properties of 3D printed materials. *Acta Univ Cibiniensis*, 69(1): 23-30.
- Embia G, Moharana BR, Mohamed A, Muduli K, Muhammad NB. 2023. 3D Printing pathways for sustainable manufacturing. In: Nayyar, A., Naved, M., Rameshwar, R. (eds) *New Horizons for Industry 4.0 in Modern Business. Contributions to Environmental Sciences & Innovative Business Technology*. Springer, Berlin, Germany, pp: 253-272. DOI: 10.1007/978-3-031-20443-2_12.
- Farashi S, Vafae F. 2022. Effect of printing parameters on the tensile strength of FDM 3D samples: a meta-analysis focusing on layer thickness and sample orientation. *Progress Addit Manufact*, 7: 565–582.
- Hamat S, Ishak MR, Sapuan SM, Yidris N, Hussin MS, Abd Manan MS. 2023. Influence of filament fabrication parameter on tensile strength and filament size of 3D printing PLA-3D850. *Mater Today*, 74: 457-461.
- Hikmat M, Rostam S, Ahmed YM. 2021. Investigation of tensile property-based Taguchi method of PLA parts fabricated by FDM 3D printing technology. *Results Eng*, 11: 100264.
- Hsueh MH, Lai CJ, Chung CF, Wang SH, Huang WC, Pan CY, Hsieh CH. 2021. Effect of printing parameters on the tensile properties of 3d-printed polylactic acid (Pla) based on fused deposition modeling. *Polymers*, 13(14): 2387.
- Maurya NK, Rastogi V, Singh P. 2019. Experimental and computational investigation on mechanical properties of reinforced additive manufactured component. *EVERGREEN Joint J Novel Carbon Resour Sci Green Asia Strat*, 06(03): 207-214.
- Mazen A, McClanahan B, Weaver JM. 2022. Factors affecting ultimate tensile strength and impact toughness of 3D printed parts using fractional factorial design. *Int J Advan Manufact Tech*, 119: 2639-2651.
- Mulcahy N, O'Sullivan KJ, O'Sullivan A, O'Sullivan L. 2023. Preliminary assessment on the effects of line width, layer height and orientation on strength and print time for FDM printing of total contact casts for the treatment of diabetic foot ulcers. *Annals 3D Print Medic*, 11: 100115.
- Nazir A, Gokcekaya O, Billah KMM, Ertugrul O, Jiang J, Sun J, Hussain S. 2023. Multi-material additive manufacturing: A systematic review of design, properties, applications, challenges, and 3D printing of materials and cellular metamaterials. *Mater Design*, 226: 111661.
- Pandzic A, Hodzic D, Milovanovic A. 2019. Effect of infill type and density on tensile properties of PLA material for FDM process. *30th DAAAM International Symposium, October 23-26, 2019, Zadar, Croatia*, pp: 545-554.

- Shaukat U, Rossegger E, Schlögl S. 2022. A review of multi-material 3D printing of functional materials via vat photopolymerization. *Polymers*, 14(12): 2449.
- Sheikh Z, Najeeb S, Khurshid Z, Verma V, Rashid H, Glogauer M. 2015. Biodegradable materials for bone repair and tissue engineering applications. *Materials*, 8(9): 5744-5794.
- Tezel T, Kovan V. 2022. Determination of optimum production parameters for 3D printers based on nozzle diameter. *Rapid Prototyping J*, 28(1): 185-194.
- Triyono J, Sukanto H, Saputra RM, Smaradhana DF. 2020. The effect of nozzle hole diameter of 3D printing on porosity and tensile strength parts using polylactic acid material. *Open Eng*, 10(1): 762-768.
- Wang S, Ma Y, Deng Z, Zhang S, Cai J. 2020. Effects of fused deposition modeling process parameters on tensile, dynamic mechanical properties of 3D printed polylactic acid materials. *Polymer Testing*, 86: 106483.



ASSESSMENT OF ENERGY PRODUCTION POTENTIAL FROM AGRICULTURAL RESIDUES IN AZERBAIJAN

Ehsan FARTASH NAEİMİ¹, Gürkan Alp Kağan GÜRDİL^{1*}, Bahadır DEMİREL²

¹Ondokuz Mayıs University, Faculty of Agriculture, Department of Agricultural Machines and Technologies Engineering, 55105, Samsun, Türkiye

²Erciyes University, Faculty of Agriculture, Department of Biosystems Engineering, 38030, Kayseri, Türkiye

Abstract: The geographical conditions of Azerbaijan have provided a favorable environment for planting all kinds of agricultural products. Therefore, in recent years, paying attention to the potential of biomass resources has been the subject of increasing research and discussions in this country. This study aimed to estimate the amount of biomass energy that can be acquired from agricultural residues in Azerbaijan. The energy potential of the residues was obtained by considering the calorific value and amount of available residues. For the year 2021, the total amount of available agricultural residues for the ten studied products was estimated at 1,099,346 tons. Cotton and barley had the highest amounts of waste with 47% and 14.47%, respectively. Also, the total heating value of residues was obtained 19610.4566 GJ. Therefore, according to the obtained results, part of the country's energy consumption can be supplied in this way.

Keywords: Biomass energy, Agricultural residue, Renewable energy, Azerbaijan

*Corresponding author: Ondokuz Mayıs University, Faculty of Agriculture, Department of Agricultural Machines and Technologies Engineering, 55105, Samsun, Türkiye

E mail: ggurdil@omu.edu.tr (G. A. K. GÜRDİL)

Ehsan FARTASH NAEİMİ



<https://orcid.org/0000-0001-7230-6365>

Gürkan Alp Kağan GÜRDİL



<https://orcid.org/0000-0001-7764-3977>

Bahadır DEMİREL



<https://orcid.org/0000-0002-2650-1167>

Received: May 08, 2023

Accepted: July 01, 2023

Published: July 01, 2023

Cite as: Fartash Naeimi E, Gurdil GAK, Demirel B. 2023. Assessment of energy production potential from agricultural residues in Azerbaijan. *BSJ Eng Sci*, 6(3): 283-286.

1. Introduction

Azerbaijan is an oil-abundant country and depends greatly on its oil, natural gas, heavy industries, and agricultural sectors. According to the statistics of the Central Bank of Azerbaijan, oil and gas industries accounted for approximately 54% of GDP in 2010 and 90% of exports in 2019. On the other hand, this country has made significant investments for development in the renewable energy sector since the 2000s, using oil export revenues and the established legal infrastructure (Aydin, 2019). In 2004, the Republic of Azerbaijan approved "The State Program on the Utilization of Alternative and Renewable Energy Sources". As a result of the successful implementation of planned programs and orders, the IRNA's renewable energy statistics report in 2019 shows that the total amount of renewable energy in the country during 2009-2018 was accompanied by a steady increase from 989 (MW) to 1394 (MW) (IRENA, 2020). From different aspects, alternative and renewable energy sources are important for Azerbaijan. There are 12 large and seven small hydropower plants in this country, as well as 6 wind, 10 solar, and 6 biomass power plants (Mukhtarov et al., 2020). Considering the existing prospects for RES in Azerbaijan, the strategic goal of the country for the future is to increase the share of RES (Renewable energy source) in total energy production

(especially in the field of biomass energy) and to diversify its energy portfolio (Aydin, 2019).

Considering that agricultural lands occupy 50% of the total area of Azerbaijan and the high variety of crops in this country, it is important to pay attention to energy production from biomass (Zh, 2018).

Investigating the energy potential of biomass from agricultural residues in different countries and comparing it with the results of this research can be effective. For this purpose, in a research conducted in the Black Sea region of Turkey, it was found that 33,594,583 GJ of thermal energy can be produced from 1,861,323 tons of plant residues. In this study, various plant residues were investigated, and it was found that the largest share of energy is provided by hazelnuts (42.33%) and maize (13.68%) residues (Karaca et al., 2017). In the country of Sudan, the total amount of agricultural residues and total heating value of 10 different types of plant residues were estimated as 11214310.64 tons and 154121769 GJ, respectively (Demirel et al., 2019). The results of a study show that sugarcane, soybean, corn, rice, sorghum and sunflower residues produce 3.8 million tons of dry biomass per year in Bolivia. The biomass energy potential from all residues is equivalent to 50% of the annual electricity production. Moreover, it could supply energy to 58% of the population (Morato et al., 2019). In relation to the research conducted in the field of energy evaluation



from biomass in the countries of Eritrea and Kenya, the total amount of plant residues were estimated 85265.28 and 13913223 tons per year, respectively, and the total heating value of these residues were 1332340 and 187341440 GJ, respectively (Kimutai et al., 2014; Gürdil et al., 2021). The results of this study will provide information on biomass potential from agricultural residues in Azerbaijan. Considering that RES is a relatively new and unconventional sector in this country, it has nevertheless made significant progress. It is estimated that the share of energy production from biomass will increase in the coming years in Azerbaijan.

2. Materials and Methods

The geographical conditions of Azerbaijan create a favorable environment for planting all kinds of agricultural products. In this research, plant residues of wheat, oat, maize, barley, rice, potato, melon, and cotton, onion and suger beet were used to investigate the energy potential of biomass. Also, the residual amounts of the specified products were calculated using the statistical data of The State Statistical Committee of The Republic of

Azerbaijan for the seasonal year of 2021. The net potential of residues was calculated by using the availability of residues and the amount of agricultural product based on the Equation 1 (Karaca, 2015).

$$AAR = AAP \times RPR \times A \quad (1)$$

Where AAR is the available amount of agricultural residues of the crop in tons, AAP the amount of agricultural product in tons, RPR residue-to-product ratio, and (A) the availability of residues. The RPR and A values were obtained from different published research works (Table 1).

The energy potential of the residues was obtained by calculating the total heating value of agricultural residues according to Equation 2 (Jorjani et al., 2021).

$$THV = AAR \times LHV \quad (2)$$

Where THV is the total heating value of agricultural residues of the crop in GJ, AAR is the available amount of agricultural residues of the crop in tons, and LHV lower heating value of air dry residues of the crop in MJ.kg⁻¹.

Table 1. The ratio of product to residue, Availability and heating values of a selection of agricultural residues

Field Crops	RPR	A (%)	LHV (MJ.kg ⁻¹)	References
Wheat	0.45	15	17.90	Karaca et al., 2017
Oat	0.94	15	17.40	Karaca et al., 2017
Maize	0.55	60	15.50	Karaca et al., 2017
Barley	0.95	15	17.50	Karaca et al., 2017
Rice	0.10	100	16.00	Karaca et al., 2017
Potato	0.10	50	15.34	Soucek and Jasinskias, 2020
Melon	0.15	50	20.50	Nyakuma, 2017
Cotton	3.00	60	18.61	Demirel et al., 2019
Onion	0.10	100	16.51	Malatak and Dlabaja, 2016
Suger beet	1.00	50	17.21	Brachi et al., 2017

3. Results and Discussion

The total amount of agricultural residues for 10 crops of wheat, oat, sugar beet, rice, barley, maize, potato, melon, cotton and onion were calculated to be about 1100000 tons in Azerbaijan (Table 2). As shown in Figure 1, cotton and barley had the most residues with 47% and 14.47%, respectively. The usage of cotton waste as an energy source has become a subject of many studies in recent years. In many cases, the plant residue of the cotton stalk that remains in the field after harvesting is buried or burned, and in rare cases, it is used in the composting industry (Al Afif et al., 2019). Several studies on the subject of cotton waste pyrolysis show that pyrolysis of cotton stalks has potential as one of the technological solutions for its management (Al Afif et al., 2019). In many studies, barley straw has been used to produce different energies such as bioethanol (Raud et al., 2021) and biogas (Morales-Polo et al., 2021). It seems that the production of biomass energy from plant wastes investigated in this research has not been expanded in Azerbaijan.

Nevertheless, the country has made significant investments in the development of the renewable energy sector since the 2000s (Aydin, 2019).

The total heating value of agricultural residues of 10 products investigated in this research was calculated to be about 19611 GJ (Table 3). According to the results of this study, it can be said that the production of heat and electricity from alternative and renewable energy sources means the protection of conventional energy sources in the country. According to the report of the Energy Information Administration in 2019, the amount of electrical energy consumption in Iran was 254,724 GW.h/yr, and according to the data of this research, part of this energy can be provided through the biomass of agricultural residues. According to the CEICDATA website, Azerbaijan's electricity production in 2020 was 25,839 GW.h/yr, which can be concluded that part of this energy can be supplied through biomass energy in this country.

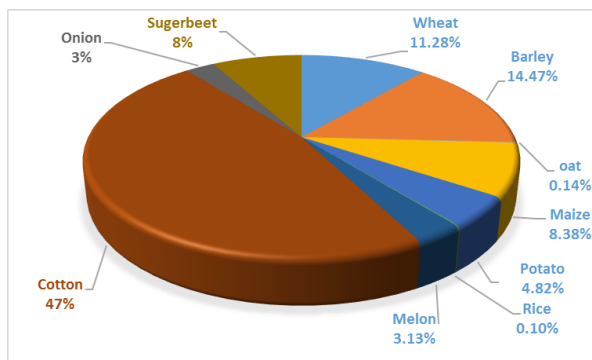


Figure 1. The amount of agricultural product and available residues of Iran.

Table 2. The amount of agricultural product and available residues of Iran

Field Crops	AAP (Tons)	AAR (Tons)
Wheat	1837188	124010
Oat	11663	1644.48
Maize	279248	92151.8
Barley	1116729	159134
Rice	10062	1006.2
Potato	1061958	53097.9
Melon	459872	34490.4
Cotton	287041	516674
Onion	286375	28637.5
Suger beet	177000	88500
Total	5527136	1099346

Table 3. Total heating values of agricultural residues in Iran

Field Crops	LHV (MJ.kg ⁻¹)	THV (GJ)
Wheat	17.90	2219.7824
Oat	17.40	28.6140
Maize	15.50	1428.3535
Barley	17.50	2784.8429
Rice	16.00	16.0992
Potato	15.34	814.5217
Melon	20.50	707.0532
Cotton	18.61	9615.2994
Onion	16.51	472.8051
Suger beet	17.21	1523.0850
Total		19610.4566

4. Conclusion

Today, excessive consumption of non-renewable energies such as coal, gas and oil causes serious environmental threats. For this reason, the need to approach new energy sources compatible with the environment becomes clear. Using biomass as an energy source is important for the economic development of any country in addition to environmental reasons. Therefore, this study was conducted with the aim of estimating the residual amount and the total heating value of some agricultural products in order to produce energy in Azerbaijan. The total amount of agricultural residues (wheat, oat, maize, barley,

rice, potato, melon, cotton, onion and suger beet) was obtained 1,099,346 tons. The total heating value of agricultural residues was about 19610.4566 GJ for the mentioned crops in all regions of Azerbaijan. Therefore, the agricultural residues of this country have the potential to generate a sustainable source of biomass.

Author Contributions

The percentage of the author(s) contributions is present below. All authors reviewed and approved final version of the manuscript.

	E.F.N.	G.A.K.G.	B.D.
C	50	50	
D		100	
S		100	
DCP	50		50
DAI	50	50	
L	50		50
W	50	50	
CR		50	50
SR		100	
PM		100	
FA		100	

C=Concept, D= design, S= supervision, DCP= data collection and/or processing, DAI= data analysis and/or interpretation, L= literature search, W= writing, CR= critical review, SR= submission and revision, PM= project management, FA= funding acquisition.

Conflict of Interest

The author declared that there is no conflict of interest.

Ethical Consideration

Ethics committee approval was not required for this study because of there was no study on animals or humans.

References

- Al Afif R, Pfeifer C, Pröll T. 2019. Bioenergy recovery from cotton stalk. In: Mahmood-ur-Rahman Ansari, editor. *Advances in cotton research*. IntechOpen, Faisalabad, Pakistan, pp: 84.
- Aydin U. 2019. Energy insecurity and renewable energy sources: Prospects and challenges for Azerbaijan. *Asian Development Bank Institute*, Tokyo, Japan, pp: 22.
- Brachi P, Riianova E, Miccio M, Miccio F, Ruoppolo G, Chirone R. 2017. Valorization of sugar beet pulp via torrefaction with a focus on the effect of the preliminary extraction of pectins. *Energy Fuels*, 31: 9595-9604.
- Demirel B, Gürdil GAK, Gadalla O. 2019. Biomass energy potential from agricultural production in Sudan. *ETHABD*, 2(2): 35-38.
- Gürdil G, Mengstu M, Medhn T. 2021. Biomass energy potential from agricultural residues in Eritrea. *BSJ Agri*, 4(3): 103-106.
- IRENA. 2020. *The post-COVID recovery: An agenda for resilience, development and equality*. IRENA, Abu Dhabi, United Arab Emirates, ISBN 9789292602451.
- Jorjani S, Yildirim HT, Rezaeinia S. 2021. Comparison of Iran and Turkey in terms of biomass energy use. *Kent Akad*, 14: 1235-1250.
- Karaca C. 2015. Mapping of energy potential through annual crop residues in Turkey. *Int J Agri Biol Eng*, 8(2): 104-109.
- Karaca C, Gürdil GAK, Öztürk HH. 2017. Determining and

- mapping agricultural biomass energy potential in Samsun Province of Turkey. ICOEST 3rd International Conference on Environmental Science and Technology, October 19-23, 2017, Budapest, Hungary, pp: 190-194.
- Kimutai SK, Muumbo AM, Iagi ZO, Kiprop AK. 2014. A study on agricultural residues as a substitute to fire wood in Kenya: a Review on Major Crops. *J Energy Tech Pol*, 4(9): 45-52.
- Malatak J, Dlabaja T. 2016. Hydrothermal carbonization of kitchen waste. *Res Agri Eng*, 62(2): 64-72.
- Morales-Polo C, Cledera-Castro MDM, Revuelta-Aramburu M, Hueso-Kortekaas K, 2021. Bioconversion process of barley crop residues into biogas-Energetic-environmental potential in Spain. *Agronomy*, 11(4): 640.
- Morato T, Vaezi M, Kumar A. 2019. Assessment of energy production potential from agricultural residues in Bolivia. *Renew Sust Energy Rev*, 102: 14-23.
- Mukhtarov S, Humbatova S, Hajiyev NGO, Aliyev S. 2020. The financial development-renewable energy consumption nexus in the case of Azerbaijan. *Energies*, 13(23): 6265.
- Nyakuma BB. 2017. Bioenergy potential of melon seed husks. *Lignocellulose*, 6(1): 15-22.
- Raud M, Rocha-Meneses L, Lane DJ, Sippula O, Shurpali NJ, Kikas T. 2021. Utilization of barley straw as feedstock for the production of different energy vectors. *Processes*, 9(4): 726.
- Soucek J, Jasinskas A. 2020. Assessment of the use of potatoes as a binder in flax heating pellets. *Sustainability*, 12(24): 10481.
- Zh RA. 2018. Agriculture in Azerbaijan and its development prospects. *Int J Environ Sci Nat Resour*, 13(4): 87-97.



TEMPERATURE-DEPENDENT DEBONDING RESISTANCE OF 316 STAINLESS STEEL, INCONEL 625, AND TI-6AL-4V ALLOYS

Volkan ARIKAN^{1*}


¹Osmaniye Korkut Ata University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, 80000, Osmaniye, Türkiye

Abstract: This study investigates the temperature-dependent debonding properties of 316 Stainless Steel (SS), Inconel 625, and Ti-6Al-4V alloys in additive manufacturing using the finite element method. The analysis reveals notable relations between in mechanical properties and debonding resistance among these materials. Inconel 625 demonstrates superior performance at elevated temperatures, while SS and Ti-6Al-4V alloys show earlier degradation. Regarding debonding resistance, Inconel 625 performs comparably to SS and Ti-6Al-4V alloys, with Ti-6Al-4V exhibiting consistent resistance below 500 °C. SS, however, experiences a rapid loss of debonding resistance at lower temperatures. These findings provide valuable insights for material selection and design optimization in additive manufacturing. Further research can expand our understanding of these materials' behavior under different temperature regimes using the finite element method, enhancing their application potential.

Keywords: Debonding resistance, Finite element, Additive manufacturing

*Corresponding author: Osmaniye Korkut Ata University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, 80000, Osmaniye, Türkiye

E mail: volkanarikan@osmaniye.edu.tr (V. ARIKAN)

Volkan ARIKAN  <https://orcid.org/0000-0002-6102-6584>

Received: June 11, 2023

Accepted: July 01, 2023

Published: July 01, 2023

Cite as: Arıkan V. 2023. Temperature-dependent debonding resistance of 316 stainless steel, Inconel 625, and Ti-6Al-4V alloys. *BSJ Eng Sci*, 6(3): 287-295.

1. Introduction

Additive manufacturing is an innovative approach that holds a significant place in modern production processes. In this process, parts are built by layering materials on top of each other, enabling the creation of complex geometries and customized designs (Gu et al., 2021). The utilization of additive manufacturing spans across diverse industries such as automotive, aerospace, tooling, and manufacturing, among others. With the continuous advancement of this technology, it is expected that novel applications will arise in various industry sectors (Paul et al., 2020; Alzyod and Ficzer, 2021).

Additive manufacturing encompasses a wide range of metal materials, such as titanium alloys, nickel alloys, steel, and others (Niu et al., 2019; Abd-Elaziem et al., 2022). These metallic materials are extensively utilized in additive manufacturing technologies to produce functional parts of exceptional quality, with the materials available in powder, wire, or metal sheet forms. Specific examples of metal materials used in additive manufacturing processes include Ni-based alloys, Inconel 625, and Inconel 600 (Niu et al., 2019).

However, the mechanical properties of materials used in additive manufacturing can vary, especially with temperature changes. Within the Fused Filament Fabrication (FFF) additive manufacturing process, various building parameters, including nozzle temperature, print speed, and layer thickness, can exert an influence on not only the mechanical properties but also the surface wettability and morphology of the

fabricated object (Frascio et al., 2019). Furthermore, shape memory alloys (SMAs) and shape memory polymers (SMPs) exhibit distinct mechanical properties at different temperature ranges (Kitamura, 2021). It is also noteworthy that temperature fluctuations can impact the mechanical characteristics of piezocomposite materials employed in additive manufacturing (Omoni et al., 2021). Temperature is a critical factor in many industrial applications and affects the behavior of materials. This effect also influences the adhesive properties in the bonding region, resulting in different adhesive behaviors at different temperature ranges.

This necessitates a careful examination of the adhesive properties of materials used in additive manufacturing. Factors such as adhesive durability, bonding strength, and energy absorption can vary under different temperature conditions (Messmer et al., 2018; Yamazaki et al., 2020). Achieving reliable and robust adhesion is crucial for ensuring the structural integrity and performance of assembled components. Therefore, the selection, surface treatment (Zou et al., 2021) and application of adhesives should be guided by their ability to deliver optimal mechanical properties, durability, and long-term performance in varying operating conditions. This consideration plays a vital role in enhancing the overall safety, efficiency, and longevity of structures in these industries. Therefore, understanding and characterizing the temperature-dependent adhesive properties of materials is an essential step towards reliable and optimized additive manufacturing processes.



It is quite challenging to conduct experimental studies by combining all these factors. This difficulty has led to the widespread adoption of the finite element method in parametric studies. Finite element analysis (FEA) is a valuable tool for modeling and analyzing adhesive joints. ANSYS software is widely employed for FEA modeling of adhesive joints due to its extensive capabilities. FEA enables the examination of fracture behavior in adhesive joints and facilitates the modeling of cohesive zone behavior (Blackman et al., 2003). By utilizing FEA, engineers can gain insights into the structural integrity and performance of adhesive joints, helping to optimize their design and ensure reliable bonding in various applications.

In this article, we will investigate the temperature-dependent debonding properties of materials used in additive manufacturing numerically, exploring their significance and effects in more detail. We will also discuss the factors that influence the debonding performance of materials at different temperature ranges and how to manage these effects. This study aims to contribute to the enhancement of reliability and performance in additive manufacturing processes, providing valuable insights for practitioners in relevant industries.

2. Materials and Methods

In this study, the material selection process was conducted based on the specific requirements of the contact debonding analysis using the finite element method. Three distinct materials were carefully chosen to represent a range of commonly used alloys: 316 Stainless steel, Inconel 625, and Ti-6Al-4V. These materials were selected due to their widespread utilization in various industries, such as aerospace and automotive, where adhesive bonding is commonly employed. The mechanical properties of the selected materials are temperature-dependent. In order to understand the effects of changes in the mechanical properties of materials, it is assumed that the adhesive properties between the parts do not change with temperature. Table 1-3 summarizes the key mechanical properties, such as Young's modulus, Poisson's ratio at different temperature levels for each material (Alfano and Crisfield, 2001).

The finite element method (FEM) was employed as a powerful numerical tool to perform the contact debonding analysis. The ANSYS software package, renowned for its capabilities in structural analysis, was utilized for generating and solving the finite element models. The FEM analysis utilized a two-dimensional approach to capture the essential aspects of the contact debonding phenomenon accurately. The use of interface elements allows for the implementation of a bilinear cohesive zone model (CZM) in the analysis. In the case of Mode I loading dominance, the bilinear CZM model assumes that the separation of material interfaces is primarily influenced by the displacement jump

perpendicular to the interface. The relationship between the normal cohesive traction T_n and the normal displacement jump δ_n can be mathematically represented as follows (Alfano and Crisfield, 2001) (Equations 1 and 2);

Table 1. Temperature depended mechanical properties of 316 stainless steel

Temperature (°C)	Young's Modulus (MPa)	Poisson's Ratio
20	195000	0,25
100	191000	0,26
200	186000	0,275
300	180000	0,315
400	173000	0,33
500	164000	0,3
600	155000	0,32
700	144000	0,31
800	131000	0,24
900	117000	0,24
1000	100000	0,24

Table 2. Temperature depended mechanical properties of Inconel625

Temperature (°C)	Young's Modulus (MPa)	Poisson's Ratio
21	162000	0,278
537	124000	0,305
815	57000	0,33
982	38000	0,33
1093	21000	0,33

Table 3. Temperature depended mechanical properties of Ti-6Al-4V

Temperature (°C)	Young's Modulus (MPa)	Poisson's Ratio
20	107000	0,323
100	103400	0,328
200	99510	0,334
300	93710	0,339
400	85500	0,345
500	74710	0,351
600	61840	0,357
700	48160	0,363
800	35290	0,369
900	24500	0,374
1000	16290	0,38

$$T_n = K_n \delta_n (1 - D_n) \tag{1}$$

$$T_t = K_t \delta_t (1 - D_n) \tag{2}$$

where;

$K_{n,t}$ = normal and tangential cohesive stiffness
 $T_{n,t}$ = normal and tangential cohesive traction
 $\Delta_{n,t}$ = normal and tangential displacement jump
 D_n = Damage parameter

Finite element geometry prepared as 2D surface geometry and plane strain behavior selected. The prepared model consists of two plates with a length of 125 mm and a thickness of 2 mm, which are bonded to each other under the condition of bonded contact. In the analyses, the same materials have been used for both plates. The adhesion behavior between different materials could be a subject of a separate study. As an initial condition, two plates were bonded from neighbor edges, and one end edge was fixed with a fixed support while the lower and upper points of the other end edge were defined with a displacement of 10 mm. Schematic view of the model is given in Figure 1. The analysis setup encompassed a comprehensive consideration of various factors that can influence the contact debonding behavior. A minimum of 18 different temperature values were meticulously selected to investigate the effect of temperature on the contact debonding process. These

temperature values were chosen based on their relevance to the specific industrial applications targeted in this study.

An accurate mesh is of utmost importance for obtaining reliable and accurate results in finite element analysis. In this study, careful attention was given to the mesh generation process to ensure optimal representation of the geometry and contact interfaces. The mesh was refined strategically in regions of interest to capture the contact debonding phenomenon effectively. An 8-node quadratic (Quad8) Plane183 element was used as the element type in the model, resulting in a total of 2000 elements and 7018 nodes. The mesh element quality was achieved at a level of 100% for all elements (Figure 2).

After solving the finite element models, an extensive post-processing and result analysis were carried out to gain insights into the contact debonding behavior. The obtained results were thoroughly examined in terms of debonding patterns, stress distributions, peel stress, and other relevant parameters. Visualization tools and graphical representations were utilized to facilitate a comprehensive understanding of the analysis outcomes (Figure 3).

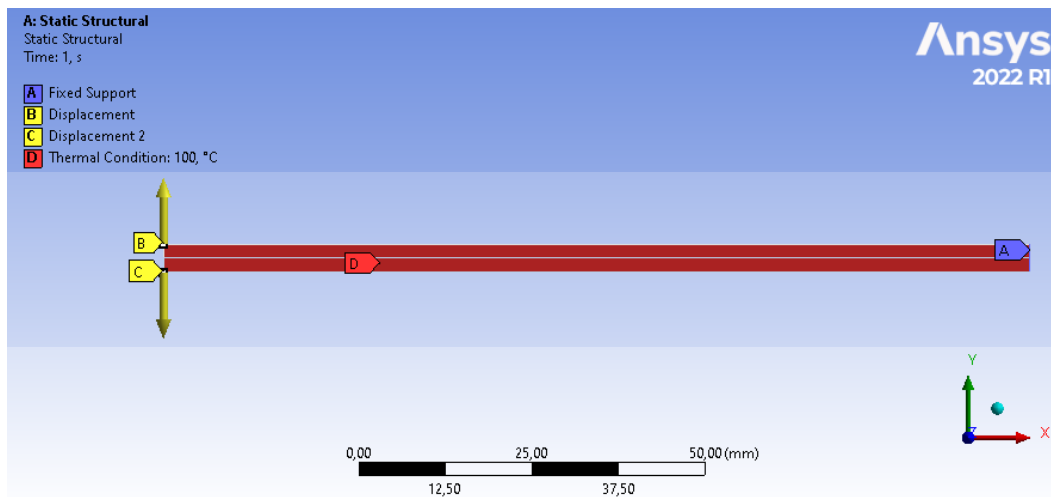


Figure 1. Initial and boundary conditions of the model.

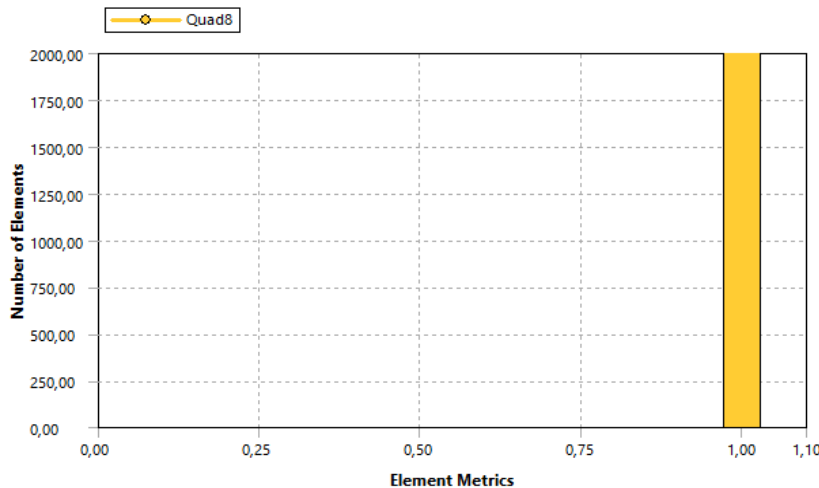


Figure 2. Element quality graph of mesh structure.

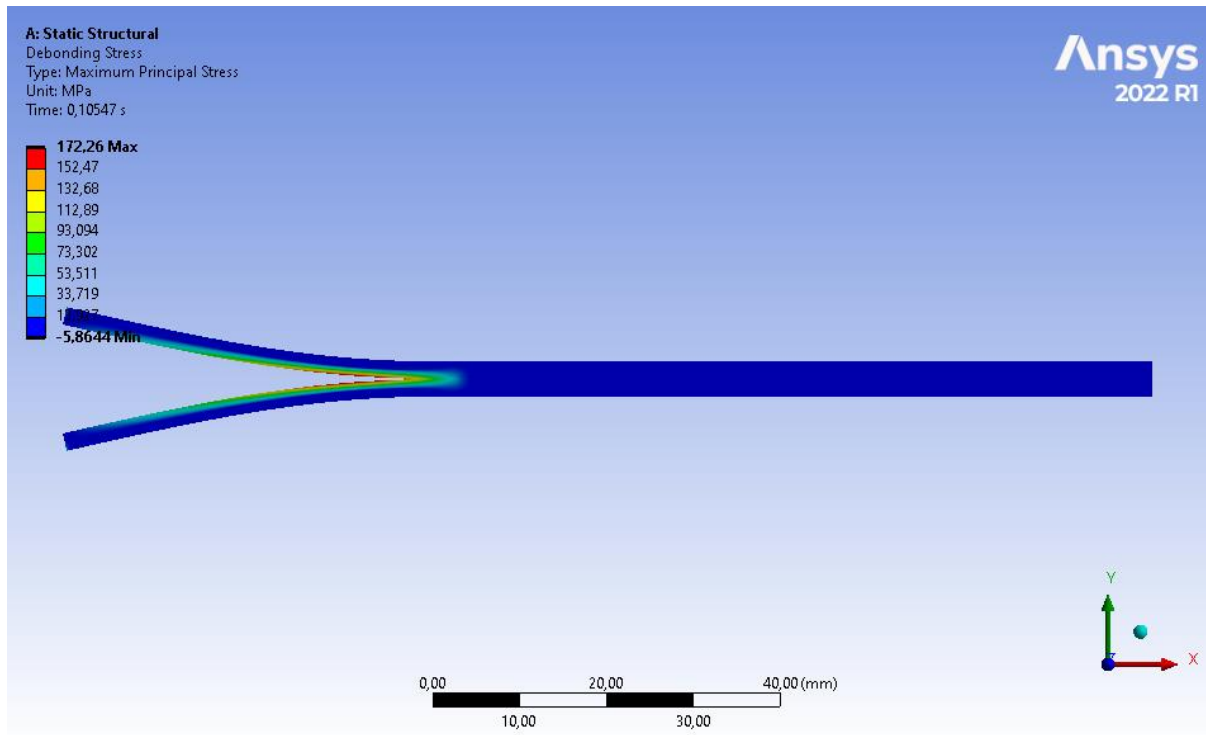


Figure 3. Stress distribution of sample debonding model at 0.1s.

3. Results and Discussion

In this section, the results of the contact debonding analysis and their implications will be discussed. The focus will be on the stress distribution during the separation of the bonded parts and the influence of temperature variations. Graphs and tables will be presented to illustrate these findings. Additionally, the results will be evaluated to provide insights into the debonding behavior.

316 Stainless Steel (SS), Inconel 625, and Ti-6Al-4V alloys were used in the study. When examined in terms of their mechanical properties, SS and Ti-6Al-4V materials exhibit a tendency of decreasing hardness and elastic modulus with increasing temperature, while Titanium shows a more stable fracture strength. Inconel 625 is a

nickel alloy commonly used at high temperatures, but its properties notably decrease, especially after 800 °C.

When evaluated in terms of thermal expansion coefficients, Inconel 625 stands out as the material with the highest coefficient, showcasing the best performance at high temperatures. The mechanical properties of SS and Ti-6Al-4V materials begin to weaken earlier with increasing temperature. Therefore, when examining the changes in debonding stress, the variations in material properties are also presented graphically.

Figures 4-6 present the temperature-dependent changes in Young's modulus, thermal expansion coefficient, and maximum stress observed at the adhesive interface during debonding for the SS material.

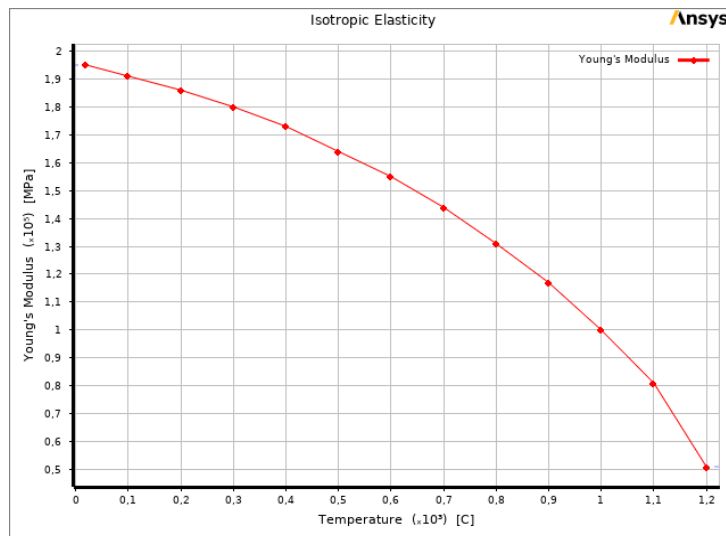


Figure 4. The temperature-dependent Young's modulus graph of 316 stainless steel.

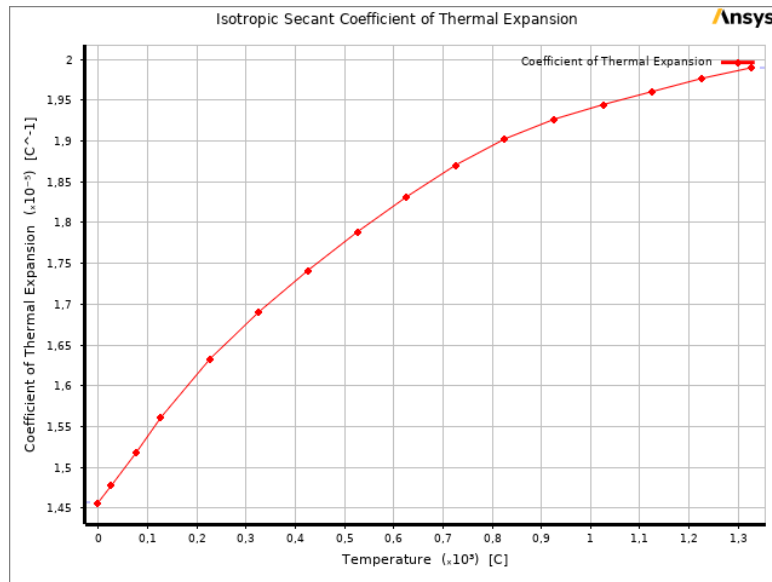


Figure 5. The temperature-dependent thermal expansion coefficient graph of 316 stainless steel.

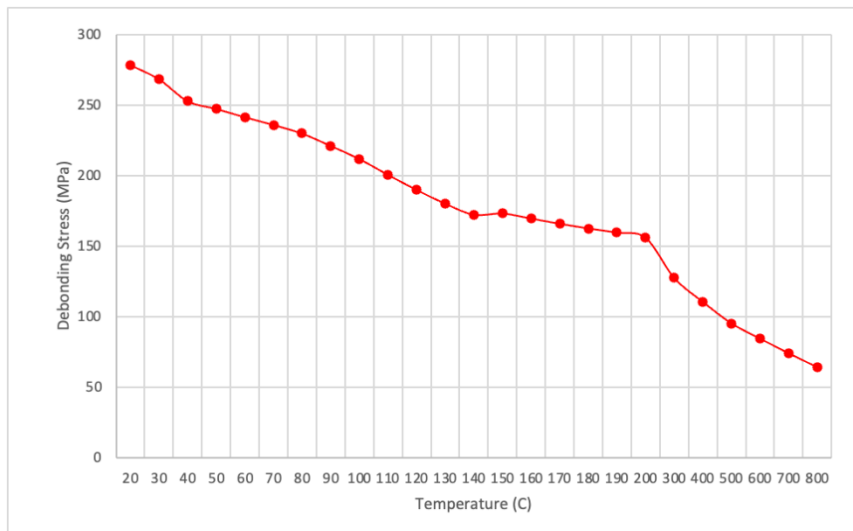


Figure 6. The temperature-dependent debonding stress graph of 316 stainless steel.

Upon analyzing the stress values, a dramatic decrease is observed between 100-300 °C, followed by a relatively stable trend. Hence, it can be stated that delamination becomes easier with increasing temperature. The changes in thermal expansion and Young's moduli, within the context of stress, indicate a sharp increase in the thermal expansion coefficient up to 300 °C, while Young's modulus decreases more rapidly starting from 500 °C.

Figures 7-9 illustrate the temperature-dependent changes in Young's modulus, thermal expansion coefficient, and maximum stress observed at the adhesive interface during debonding for Inconel 625. Particularly, after 500 °C, both the thermal expansion coefficient and Young's modulus values exhibit a dramatic decrease. Inconel 625 experiences a significant reduction of debonding stress, approximately 62%, between 100-300 °C. However, beyond 500 °C, the debonding stress remains almost constant, ensuring the retention of peel strength.

For Ti-6Al-4V alloy, the corresponding graphs are presented in Figures 9-12. In contrast to SS and Inconel 625, the peel resistance of Ti-6Al-4V alloy shows a sharper decline after 500 °C. However, it exhibits a more stable peel resistance up to this temperature. When comparing these three materials, Inconel 625 demonstrates the best performance in terms of peel resistance. It maintains a peel resistance nearly equivalent to that of SS and Ti-6Al-4V alloys even at high temperatures. While Ti-6Al-4V alloy and SS perform similarly, the most notable difference between them is that Ti-6Al-4V alloy displays a balanced and resistant peel strength below 500 °C, whereas SS rapidly loses peel strength at lower temperatures. Thus, for working temperatures up to 500 °C, Ti-6Al-4V and Inconel 625 materials emerge as advantageous choices in terms of peel resistance.

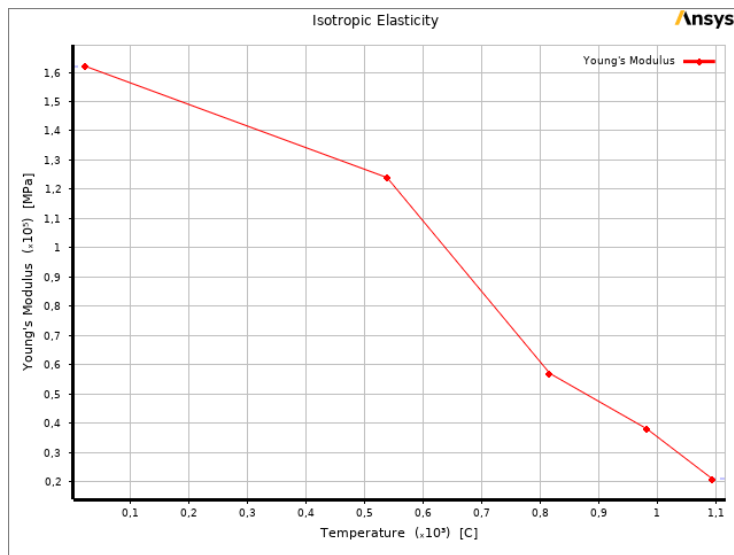


Figure 7. The temperature-dependent Young's modulus graph of Inconel 625.

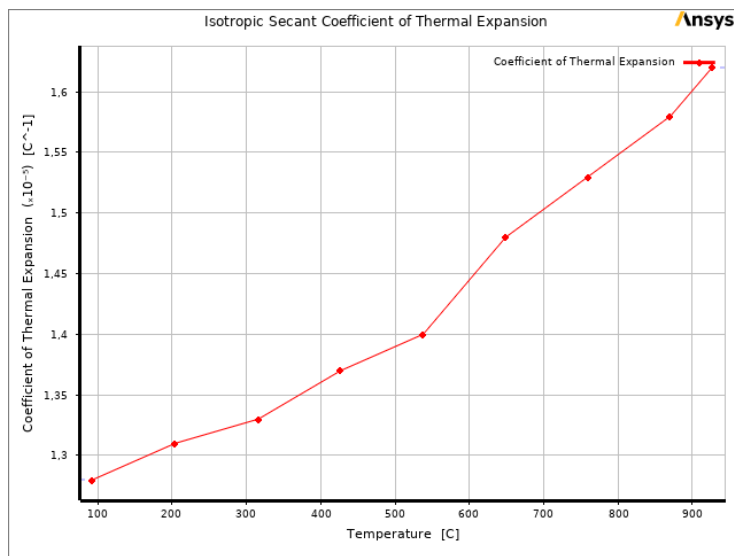


Figure 8. The temperature-dependent thermal expansion coefficient graph of Inconel 625.

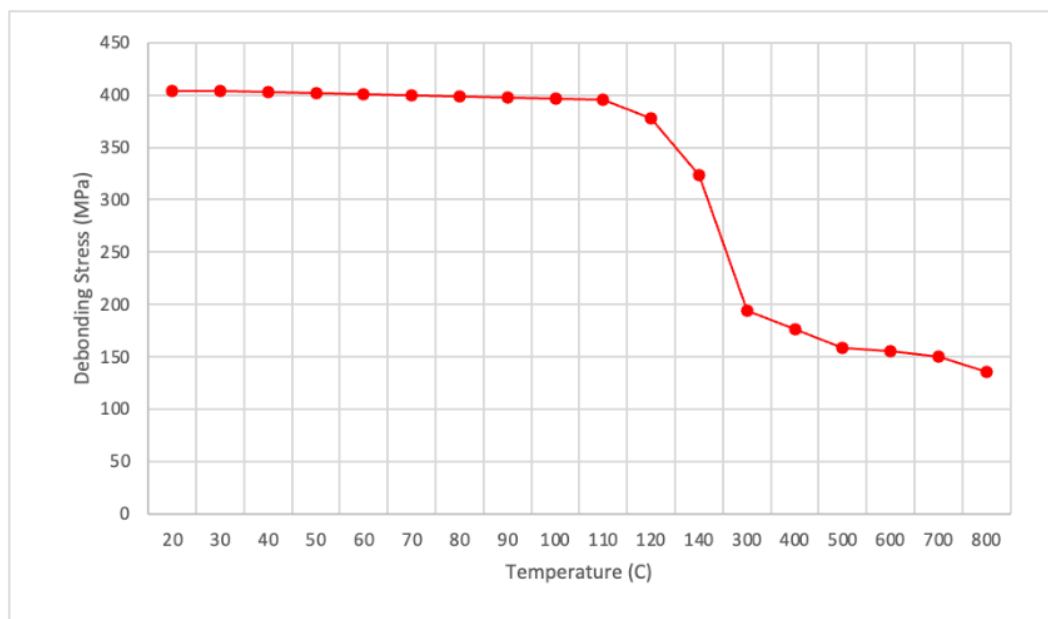


Figure 9. The temperature-dependent debonding stress graph of Inconel 625.

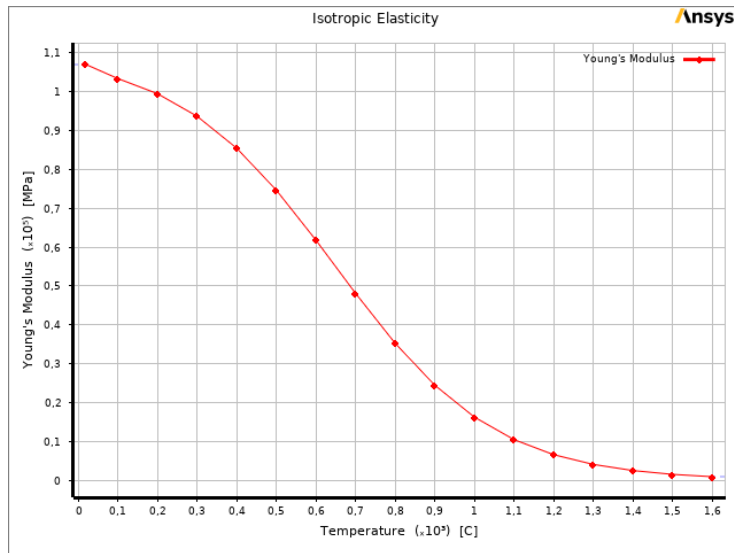


Figure 10. The temperature-dependent Young's modulus graph of Ti-6Al-4V alloy.

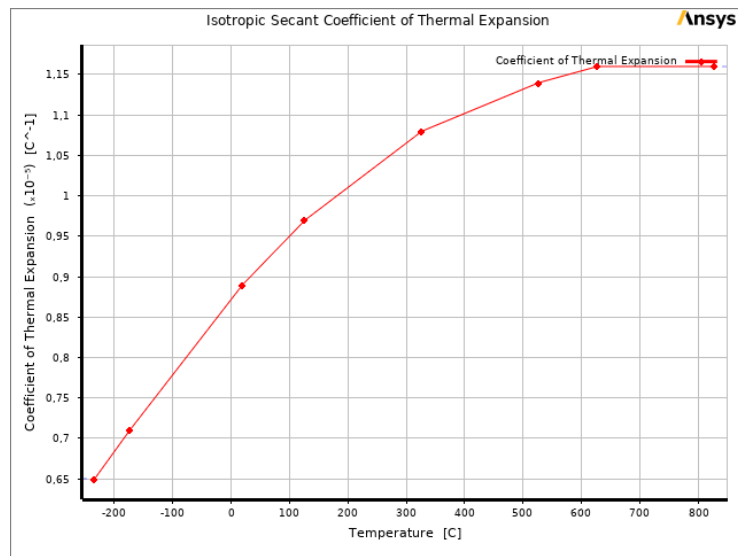


Figure 11. The temperature-dependent thermal expansion coefficient graph of Ti-6Al-4V alloy.

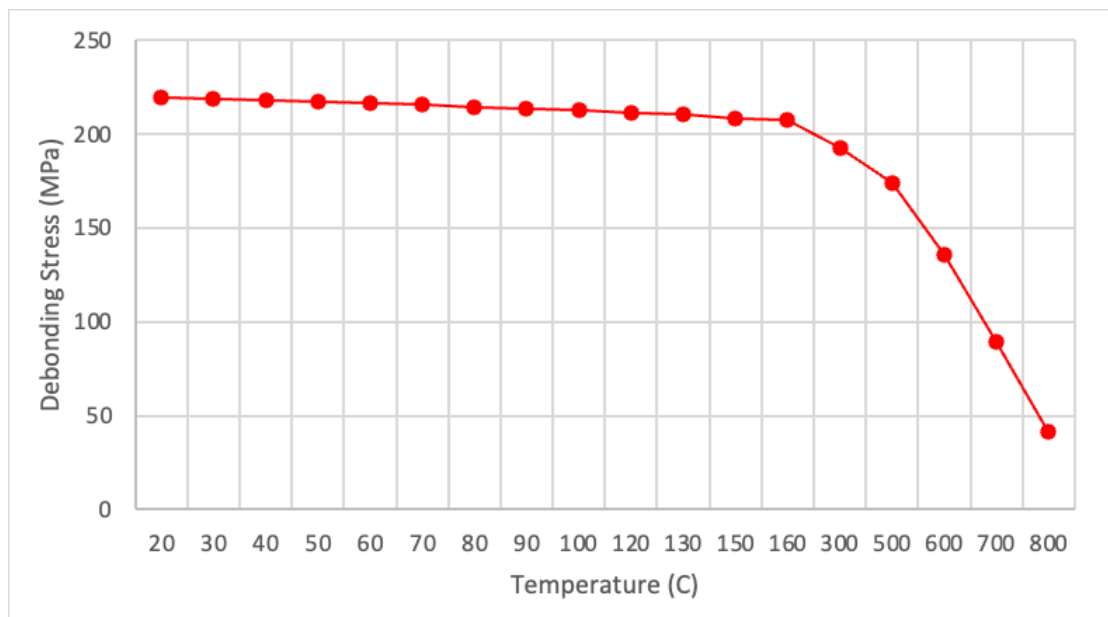


Figure 12. The temperature-dependent debonding stress graph of Ti-6Al-4V alloy.

4. Conclusion

The conducted study focused on analyzing the debonding stress of 316 Stainless Steel (SS), Inconel 625, and Ti-6Al-4V alloys in relation to temperature. The experimental findings revealed notable differences in the mechanical properties and peel resistance of these materials.

The evaluation of the coefficient of thermal expansion highlighted Inconel 625's superior performance at elevated temperatures, as it exhibited the highest value among the investigated materials. Conversely, SS and Ti-6Al-4V alloys demonstrated an earlier onset of mechanical property degradation with increasing temperature. Therefore, considering the variations in material properties is crucial when assessing debonding stress.

In terms of delamination resistance, Inconel 625 exhibited comparable performance to SS and Ti-6Al-4V alloys, even at high temperatures. While Ti-6Al-4V and SS showed similar behavior, Ti-6Al-4V displayed a more consistent and robust delamination resistance below 500 °C, while SS material rapidly lost its delamination resistance at lower temperatures. Consequently, Ti-6Al-4V and Inconel 625 materials emerge as advantageous choices for delamination resistance within the working temperature range of up to 500 °C.

In conclusion, this study provides valuable insights into the temperature-dependent mechanical properties and delamination resistance of 316 Stainless Steel, Inconel 625, and Ti-6Al-4V materials. The obtained results contribute to the understanding of material behavior in specific temperature ranges. Further research can be conducted to explore the mechanical properties of these materials under different temperature regimes, aiming to optimize their applications and enhance our knowledge in this field.

Author Contributions

The percentage of the author contributions is present below. The author reviewed and approved final version of the manuscript.

	V.A.
C	100
D	100
S	100
DCP	100
DAI	100
L	100
W	100
CR	100
SR	100
PM	100
FA	100

C=Concept, D= design, S= supervision, DCP= data collection and/or processing, DAI= data analysis and/or interpretation, L= literature search, W= writing, CR= critical review, SR= submission and revision, PM= project management, FA= funding acquisition.

Conflict of Interest

The author declared that there is no conflict of interest.

Ethical Consideration

Ethics committee approval was not required for this study because of there was no study on animals or humans.

References

Abd-Elaziem W, Elkatatny S, Abd-Elaziem AE, Khedr M, Abd El-baky MA, Hassan MA, Abu-Okail M, Mohammed M, Järvenpää A, Allam T, Hamada A. 2022. On the current research progress of metallic materials fabricated by laser powder bed fusion process: A review. *J Mater Res Tech*, 20: 681-707.

Alfano G, Crisfield MA. 2001. Finite element interface models for the delamination analysis of laminated composites: Mechanical and computational issues. *Int J Numer Methods Eng*, 50(7): 1701-1736.

Alzyod H, Ficzer P. 2021. Potential applications of additive manufacturing technologies in the vehicle industry. *Design Machin Struct*, 11(2): 5-13.

Blackman BRK, Hadavinia H, Kinloch AJ, Williams JG. 2003. The use of a cohesive zone model to study the fracture of fibre composites and adhesively-bonded joints. *Int J Fracture*, 119(1): 25-46.

Frascio M, Bergonzi L, Jilich M, Moroni F, Avalle M, Pirondi A, Monti M, Vettori M. 2019. Additive manufacturing process parameter influence on mechanical strength of adhesive joints, preliminary activities. *Acta Polytech CTU Proc*, 25: 41-47.

Gu D, Shi X, Poprawe R, Bourell DL, Setchi R, Zhu J. 2021. Material-structure-performance integrated laser-metal additive manufacturing. *Science*, 372(6545): eabg1487.

Kitamura K. 2021. Shape memory properties of Ti-Ni shape memory alloy / shape memory polymer composites using additive manufacturing. *Mater Sci Forum*, 1016: 697-701.

Messmer NR, Anjos EGR, Guerrini LM, Oliveira MP. 2018. Effect of geometry and hybrid adhesive on strength of finger joints of *Pinus elliottii* subject to humidity and temperature. *J Adhesion*, 94(8): 597-614.

Niu X, Singh S, Garg A, Singh H, Panda B, Peng X, Zhang Q. 2019. Review of materials used in laser-aided additive manufacturing processes to produce metallic products. *Front Mechanical Eng*, 14(3): 282-298.

Omoniyi OA, Mansour R, Cardona MJ, Briuglia ML, O'Leary RL, Windmill JFC. 2021. Fabrication and characterization of a novel photoactive-based (0-3) piezocomposite material with potential as a functional material for additive manufacturing of piezoelectric sensors. *J Mater Sci*, 32(9): 11883-11892.

Paul CP, Jinoop AN, Nayak SK, Paul AC. 2020. Laser additive manufacturing in industry 4.0: Overview, applications, and scenario in developing economies. *Add Manufac App Metals Composites*, 2020: 271-295. DOI: 10.4018/978-1-7998-4054-1.ch014.

Yamazaki D, Iwanami M, Isa M. 2020. Assessment of outdoor exposure effects on the long-term durability of epoxy resin adhesives used for steel-plate bonding. *J Adv Concrete Tech*, 18(8): 463-472.

Zou X, Huang L, Chen K, Jiang M, Zhang S, Wang M, Hua X, Shan A. 2021. Surface structuring via additive manufacturing to improve the performance of metal and polymer joints. *Metals*, 11(4): 567.



WASTE TO ENERGY: REVIEW ON THE DEVELOPMENT OF LAND FILL GAS FOR POWER GENERATION IN SUB-SAHARAN AFRICA

Dickson David OLODU^{1*}, Andrew ERAMEH²

¹Benson Idahosa University, Department of Mechanical Engineering, Benin City, Edo State, Nigeria


²Igbinedion University, Department of Mechanical Engineering, Edo State, Nigeria


Abstract: This study focused on the development of land fill gas for power generation in Sub-Saharan Africa. In rapidly expanding cities in developing and emerging nations, it has been observed that municipal solid waste (MSW) has increased dramatically, raising public concern about the effects on the environment and public health. In Sub-Saharan Africa today, the garbage of people within this region especially in Nigeria is carelessly disposed. Environmental pollution and its effects on people's quality of life have become more sensitive topics among residents and decision-makers in Sub-Saharan Africa. Additionally, municipal solid waste management (MSWM) is becoming a more important topic on the local political agenda. Local decision-makers routinely debate whether to invest in waste-to-energy technologies as part of their effort to modernize waste management systems. Waste-to-Energy technologies are being promoted more and more as an alluring solution to a number of problems, including the urgent issue of waste disposal. These issues include inadequate power production, a shortage of landfill space, and greenhouse gas emissions from improper waste management. As an alternative to waste burning and composting, landfilling is one of the municipal solid waste (MSW) disposal techniques that are most frequently used. Due to its financial benefits, the sanitary landfill method is still often employed in various nations for the final disposal of solid waste. Landfill gas (LFG) is mostly produced by the anaerobic breakdown of the biodegradable component of municipal solid waste (MSW), specifically kitchen and yard trash, which is disposed of in landfills. Due to the anaerobic breakdown of the organic portion of solid waste, landfill gas is continuously produced. As a result, if an extraction system is not constructed in a landfill, there will be an overpressure that will force the biogas to be released into the atmosphere, which will have an adverse effect on the environment. Methane and carbon dioxide make up the majority of the gases that make up landfill gas, which is a mixture of other gases. Many landfill sites include an operational gas collection system that draws gas from both horizontal and vertical gas wells using a blower. The gas from the landfill was thought to only include carbon dioxide and methane. Methane's typical volume composition is 49%, hence it was believed that carbon dioxide would have a volume composition of 51%. Reviewing the information gathered by numerous studies regarding the volume of waste being dumped in landfills reveals that the waste produced in sub-Saharan Africa is sufficient to power the area with electricity. It was discovered that the quantity of electricity generated will fluctuate over time based on the flow rate of landfill gas. It will initially rise until a peak is attained. A million tons of landfill waste typically emits 434,000 cubic feet of LFG each day, which is sufficient to generate 0.80 MW of power. About 70% of LFG projects use internal combustion engines, gas turbines, and micro-turbines to produce power.

Keywords: Landfill gas, Power generation, Sub-Saharan Africa, Waste management, Waste-to-energy technologies

*Corresponding author: Benson Idahosa University, Department of Mechanical Engineering, Benin City, Edo State, Nigeria

E mail: dolodu@biu.edu.ng (D. D. OLODU)

Dickson David OLODU  <https://orcid.org/0000-0003-3383-2543>

Andrew ERAMEH  <https://orcid.org/0000-0002-6463-143X>

Received: October 27, 2022

Accepted: March 28, 2023

Published: July 01, 2023

Cite as: Olodu DD, Erameh A. 2023. Waste to energy: Review on the development of land fill gas for power generation in Sub-Saharan Africa. BSJ Eng Sci, 6(3): 296-307.

1. Introduction

Geographically speaking, Sub-Saharan Africa is the portion of the African continent south of the Sahara (Ehsan et al., 2019). According to the United Nations definition, the term may also cover countries that only have a portion of their territory located in that region, in addition to the African countries and territories that are totally situated in that particular region (UN). The African Union's regional definition of sub-Saharan Africa includes the northern Sudan, but Mauritania is left out according to the UN geoscheme for Africa (Aguilar-Virgen et al., 2014). The inevitable outcome of population growth and urbanization causes an increasing rate of garbage

creation across the board, including municipal solid waste (MSW), industrial waste, and packaging waste (Aronica et al., 2009). MSW is the term used to describe nonhazardous garbage produced in homes, markets, streets, and industries (Zuber and Ali, 2015). Landfill gas (LFG), whose primary components are typically methane (CH₄: 55–60% v/v) and carbon dioxide (CO₂: 40–45% v/v), is produced when biodegradable organic matter in landfilled MSW undergoes anaerobic breakdown (Trapani et al., 2013; Kumar and Sharma, 2014). Global warming is a result of the LFG being released into the atmosphere without being treated (Barbaro et al., 2009). Due to this circumstance, MSW landfilling is one of the most significant human-caused sources of greenhouse



gas emissions (Aronica et al., 2009; Ishigaki et al., 2005; Trapani et al., 2013). Landfill gas (LFG) control methods are employed to stop the gas from spreading into the atmosphere unintentionally. The recovered Landfill gas (LFG) can be burned in flares under regulated conditions to prevent the release of dangerous components into the atmosphere or be utilized to generate energy (Scheutz et al., 2011). Landfilling's greenhouse gas emissions are reduced via energy recovery from LFG (Calabro, 2009). The advantages of energy recovery from LFG for the environment and the economy were reported by Johari et al. in 2012. As a result, sanitary landfills could serve as a source of renewable energy for sustainable development (Tsai, 2007). Compared to earlier times, technological advancements in LFG energy recovery have also helped to reduce greenhouse gas emissions (Weitz et al., 2002). According to Calabro et al. (2015), the European Union (EU) adopted a gradual transition strategy from municipal solid waste (MSW) management practices based on landfills to integrated waste management techniques, such as recycling, mechanical biological treatment (MBT), incineration with energy recovery, and landfilling. Greenhouse gas emissions have already decreased as a result of these practices (Christensen et al., 2015). Additionally, it was emphasized that increasing gas collection efficiency is crucial since it will have a direct impact on how much of an impact landfill gas (LFG) will have (Calabro et al., 2011; Niskanen et al., 2013). The ideal choice for landfilling has been suggested to be very restricted landfill disposal with high levels of gas collection efficiency for residual waste management (Calabro, 2009; Calabro et al., 2015). Landfilling continues to be the most popular technique of disposing of municipal solid waste (MSW) in developing nations like Turkey, despite its detrimental environmental effects (Salihoglu et al., 2018). The fact that landfilling is one of the most affordable methods of disposing of municipal solid waste (MSW) has led to its popularity (Kumar and Sharma, 2014). Energy recovery has received a lot of attention from researchers, energy corporations, and landfill operators due to the revenue gained by the energy produced by the utilization of the LFG (Scarlat et al., 2015). Increases in LFG-to-energy conversion practices are encouraged by government incentives like the feed-in tariff and renewable obligation certificates (Emkes et al., 2015). Although energy recovery costs and revenues differ between sites (Emkes et al., 2015), landfill operators are always working to increase the rate at which landfill gas (LFG) is generated and collected (Czepiel et al., 2003). Designing landfill gas-to-energy projects involves considering estimates of LFG recovery potential (Cossu and Muntoni, 1997). The final amount of gases produced from a landfill will depend on the amount of trash dumped, the garbage's properties, the technologies employed to handle and dispose of the waste, and the sort of surface-covering system used (Cossu and Muntoni 1997; Fecil et al., 2003; Friedrich and Trois, 2011). Additional factors include weather

patterns and seasonal temperature variations (Czepiel et al., 2003; Barbaro et al., 2009). According to certain reports, the variables influencing the volume of gas vary between developing and developed nations (Friedrich and Trois, 2010). All waste categories, but particularly the organic component, have a wider diversity of material features in developing countries; claim Troschinetz and Mihelcic (2009) which is due to seasonal factors, affluence, domestic fuel supply, and geography. In many nations, models that are primarily based on the first-order decay of organic matter in municipal solid waste (MSW) are used to predict landfill gas emissions (LFG) (Ehsan et al., 2019). The results of these models may be highly unpredictable due to a lack of information regarding landfills and practices, waste composition, quantity of landfilled trash, or changes in management techniques (Scharff and Jacobs, 2006). Therefore, it is always required to have field measurements that indicate the properties of the waste, the working principles of the landfill, the MSW management plan of a particular town and the influence of the local climate (Bogner and Spokas, 1993). This study aims to assess the viability of using landfill gas (LFG) in Sub-Saharan Africa energy facilities. Investigated were the effects of the variables impacting landfill gas (LFG) production and, consequently, energy production. The field's extant literature has very little monitoring data from the practices of landfill gas (LFG) collection and energy conversion (Gollapalli and Kota, 2018). By analyzing real monitoring data from a major Turkish city, Bursa, this study seeks to add to the body of literature.

This study focused on waste to energy: Review on the development of land fill gas for power generation in Sub-Saharan Africa.

2. General Terms

2.1. Meaning Landfill

A landfill is a location for disposing of waste where the waste is often buried underground. One of the oldest and most popular ways to dispose of waste is to use a landfill, which separates trash from the surrounding region (Idehai et al., 2015).

2.2. Type of Gas Released in Landfills

Although a number of gases are emitted in landfills, methane, a damaging greenhouse gas, accounts for the majority (more than 50% of the overall volume). Man-made trash is the third largest producer of methane, which is around 21 times more potent than carbon dioxide and the main issue when it comes to landfill gas (Jaramillo et al., 2005). When garbage is dumped into a landfill, it initially goes through an aerobic (or "with oxygen") decomposition stage, which produces very little methane. Anaerobic conditions—or "without oxygen" conditions—are often generated in less than a year, at which point methane-producing bacteria start to break down the waste and release methane (Guermoud et al., 2009).

2.3. Conversion of Landfill Gas into Electricity

2.3.1. Steps for landfill gas electricity generation

The basic steps for landfill gas electricity generation are as follows:

1. Landfill waste is deposited into a landfill area.
2. The landfill waste begins to decay and emit landfill gas, namely methane.
3. The landfill gas rises to the top of the landfill and is collected in pipes located in/around the landfill.
4. The captured landfill gas is then directed to a treatment phase, being dealt with in accordance with its final purpose (ie. burning, electricity etc).
5. Once treated, the gas can then be used as fuel for a combustion engine, in order to create electricity for various purposes.

2.4. Waste-to-Energy?

A group of technologies known as "waste-to-energy" handle trash in order to recover energy in the form of heat, electricity, or alternative fuels like biogas (Kaplan et al., 2009). The term "Waste-to-Energy" encompasses a variety of technologies with varying complexity levels and scales. These include gasification; the thermal treatment of waste in utility-scale incineration plants; the creation of cooking gas from organic waste in household digesters; the collecting of methane gas from landfills; and the co-processing of refuse-derived fuel (RDF) in cement factories. The term "waste-to-energy" is used very broadly in this reference to refer to large-scale municipal (i.e. utility-size) plants that use pyrolysis/gasification, anaerobic digestion, co-processing, and landfill gas collection and incinerator technologies. These five technologies all apply to various waste streams and each has unique features and functions. They must therefore be independently evaluated depending on the relevant local context and waste stream.

2.5. Key Findings and Recommendations

When considering the introduction of Waste-to-Energy technologies, decision makers should consider the following aspects:

- i. Waste-to-Energy initiatives should not compete with waste reduction: The creation of municipal solid waste management (MSWM) systems should adhere to the waste hierarchy: preparation for reuse and material recycling should come first, then waste reduction through prevention. Waste-to-Energy initiatives should not compete with waste reduction, reuse, and material recycling strategies because they can be viewed as a complimentary technology for the recovery of energy from remaining non-recyclable MSW components. Waste-to-Energy is a better method of disposal when carried out under controlled circumstances, but it is given low priority in the waste hierarchy (Kaplan et al., 2009).
- ii. Waste-to-Energy must achieve high emission standards: There are just a few instances where a complete legal framework for all forms of waste-to-energy exists. The strict emission standards

necessary won't be met in jurisdictions where regulations are either nonexistent or cannot be implemented. Low emission levels are not acceptable because they have long-term negative effects on human health (Guermoud et al., 2009). Keep an eye out for global best practices and use internationally accepted standards in the tendering process, making sure that there are monitoring and enforcement measures in place to guarantee compliance.

- iii. Waste-to-Energy requires knowledge on waste quantities and characteristics: In many cities, the amount of waste will quadruple over the next 20 years, but there are rarely any consistent waste management strategies that take demographic and social changes into account. Create a waste management strategy for the city that considers the medium-to long-term evolution of trash quantities and details the most pertinent waste streams' characteristics and available treatment methods. To achieve a workable economy of scale, any inter-municipal cooperation should also be taken into account (Gollapalli and Kota, 2018).
- iv. Waste-to-Energy builds on an efficient municipal solid waste management (MSWM) system: Only communities with a robust trash collection and transportation infrastructure and a safe ultimate disposal facility may be able to successfully manage waste-to-energy systems. Show and provide documentation that the current waste management system is stable financially and technically (Jaramillo et al., 2005).
- v. Waste-to-Energy requires significant financial resources: The sustainable functioning of waste-to-energy plants depends on reliable financing for operation and maintenance. You should think twice before developing a waste-to-energy plant if your municipality can't afford to continue funding its current garbage collection and treatment infrastructure.
- vi. Income from energy sales does not cover Waste-to-Energy costs: Waste-to-energy plants have substantial capital and operating expenses that cannot be expected to be covered entirely by the sale of energy at market pricing. Make a realistic projection of the revenue from the sale of energy, and keep an eye out for additional and reliable financing options.
- vii. Waste-to-Energy requires qualified staff: Waste-to-energy plants are sophisticated technologies that need specialized personnel and frequent maintenance. They are not simply a simple black box for producing electricity, gas, heat, or steam. Ensure that qualified personnel can be hired and retained and that ongoing training is provided to current employees. Outsourcing should be taken into account for some technical and managerial tasks (Idehai, et al., 2015).
- viii. Waste-to-Energy is just a potential part of a

functioning municipal solid waste management system: Waste-to-energy plants are not independent technical components and cannot address the current waste issues on their own. Make sure that your waste management system is already planned to include an integrated component for a potential waste-to-energy plant. It is necessary to take backup and emergency capacities into account (Aghdam et al. 2018).

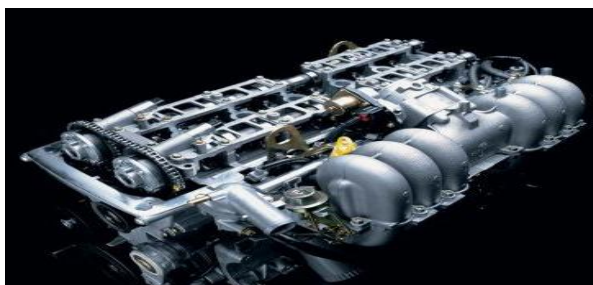


Figure 1. Combustion Engine for Energy Conversion (Kaplan et al., 2009).

The combustion engine is one of the key elements in the process of converting landfill gas into power. A combustion engine, also referred to as a biogas generator, is responsible for turning landfill gas into power. The key distinction is that it uses inverter technology to transform the electricity produced by our co-generators into the kind of electricity we use, whether it is for powering electronic devices, heavy machinery, or the grid. This is coupled with a variable-speed engine that utilizes various fuels of various qualities (e.g., low quality biogas). This fluctuating speed generates raw power, which our electronics transform into smooth DC power and, subsequently, three-phase AC power that is constantly synchronized with the grid (Aghdam et al. 2018).

2.6. Reasons for Converting Landfill Gas to Electricity

Landfill gas is converted to electricity for the following reasons:

- Reduction in greenhouse gas emissions
- Efficient use of waste
- Earn ACCUs
- Reduction of air pollution by offsetting the use of non-renewables
- Relatively cost effective
- Improvement to overall air quality
- Reduction of landfill odour
- Potential Green Energy credits

2.7. Characteristics of Municipal Waste

In a developing or emerging nation, an urban resident produces 100 to 400 kg of MSW annually on average (Figure 2). Different levels of economic development and consumption, as well as the definition of the amount of waste produced, are to blame for this vast range and significant uncertainty (Trapani et al., 2013; Kumar and Sharma, 2014). Some statistics take into account all recycled materials and use the total projected waste generated per person. Others focus just on the trash that is handled by the relevant local authorities, excluding, for instance, valuable materials that are separated and gathered at the source by the unofficial sector. Recycling materials including glass bottles, newspapers, PET bottles, and tins are frequently collected separately before they are added to the formal waste stream, for which the municipality is accountable. Municipalities must therefore manage a "remaining" waste portion that is highly heterogeneous, has high organic content, and has a low calorific value. Planning waste-to-energy solutions, as well as the social impact on the informal sector when a change in the current recycling and primary collection system is proposed, must take these uncertainties in terms of quantity and quality into serious consideration (Kumar and Sharma, 2014).

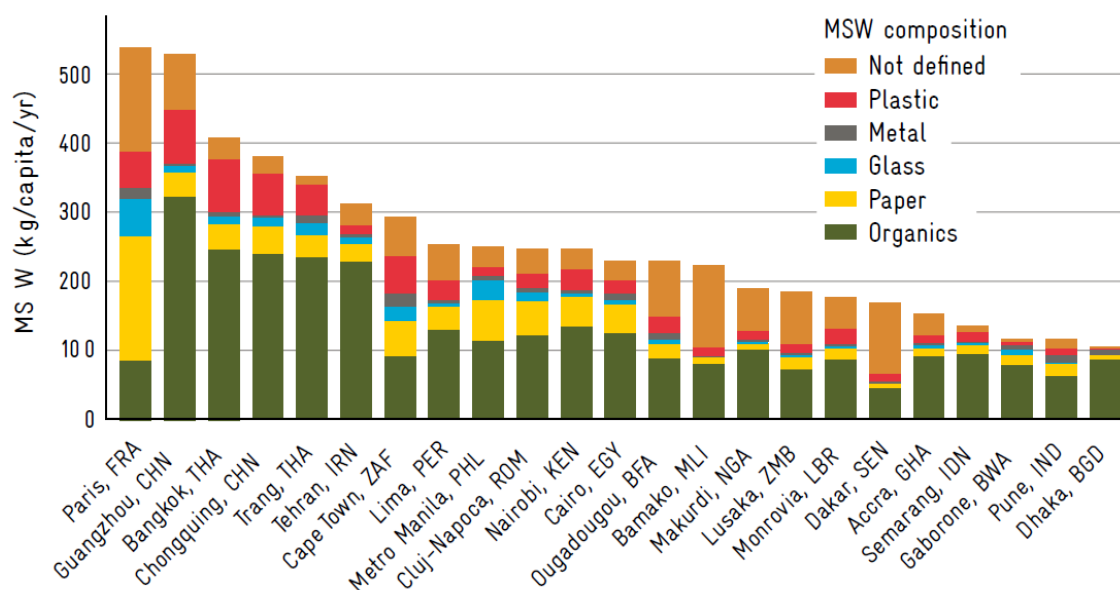
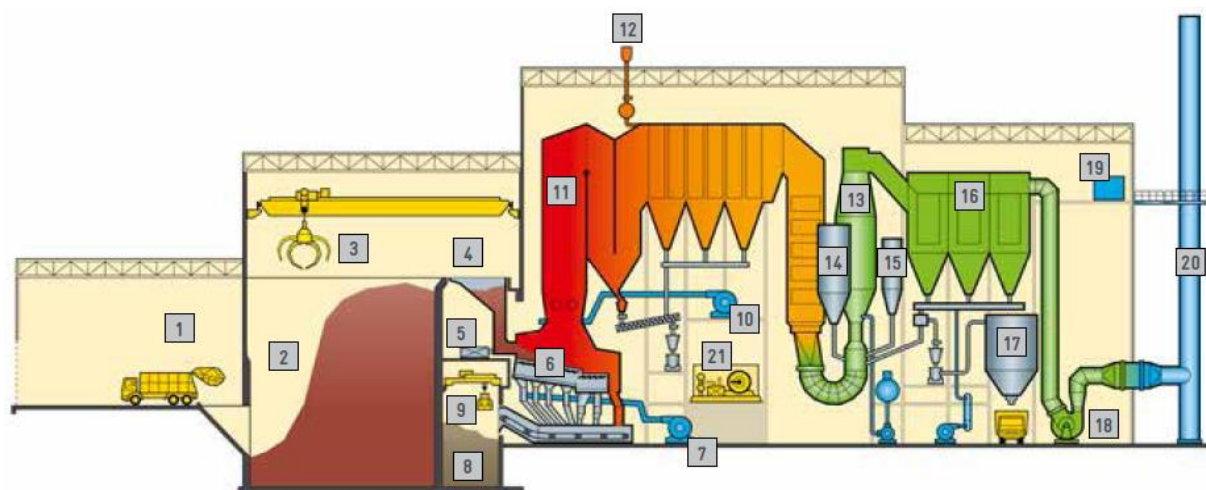


Figure 2. Composition of MSW per capita (kg/capita/yr) in various cities of the world (Kumar and Sharma, 2014).



WASTE DELIVERY	INCINERATION	FLUE GAS CLEANING	ENERGY RECOVERY
1 Tipping hall	5 Ram feeder	13 Flue gas reactor	21 Steam turbine / generator
2 Waste bunker	6 Incineration grate	14 Hydrated lime	
3 Waste crane	7 Primary air fan	15 Activated carbon	
4 Waste feeding chute	8 Bottom ash bunker	16 Bag filter	
	9 Bottom ash crane	17 Residue silo (fly ash)	
	10 Secondary air fan	18 ID fan	
	11 Steam boiler	19 Emissions Monitoring System (CEMS)	
	12 Boiler safety valve	20 Stack	

Figure 3. Components of a municipal solid waste incineration plant with flue gas cleaning. Image (source: Kumar and Sharma, 2014).

3. Waste-To-Energy Technology Option

This section provides an overview of five municipal-scale waste-to-energy technologies: co-processing, anaerobic digestion (AD), landfill gas (LFG), and pyrolysis/gasification (which are also called alternative technologies). The five technologies mentioned above each have a unique role to play in the municipal waste management system. Some technical background information is given, followed by a listing of the suitable waste types and a summary of related operational, environmental, legal, and financial issues. The order of the technologies is based on the perceived demand for advice on these technologies and does not imply any priority or applicability for each technology.

3.1. Anaerobic Digestion for Biogas Production

The degradation of organic materials by microbes in the absence of free oxygen is known as anaerobic digestion (AD). Under controlled circumstances, AD can be utilized to make biogas. AD naturally exists under oxygen-deficient conditions, such as some lake sediments. In order to achieve this, an anaerobic digester, a gas-tight reactor, is utilized to create an environment where microorganisms may convert organic matter, the input feedstock, into biogas and a solid-liquid byproduct known as digestate. When the feedstock is organic waste that has been source separated and is not polluted, the digestate can be used as organic fertilizer. A mixture of

several gases called biogas has the potential to provide thermal and/or electrical energy. Methane (CH_4), a flammable gas, is the primary energy component of biogas, with concentrations ranging from 50 to 75 percent depending on feedstock and operating conditions. The heating value of biogas is roughly two-thirds that of natural gas (5.5 to 7.5 kWh/m^3) due to its lower methane content. In poor nations, AD employing small-scale digesters has a long history of harnessing the energy component of organic leftovers in rural settings. Agriculture provides the majority of the feedstock inputs, particularly animal manure, which may be used effectively at small scales and is quite simple to operate. At the municipal level, AD is getting more consideration as a potential solution for waste-to-energy recovery in urban settings. However, the operation of biogas plants from heterogeneous MSW is a big challenge in terms of operational, safety and financial requirements. As a consequence there are very few successful examples of biogas from MSW in developing countries. Being able to ensure a continuously well-separated organic waste component is a significant obstacle to successful AD operations. The success of AD at larger scales is frequently hampered by the frequent mixing of organic waste with inorganic materials, such as plastics, metals, and other pollutants, in many nations. Small-scale biogas facilities are an option and can be effectively used in

impoverished nations, as opposed to other waste-to-energy plants.

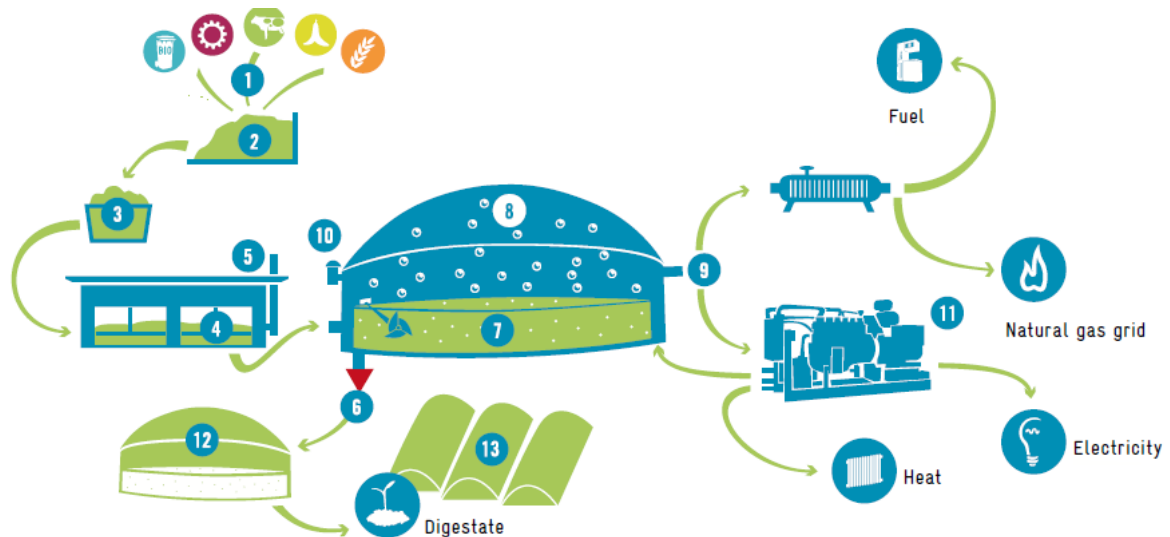
3.2. Description of Technology

A large number of different anaerobic digester designs exist worldwide with varying levels of complexity. According to Kaplan, Decaroli and Thorneloe (2009), anaerobic digester can be classified by:

- Mode of feeding: Batch or continuous feeding
- Temperature range: There are three temperature ranges: psychrophilic (25°C), mesophilic (35–48°C), and thermophilic (> 50°C), with the latter two being the only ones deemed economically viable. When there is a high risk of infection, thermophilic environments are advised. To inactivate pathogens for mesophilic systems, alternative methods include pasteurization at 70 °C for one hour or thermophilic composting (Karanjekar, 2015).
- Reactor type: While plug-flow and batch digesters are utilized for solid feedstock, continuously stirred tank reactors are frequently employed for liquid

feedstock such as catering waste, wastewater, or industrial sludge from food processing. The utilization of solid feedstock in continuously stirred tank reactors can be accomplished by dewatering the feedstock (Lou and Nair, 2009).

- Number of stages: One to multi-stage digestion is possible.
- In a combined heat and power plant, biogas can either be utilized directly to generate heat or transformed into heat and electricity, the latter process often taking place after desulfurization and drying. Another choice is to transform biogas into biomethane, which can replace natural gas and has a methane content of about 98% (Loening, 2003). Figure 8: The production of biogas through anaerobic digestion of organic waste and manures is depicted in Figure 8. The biogas produced may be used, for instance, in a combined-heat-and-power (CHP) generator.



- | | |
|---|---|
| 1 Different feedstocks | 8 Gas Storage |
| 2 Reception and waste storage | 9 Gas cleaning system |
| 3 Feedstock preparation, processing, sorting and cleaning | 10 Safety Equipment (pressure relief devices, safety valves, gas flares etc.) |
| 4 Enclosed building for putrescible waste preparation | 11 Combined heat and power unit |
| 5 Biofilter to reduce smells and organic compounds | 12 Digestate storage |
| 6 Sanitation Unit | 13 Digestate Upgrading |
| 7 Digester | |

Figure 4. Components and end-uses of an anaerobic digestion plant. Image source: Fachverband biogas

3.3. Suitable Waste

Only organic matter, or biomass, can be processed by an anaerobic digester. Because these are broken down gradually by an anaerobic digester, the amount of fibrous material, such as hemicellulose and lignin, found, for example, in straw and woody plants, should typically be quite low (Taherzadeh, 2009). It is feasible to employ specifically produced energy crops, such as maize, for the

production of biogas in addition to using organic "waste" biomass such as agricultural residues or organic fractions of MSW (Themelis and Ulloa, 2007). As a result, this is not the topic of this guide, which instead discusses anaerobic digesters that solely process organic waste from municipal garbage. However, this could result in potential conflicts with food production. The addition of inorganic or dangerous materials is not desired in the

process and can hinder microbial deterioration, block operation, for example by clogging pipes with plastic materials, and/or restrict the digestate's suitability for use as organic fertilizer. An appropriate source of anaerobic digester fuel is municipal organic waste, such as source-separated home, market, and garden trash. Additionally, co-digestion with agricultural leftovers, wastewater treatment plant sludge, or organic industrial or commercial waste can boost the availability of feedstock and, as a result, the economic viability of the process. Using household bio-waste is more advanced than using energy crops, commercial and industrial wastes, animal byproducts, or vegetable byproducts as feedstock (Taherzadeh, 2009). This is a result of the feedstock's fluctuating composition throughout the course of the year and the potential presence of significant contaminants. The anaerobic digester produces variable amounts of methane and energy depending on the feedstock (indicative examples in Table 1).

Table 1. Indicative examples of methane and energy yields of selected organic waste feedstock through anaerobic digester with methane yields in norm m³ (Nm³, at 0 °C, 1.01325 bar and relative gas humidity of 0%) per ton wet weight (t) of feedstock and 37.8 MJ per Nm³ CH₄ (higher heating value).

Feedstock	Methane yield [Nm ³ CH per t]	Energy yield [MJ per t _{wet}]
Municipalities		
Wastewater	15	570
Kitchen and garden waste	40-100	1510-3780
Industries		
Fruit waste	60	2270
Slaughterhouse waste	50	1890
Agriculture		
Cattle manure	32	1210
Grass	90	3400

3.4. Operational Aspects

Important operational aspects include the following:

- Availability and composition of organic waste feedstock: Seasonal variations in the availability of agricultural goods and their residues are the main factors that affect the composition and quantities of organic waste. Anaerobic digesters need to be planned with this in mind, and this should include dimensioning as well as the potential for feedstock storage facilities when feedstock availability exceeds plant capacity (U.S.EPA, 2011).
- Temperature: If there are no other limiting factors, microorganisms thrive and reproduce more quickly at higher temperatures. Most of the time, a mesophilic temperature range between 35 and 48 °C is thought to be the most stable. In general, operation at higher temperatures in the thermophilic range > 50 °C requires heating and

insulation but can help remove pathogens and reduce reactor volumes. Small-scale psychrophilic anaerobic digesters have been successfully used in colder locations (Vaverkova and Adamcova, 2015), but larger scale digesters may not be economically feasible due to the demand for heating and insulation.

- Organic loading rate (OLR): OLR quantifies the amount of feedstock which a specific reactor can degrade per unit of time.
- Carbon: Nitrogen ratio (C:N): For anaerobic digesters, the relative abundance of carbon and nitrogen should be between 16 and 25, which is a crucial characteristic for microbial growth.

3.5. Capturing of Landfill Gas

Different from the other waste-to-energy technologies described in this handbook is Landfill Gas (LFG) Capture. It is to be viewed as a crucial element in partially minimizing the damaging effects of operating sanitary landfills on the environment (SLF). In underdeveloped nations, sanitary landfilling is a widely used and approved method and, in many instances, the only way to properly process and store the gathered garbage (Willumsen and Barlaz, 2011). SLF has detrimental long-term environmental effects, such as the emission of methane landfill gas with a significant potential for global warming into the atmosphere, despite being an improvement over uncontrolled and open dumping of compounds. Others include the waste's loss of valuable resources when it is landfilled and the presence of noxious and toxic substances. The anaerobic digestion of organic matter in the landfill body, which can be thought of as an oversized bioreactor, produces the methane in LFG (Yang et al., 2015). The capturing of methane gas is essential in order to reduce greenhouse gas emissions from landfill sites into the atmosphere. This is possible through LFG capture. However, significant losses occur in the start-up phase of a landfill site before the methane capturing system is installed and in operation (Yecheil and Shevah, 2016). When in operation, it is still not possible to capture all of the gas emitted by the landfill.

3.6. Technology Description

LFG is ideal as a fuel for the production of heat or power, combined heat and power generation, or as a fuel for transportation because it contains 45–55% methane gas. CO₂ makes up the majority of the remaining material. The following variables affect LFG yield:

- How fresh waste is placed and compacted;
- Level of compacting and height of the individual layers;
- Water content in the landfill;
- Climate;
- Technical features for capturing the methane gas in the SLF.

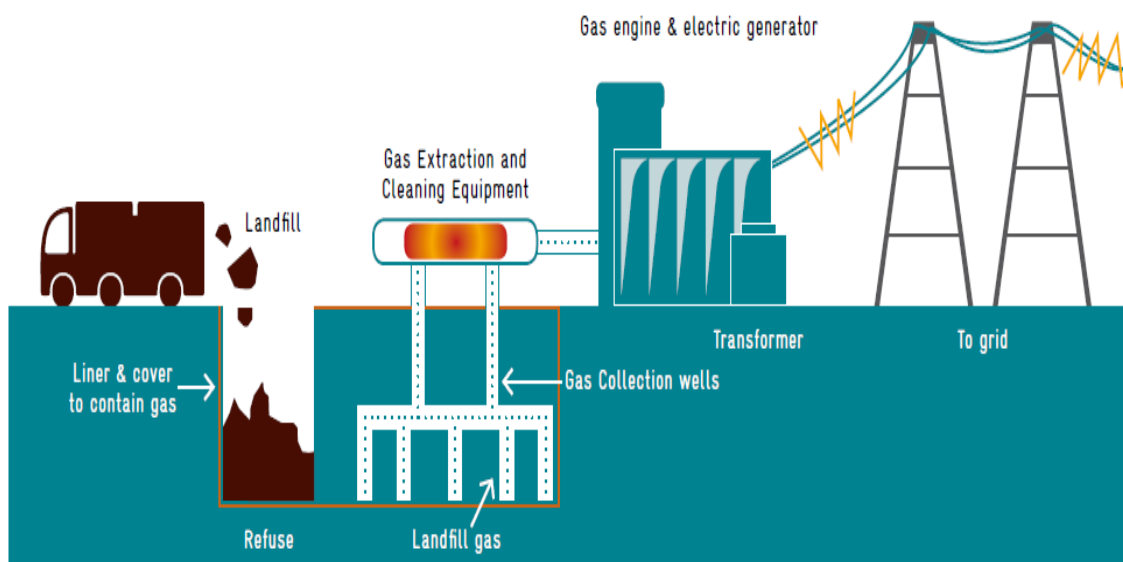


Figure 5. Components of landfill gas capturing system with electricity production (Aronica et al., 2009).

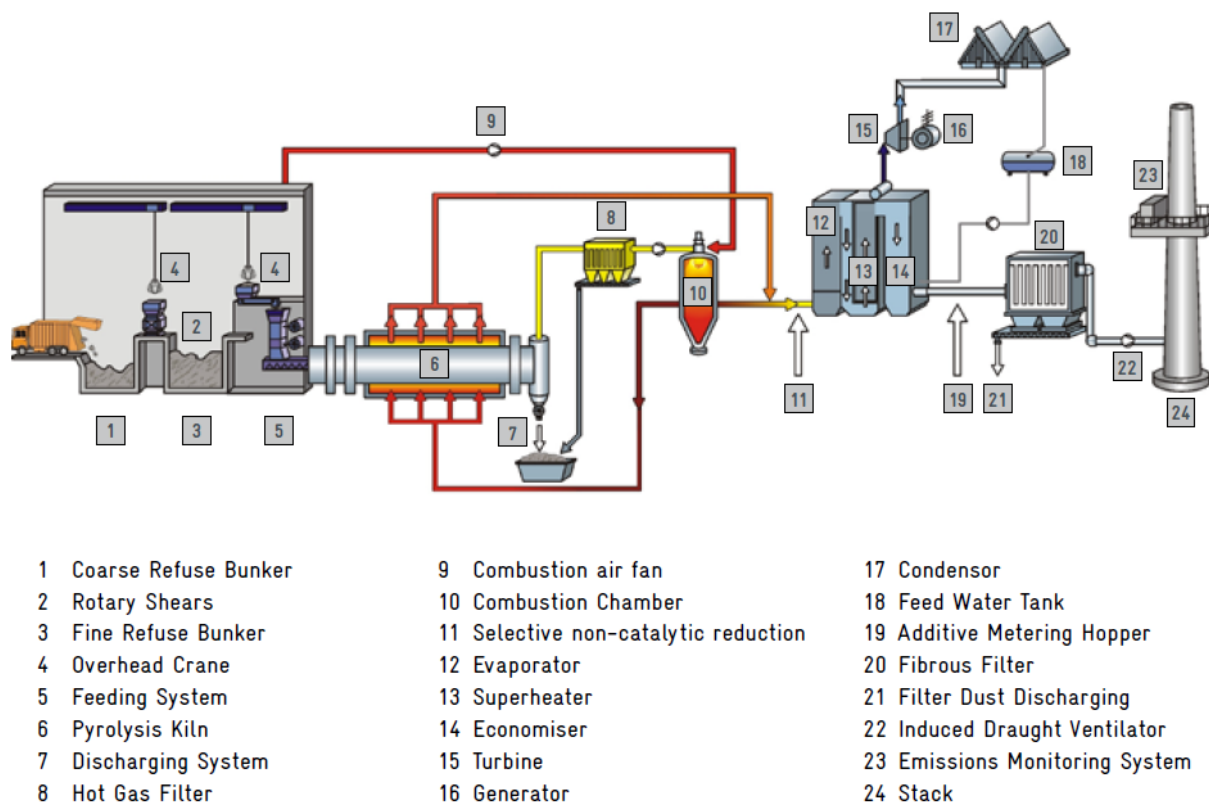


Figure 6. Components of a pyrolysis plant for specific solid waste treatment (U.S.EPA, 2011).

3.7. Composition of Waste

- Separation of MSW at the source in households is the best precondition for recycling and also for waste-to-energy. Hazardous & bulky mineral waste should be collected and treated separately.
- As already mentioned, for anaerobic digestion separate collection of organic waste is a necessity. Anaerobic digestion is not an option if separately collected waste is mixed with mineral or hazardous waste, even in small amounts.
- If MSW is regularly mixed with hazardous and

mineral fractions the suitability of each waste-to-energy technology must be assessed frequently. Measures to improve waste separation at source should be initiated (e.g. separate collection and treatment of construction & demolition waste and batteries).

- Landfill gas collection remains relevant where sanitary landfills contain significant levels of organic waste.

3.8. Calorific Value of MSW for Thermal Processes, Organic Content

- For incineration and co-processing, autothermic combustion, or self-sustaining burning without additional fuel, MSW must be ensured year-round. Oil, gas, and other fuels should not be co-fired because it is expensive and should only be done in an emergency or to start the combustion process. Calorific value is one criterion for determining if MSW is acceptable for incineration and co-processing. The calorific value is decreased by trash from the kitchen and garden that has a high mineral content (from glass, ash, building and demolition debris), a high metal content, or both. All combustion processes are suitable for waste-to-energy projects if their calorific values are greater than 8 MJ/kg.
- Incineration technologies with an advanced integrated drying stage are able to combust wet MSW with a calorific value of about 7 MJ/kg. For co-processing the minimum acceptable humidity should be clarified and drying technologies assessed before starting a waste-to-energy project.
- The minimal permissible humidity for all combustion technologies should be clarified, and drying technologies should be evaluated if the

calorific value is less than 7 MJ/kg due to humidity. Before pursuing waste-to-energy options, general waste management should be addressed when mineral waste is the primary cause of the low calorific value.

- The LCV for thermal processes cannot be directly compared with LFG collection and anaerobic digestion. However, the energy content of organic feedstock for an anaerobic digester has an impact on the energy content of the biogas yield. Higher energy content feedstocks can increase the quality of the biogas. The efficiency of landfill gas collection is dependent on the existing landfill conditions, including the proportion of organic waste deposited and the way this is layered.

4. Collecting and Treating Landfill Gas

Instead of escaping into the air, LFG can be captured, converted and used as a renewable energy resource. Using LFG helps to reduce odors and other hazard associated with LFG emissions. This prevents methane from migrating into the atmosphere and contributing to local smog and global climate change. In addition, LFG energy projects generate revenue and create jobs in the community and beyond.

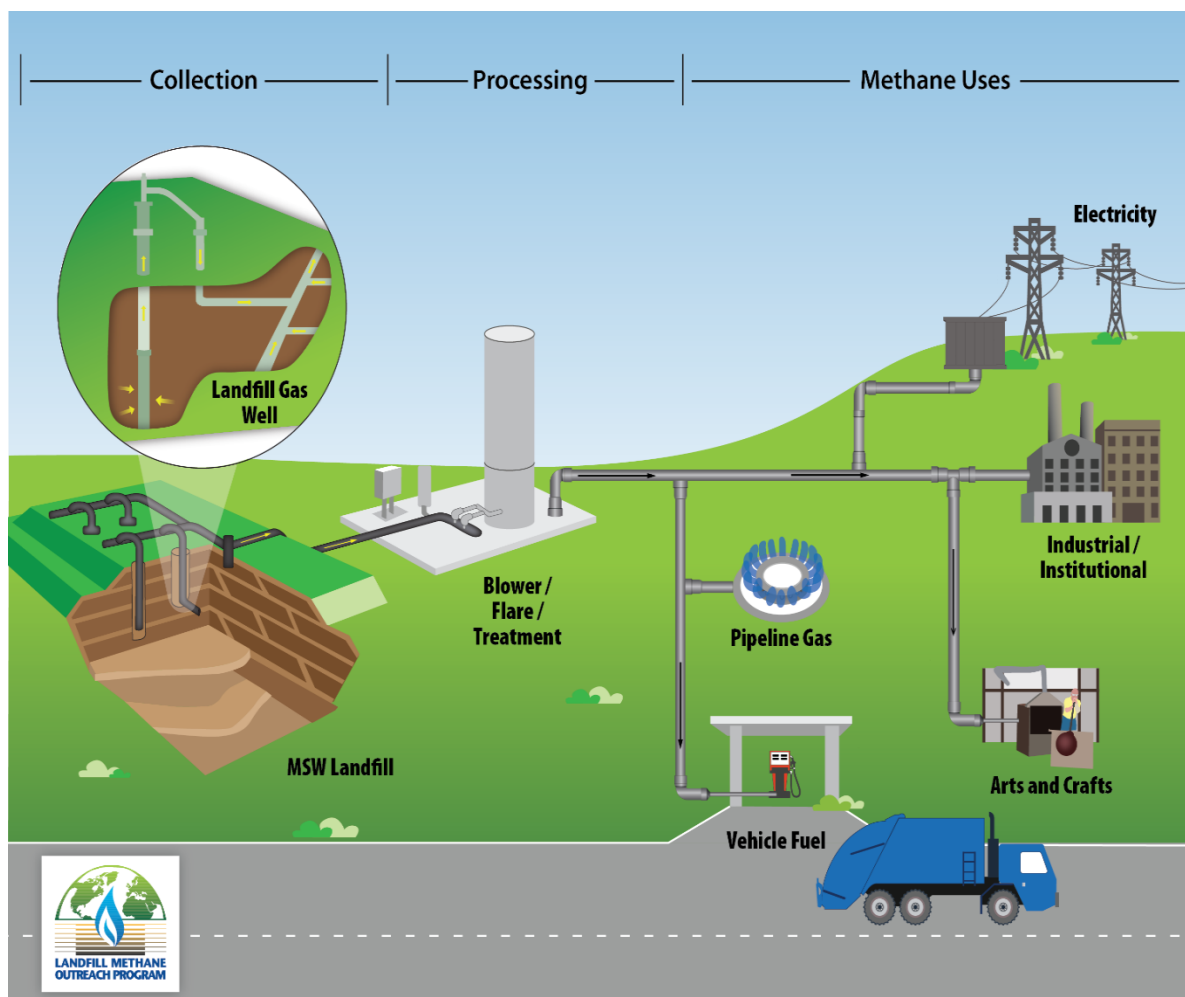


Figure 7. The Collection and Processing of LFG to Produce Methane for Multiple uses.

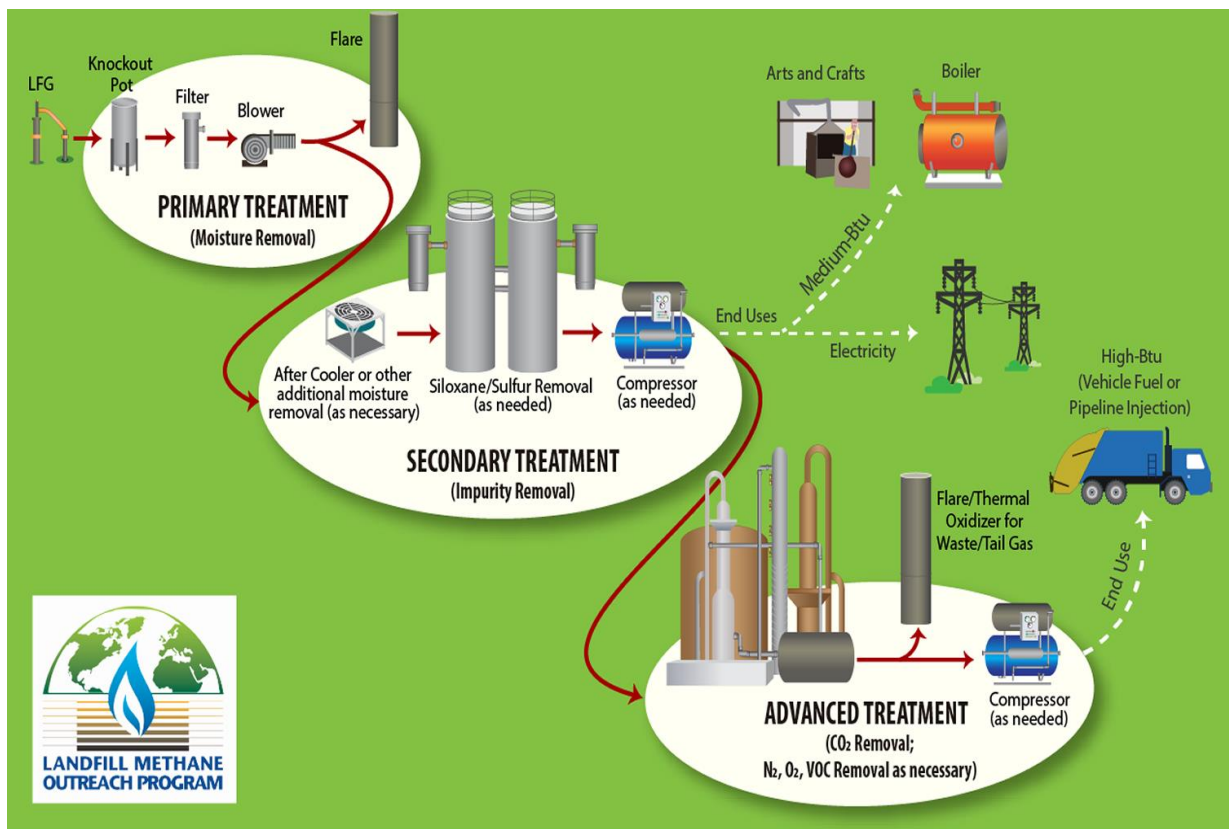


Figure 8. The three stages of LFG treatment.

First, LFG is collected through vertical and horizontal piping buried in an MSW landfill. The LFG is then processed and treated for use. Figure 7 shows potential end uses of LFG including industrial/institutional uses, arts and crafts, pipeline gas, and vehicle fuel.

The gas goes via a knockout pot, filter and blower as part of the primary treatment process to remove moisture (Figure 8). The use of an after cooler or another method of additional moisture removal (if required), followed by the removal of siloxane and sulfur, and compression, constitutes secondary treatment (as needed). Following the removal of impurities during the secondary treatment stage, LFG can be used to produce electricity or as a medium-Btu fuel for boilers or other crafts. Advanced Treatment compresses the LFG into a high-Btu gas that can be utilized as car fuel or pumped into a gas pipeline while also removing extra contaminants (CO₂, N₂, O₂, and VOCs). Waste or tail gas is sent to a thermal oxidizer or flare.

4.1. Basic LFG Collection and Processing System

LFG is removed from landfills by utilizing a blower/flare (or vacuum) system and a network of wells. Depending on the gas's intended use, this system routes the gathered gas to a central location where it can be processed. Here, the gas can either be flared or utilised profitably in LFG energy production.

4.2. Landfill Gas Energy Project Types

There are numerous ways to transform LFG into energy. The following are three major categories into which various LFG energy project types are divided: electricity

generation, direct use of medium-Btu gas, and renewable natural gas. Under each project type are descriptions of the project technologies.

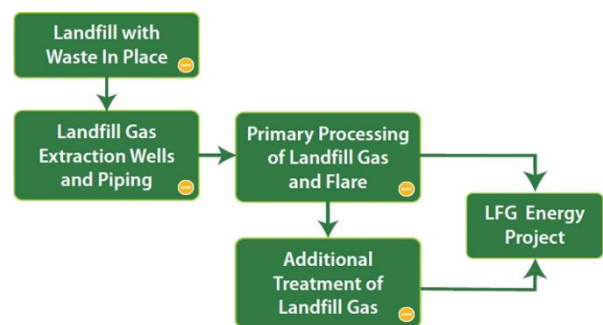


Figure 9. Flowchart of a basic LFG collection and processing system.

4.3. Electricity Generation

Electricity is produced by about 69 percent of the LFG energy plants that are currently in operation. Reciprocating internal combustion engines, turbines, micro-turbines, and fuel cells are just a few of the technologies that can be utilized to produce electricity for on-site use or for sale to the grid. Due to its relatively low cost, high efficiency, and size ranges that complement the gas output of many landfills, the reciprocating engine is the most commonly used conversion technology for LFG energy applications. Larger LFG energy projects often use gas turbines, while specialized applications and smaller LFG volumes typically use micro-turbines. Plants that

employ LFG to create both electricity and thermal energy, typically in the form of steam or hot water, are referred to as cogeneration or combined heat and power (CHP) projects. At industrial, commercial, and institutional operations, a number of cogeneration projects using engines or turbines have been installed. This project type can be particularly alluring due to its efficiency improvement, which can be used to capture thermal energy in addition to electricity generation.

5. Conclusion

Waste to energy; review on the development of land fill gas for power generation in Sub-Saharan Africa has been achieved. It was discovered that landfill gas is a workable substitute for fossil fuel and other fuel sources for the production of sustainable energy (electricity). It reduces fugitive landfill gas and also greenhouse gas emissions from fossil fuel power plants. Gas emissions from landfills are valuable waste that ought to be recovered, especially in light of the energy component of the methane. Improvements in new generator technology have led to a change in how electricity is produced from landfill gas. Innovations in power generation have increased its effectiveness and environmental performance. However, the new technology still needs to demonstrate its potential to provide energy for a sustainable future especially within the Sub-Saharan Africa. Landfill gas (LFG) is considered a suitable source of energy by both Australia and the USA under regulations and a set of government funds that have been implemented to improve electricity generation from renewable sources. The growth of renewable energy has received support from both governments. Nevertheless, the Australian government has to pay closer attention to landfill gas power generation and learn from the US experience. Support for green energy from the government and society will have an impact on investment, which promotes the development of innovative technologies. To enhance the performance of green power in the environmental, social, and economic sectors, more research on LFG production technology and power generation is needed.

Author Contributions

The percentage of the author(s) contributions is present below. All authors reviewed and approved final version of the manuscript.

	H.Ö.	U.Ş
C	50	50
D	50	50
S	50	50
DCP	50	50
DAI	50	50
L	50	50
W	50	50
CR	50	50
SR	50	50

C=Concept, D= design, S= supervision, DCP= data collection and/or processing, DAI= data analysis and/or interpretation, L= literature search, W= writing, CR= critical review, SR= submission and revision.

Conflict of Interest

The authors declare that there is no conflict of interest.

Acknowledgements

The authors acknowledged the Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Benson Idahosa University and Igbinedion University respectively for the using some of their facilities during the fabrication process.

References

- Aghdam EF, Fredenslund AM, Chanton J, Kjeldsen P, Scheutz C. 2018. Determination of gas recovery efficiency at two danish landfills by performing downwind methane measurements and stable carbon isotopic analysis. *Waste Manag*, 73: 220-229. DOI: 10.1016/j.wasman.2017.11.049.
- Aguilar-Virgen QP, Taboada-González S, Ojeda-Benítez M. 2014. Power generation with biogas from municipal solid waste: prediction of gas generation with in situ parameters. *Renew Sust Energy Rev*, 30: 412-419. DOI: 10.1016/j.rser.2013.10.014.
- Aronica S, Bonanno A, Piazza V, Pignato L, Trapani S. 2009. Estimation of biogas produced by the landfill of palermo, applying a gaussian model. *Waste Manag*, 29: 233-239. DOI: 10.1016/j.wasman.2008.02.026.
- Barbaro S, Bonanno A, Boscia ML, Rizzo G, Aronica S. 2009. The impact of landfills on the air quality of towns - A simple heuristic model for the city of Palermo. *Int J Environ Pollut*, 36: 287-304. DOI: 10.1504/IJEP.2009.021833.
- Bogner J, Spokas K. 1993. Landfill CH₄: Rates, fates, and role in global carbon cycle. *Chemosphere*, 26: 369-386. DOI: 10.1016/0045-6535(93)90432-5.
- Calabro PS, Gorib M, Lubello C. 2015. European trends in greenhouse gases emissions from integrated solid waste management. *Environ Technol*, 36(16): 2125-2137. DOI: 10.1080/09593330.2015.1022230.
- Calabro PS, Orsi S, Gentili E, Carlo M. 2011. Modelling of biogas extraction at an Italian landfill accepting mechanically and biologically treated municipal solid waste. *Waste Manag Res*, 29: 1277-1285. DOI: 10.1177/0734242X11417487.
- Calabro PS. 2009. Greenhouse gases emission from municipal waste management: The role of separate collection. *Waste Manage*, 29(7): 2178-2187. DOI: 10.1016/j.wasman.2009.02.011.

- Christensen TH, Manfredi S, Knox K. 2011. Landfilling: Reactor landfills. In *Solid Waste Technology Management*, ed. H. Thomas Christensen, John Wiley and Sons, New York, US, pp: 772-787.
- Cossu R, Muntoni A. 1997. Biogas emission measurement using static and dynamic flux chambers and infrared method. Sixth International Waste Management and Landfill Symposium, Cagliari, Italy, pp: 97.
- Czepiel PM, Shorter JH, Mosher B, Allwine E, McManu JB, Harriss RC, Kolb CE, Lamb BK. 2003. The influence of atmospheric pressure on landfill methane emissions. *Waste Manag*, 23: 593-598. DOI: 10.1016/S0956-053X(03)00103-X.
- Ehsan FA, Anders MF, Jeffrey C, Peter K, Charlotte S. 2019. Determination of gas recovery efficiency at two Danish landfills by performing downwind methane measurements and stable carbon isotopic analysis. *Waste Manage*, 73: 220-229. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.11.049>.
- Emkes H, Coulon F, Wagland S. 2015. A decision support tool for landfill methane generation and gas collection. *Waste Manag*, 43: 307-318. DOI: 10.1016/j.wasman.2015.07.003.
- Fecil B, Heroux M, Guy C. 2003. Development of a method for the measurement of net methane emission from MSW landfills. Ninth International Waste Management and Landfill Symposium, October 6-10, 2003, Cagliari, Italy.
- Friedrich E, Trois C. 2010. GHG accounting and reporting for waste management – A South African perspective. *Waste Manag*, 30: 2336-2346. DOI: 10.1016/j.wasman.2010.05.016.
- Gollapalli M, Kota H. 2018. Methane emissions from a landfill in north-east India: Performance of various landfill gas emission models. *Environ Pollut*, 234: 174-180. DOI: 10.1016/j.envpol.2017.11.064.
- Guermoud N, Ouadjnia F, Abdelmalek F, Taleb F. 2009. Municipal solid waste in Mostaganem city (Western Algeria). *Waste Manag*, 29(2): 896-902. DOI: 10.1016/j.wasman.2008.03.027.
- Idehai IM, Akujieze CN. 2015. Estimation of landfill gas and its renewable energy potential in Lagos, Nigeria. *Int J Energy Environ Eng*, 6: 329-343. DOI: 10.1007/s40095-015-0178-9.
- Ishigaki T, Yamada M, Nagamori M, Ono Y, Inoue Y. 2005. Estimation of methane emission from whole waste landfill site using correlation between flux and ground temperature. *Environ Geol*, 48: 845-853. DOI: 10.1007/s00254-005-0008-0.
- Jaramillo P, Matthews HS. 2005. Landfill-gas-to-energy projects: Analysis of net private and social benefits. *Environ Sci Tech*, 39: 7365-7373. DOI: 10.1021/es050633j.
- Johari A, Ahmed SI, Hashim H, Alkali H, Ramli M. 2012. Economic and environmental benefits of landfill gas from municipal solid waste in Malaysia. *Renew Sust Energy Rev*, 16(5): 2907-2912. DOI: 10.1016/j.rser.2012.02.005.
- Kaplan PO, Decarolis J, Thorneloe S. 2009. Is it better to burn or bury waste for clean electricity generation? *Environ Sci Tech*, 43: 1711-1717. DOI: 10.1021/es802395e.
- Karanjekar RV, Bhatt A, Altouqui S, Jangikhatoonabad N, Durai V, Sattler ML, Hossain MDS, Chen V. 2015. Estimating methane emissions from landfills based on rainfall, ambient temperature, and waste composition: The CLEEN model. *Waste Manag*, 46: 389-398. DOI: 10.1016/j.wasman.2015.07.030.
- Kumar A, Sharma MP. 2014. Estimation of GHG emission and energy recovery potential from MSW landfill sites. *Sust Energy Tech Assess*, 5: 50-61. DOI: 10.1016/j.seta.2013.11.004.
- Loening A. 2003. Predictions and projections; looking at the power generation potential of landfill gas. *Waste Management World International Solid Waste Association*, Copenhagen, Denmark.
- Lou XF, Nair J. 2009. The impact of landfilling and composting on greenhouse gas emissions – A review. *Bioresour Tech*, 100: 3792-3798. DOI: 10.1016/j.biortech.2008.12.006.
- Niskanen A, Värri H, Havukainen J, Uusitalo V, Horttanainen M. 2013. Enhancing landfill gas recovery. *J Clean Produc*, 55: 67-71. DOI: 10.1016/j.jclepro.2012.05.042.
- Salihoglu G, Salihoglu NK, Ucaroglu S, Banar M. 2018. Food loss and waste management in Turkey. *Bioresour Tech*, 248(Part A): 88-99. DOI: 10.1016/j.biortech.2017.06.083.
- Scarlat N, Motola V, Dallemand JF, Monforti-Ferrario F, Mofor L. 2015. Evaluation of energy potential of municipal solid waste from African urban areas. *Renew Sust Energy Rev*, 50: 1269-1286. DOI: 10.1016/j.rser.2015.05.067.
- Scharff H, Jacobs J. 2006. Applying guidance for methane emission estimation for landfills. *Waste Manag*, 26(4): 417-429. DOI: 10.1016/j.wasman.2005.11.015.
- Scheutz C, Fredenslund AM, Chanton J, Pedersen GB, Kjeldsen P. 2011. Mitigation of methane emission from Fakse landfill using a biowindow system. *Waste Manag*, 31: 1018-1028. DOI: 10.1016/j.wasman.2011.01.024.
- Taherzadeh MJ. 2009. Waste to wealth. *Vetenskap för Pprofes*, 10: 38-73.
- Themelis NJ, Ulloa PA. 2007. Methane generation in landfills. *Renew Energy*, 32(7): 1243-1257. DOI: 10.1016/j.renene.2006.04.020.
- Trapani DD, Bella GD, Viviani G. 2013. Uncontrolled methane emissions from a MSW landfill surface: Influence of landfill features and side slopes. *Waste Manag*, 33: 2108-2115. DOI: 10.1016/j.wasman.2013.01.032.
- Troschinetz AM, Mihelcic JR. 2009. Sustainable recycling of municipal solid waste in developing countries. *Waste Manag*, 29: 915-23. DOI: 10.1016/j.wasman.2008.04.016.
- Tsai WT. 2007. Bioenergy from landfill gas (LFG) in Taiwan. *Renew Sust Energy Rev*, 11(2): 331-344. DOI: 10.1016/j.rser.2005.01.001.
- U.S.EPA. 2011. Operating gas engines at landfill sites in new LFGTE countries. URL: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-06/documents/pirker.pdf> (access date: December 29, 2017).
- Vaverkova M, Adamcova D. 2015. Long-term temperature monitoring of a municipal solid waste landfill. *Polish J Environ Stud*, 24(3): 1373-1378. DOI: 10.15244/pjoes/29940.
- Weitz KA, Thorneloe SA, Nishtala SR, Yarkosky S, Zannes M. 2002. The impact of municipal solid waste management on greenhouse gas emissions in the United States. *J Air Waste Manag Assoc*, 52(9): 1000-1011. DOI: 10.1080/10473289.2002.10470843.
- Willumsen H, Barlaz MA. 2011. Landfilling: gas production, extraction and utilization. In *Solid Waste Technology Management*, Editor: Christensen, Blackwell Publishing, Malaysia, pp: 1022.
- Yang L, Chen ZL, Zhang X, Liu YY, Xie Y. 2015. Comparison study of landfill gas emissions from subtropical landfill with various phases: A case study in Wuhan, China. *J Air Waste Manag Assoc*, 65(8): 980-986. DOI: 10.1080/10962247.2015.1051605.
- Yecheil A, Shevah Y. 2016. Optimization of energy generation using landfill biogas. *J Energy Stor*, 7: 93-98. DOI: 10.1016/j.est.2016.05.002.
- Zuber MJS, Ali SF. 2015. Greenhouse effect reduction by recovering energy from waste landfills in Pakistan. *Renew Sust Energy Rev*, 44: 117-131. DOI: 10.1016/j.rser.2014.12.028.